

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 393 384**

51 Int. Cl.:
H01L 41/09

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **04821599 .0**
96 Fecha de presentación: **27.08.2004**
97 Número de publicación de la solicitud: **1751843**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **14.02.2007**

54 Título: **Pre-tensado de un polímero electroactivo**

30 Prioridad:
29.08.2003 US 499088 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
20.12.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
20.12.2012

73 Titular/es:
SRI INTERNATIONAL (100.0%)
333 RAVENSWOOD AVENUE
MENLO PARK, CA 94025, US

72 Inventor/es:
PEI, QIBING;
PELRINE, RONALD E. y
ROSENTHAL, MARCUS

74 Agente/Representante:
CARPINTERO LÓPEZ, Mario

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).

ES 2 393 384 T3

DESCRIPCIÓN

Pre-tensado de un polímero electroactivo

Antecedentes de la invención

La presente invención se refiere, en general, a polímeros electroactivos que convierten entre energía eléctrica y energía mecánica. Más particularmente, la presente invención se refiere a polímeros electroactivos pre-tensados.

En muchas aplicaciones, es deseable convertir entre energía eléctrica y energía mecánica. Las aplicaciones ejemplares que requieren conversión de energía eléctrica en energía mecánica incluyen robótica, motores, bombas, válvulas, altavoces, detectores, dispositivos microfluidos, automatización general, unidades de disco magnético y dispositivos protésicos. Estas aplicaciones incluyen uno o más transductores que convierten la energía eléctrica en trabajo mecánico - a un nivel macroscópico y microscópico. Las aplicaciones ejemplares que requieren conversión de energía mecánica a eléctrica incluyen detectores y generadores.

Los nuevos polímeros electroactivos capaces de convertir energía eléctrica en energía mecánica y viceversa están disponibles para un amplio intervalo de aplicaciones de conversión de energía. Los elastómeros electroactivos, una clase específica de polímero electroactivo, pueden presentar una alta densidad de potencia, tensión y eficacia de conversión electromecánica. El rendimiento de muchos polímeros electroactivos aumenta notablemente cuando el polímero está pre-tensado.

El pre-tensado tradicionalmente requiere la deformación del polímero por estiramiento del polímero en tensión y fijando uno o más bordes del polímero mientras está estirado. Habitualmente se usaban estructuras de soporte robustas y voluminosas para mantener el pre-tensado. Se han usado también mecanismos tales como un resorte en un dispositivo de polímero electroactivo laminado para soportar el pre-tensado del polímero. La dependencia de bastidores y mecanismos externos disminuye la densidad de potencia de los polímeros electroactivos y sus dispositivos relacionados.

En vista de lo anterior, serían deseables técnicas alternativas para adquirir y mantener el pre-tensado en un polímero electroactivo.

Sumario de la invención

La presente invención proporciona polímeros electroactivos, transductores y dispositivos que mantienen el pre-tensado en una o más porciones de un polímero electroactivo de acuerdo con la reivindicación 6.

En otro aspecto más, la presente invención se refiere a un procedimiento para formar un polímero electroactivo de acuerdo con la reivindicación 1.

Estas y otras características y ventajas de la presente invención se describirán en la siguiente descripción de la invención y las figuras asociadas.

Breve descripción de los dibujos

Las Figuras 1A y 1B ilustran una vista en perspectiva superior de un transductor antes y después de la aplicación de una tensión.

La Figura 1C ilustra un transductor monolítico que comprende una pluralidad de áreas activas.

La Figura 2A ilustra un polímero electroactivo que comprende una porción pre-tensada y una porción rigidizada.

La Figura 2B ilustra un polímero electroactivo que comprende una porción pre-tensada que corresponde a una porción rigidizada.

La Figura 2C ilustra un polímero electroactivo que comprende múltiples regiones rigidizadas estampadas sobre un solo polímero.

La Figura 3A ilustra un transductor de polímero electroactivo para convertir entre energía eléctrica y mecánica.

La Figura 3B ilustra un accionador de película estirado.

La Figura 3C ilustra un transductor de polímero electroactivo que comprende segmentos lineales que afectan a la desviación.

La Figura 4 ilustra un flujo de procedimiento de doble curado para formar un polímero electroactivo.

La Figura 5 ilustra un flujo del procedimiento de acoplamiento a una capa de soporte para formar un polímero electroactivo.

La Figura 6 ilustra un flujo de procedimiento que emplea un precursor de polímero para formar un polímero electroactivo.

La Figura 7 ilustra un flujo de procedimiento que emplea una composición que comprende un precursor de polímero para un polímero de soporte y un precursor para un polímero electroactivo para formar un polímero electroactivo.

5 Descripción detallada de las realizaciones preferidas

La presente invención se describe en detalle con referencia a unas pocas realizaciones preferidas como se ilustra en los dibujos adjuntos. En la siguiente descripción, se exponen numerosos detalles específicos para proporcionar una comprensión minuciosa de la presente invención.

Visión de conjunto

10 Los polímeros electroactivos convierten entre energía mecánica y eléctrica. La presente invención se refiere a polímeros electroactivos que se pre-tensan para mejorar la conversión entre energía eléctrica y mecánica. El pre-tensado potencia el rendimiento del polímero electroactivo. Por ejemplo, el pre-tensado mejora la respuesta mecánica de un polímero electroactivo respecto a un polímero electroactivo no tensado. La respuesta mecánica mejorada posibilita un mayor trabajo mecánico para un polímero electroactivo, por ejemplo, mayores desviaciones y presiones de actuación. Un pre-tensado de área de 2 veces a 25 veces mejora significativamente el rendimiento de la mayoría de elastómeros electroactivos. Por ejemplo, cuando se pre-tensan, los elastómeros de copolímero acrílico (por ejemplo, 3M VHB 4910 proporcionado por 3M Corporation) producen una tensión electromecánica alta y reversible del 10% al 380% en área o tensión lineal. Las tensiones lineales de al menos aproximadamente el 200 por ciento y tensiones de área de al menos el 300 por ciento son comunes con otros polímeros pre-tensados de la presente invención.

El pre-tensado puede variar en las diferentes direcciones de un polímero. Combinando la variabilidad direccional del pre-tensado, las diferentes maneras de constreñir un polímero, la capacidad de conversión de escala de polímeros electroactivos tanto a nivel micro como macro, y las diferentes orientaciones del polímero (por ejemplo laminado o apilamiento de capas de polímeros individuales) permite un amplio intervalo de transductores, dispositivos, accionadores, detectores y generadores que convierten entre energía eléctrica y mecánica.

La presente invención reduce la necesidad de un bastidor rígido o un mecanismo separado para mantener el pre-tensado en un polímero (algunos dispositivos aún pueden incluir un bastidor, aunque no es necesario uno para mantener el pre-tensado en el polímero). Reducir o eliminar estructuras no activas tales como un bastidor para mantener el pre-tensado puede reducir las complejidades de fabricación y estructurales de un dispositivo de polímero electroactivo, mejora la estabilidad mecánica de un dispositivo, permite maneras alternativas de envasar un dispositivo, aumenta la densidad de potencia global del dispositivo y reduce el espacio y el peso de los dispositivos de polímero electroactivo.

Se describen diversas técnicas para mantener el pre-tensado en un polímero electroactivo. Una técnica emplea un laminado para rigidizar una o más porciones del polímero y mantener el pre-tensado. Otra técnica emplea técnicas de curado para rigidizar una o más porciones del polímero. En otra realización, la presente invención comprende la adición de uno o más precursores de polímero curables al polímero electroactivo. En una realización específica, los precursores de polímero curables se aplican a una superficie de una lámina o película de película electroactivo y se permite que se dispersen o difundan en la película. Los aditivos se curan después para formar una o más porciones más tenaces.

40 En otro aspecto, la presente invención proporciona un procedimiento para fabricar un polímero electroactivo y dispositivos electromecánicos que incluyen un polímero electroactivo pre-tensado de acuerdo con la reivindicación 1.

Estructura general de los transductores de polímero electroactivo

La transformación entre energía eléctrica y mecánica en transductores y dispositivos de la presente invención se basa en la elastancia de un polímero electroactivo y la conversión de energía de una o más porciones de un polímero electroactivo. Para ayudar a ilustrar el rendimiento de un polímero electroactivo en la conversión de energía eléctrica a energía mecánica, la Figura 1A ilustra una vista en perspectiva superior de una porción 10 del transductor de acuerdo con una realización de la presente invención. Aunque los transductores de polímero electroactivo se describirán ahora como estructuras, los expertos en la materia reconocerán que la presente invención abarca procedimientos para realizar acciones como se describe más adelante.

50 La porción 10 del transductor comprende un polímero 12 electroactivo para convertir entre energía eléctrica y energía mecánica. En una realización, un polímero electroactivo se refiere a un polímero que actúa como un dieléctrico aislante entre dos electrodos y puede desviarse tras la aplicación de una diferencia de tensión entre dos electrodos. El polímero 12 está en comunicación eléctrica con los electrodos 14 y 16. Más específicamente, los electrodos 14 y 16 superior e inferior están fijados al polímero 12 electroactivo en sus superficies superior e inferior, respectivamente, para proporcionar una diferencia de tensión a través de una porción del polímero 12. El polímero 12 se desvía con un cambio en el campo eléctrico proporcionado por los electrodos 14 y 16 superior e inferior. La

desviación de la porción 10 del transductor como respuesta a un cambio en el campo eléctrico proporcionado por los electrodos 14 y 16 se denomina actuación. A medida que el polímero 12 cambia de tamaño, la desviación puede usarse para producir trabajo mecánico.

La Figura 1B ilustra una vista en perspectiva superior de la porción 10 del transductor que incluye desviación como respuesta a un cambio en el campo eléctrico. En general, la desviación se refiere a cualquier desplazamiento, expansión, contracción, abultamiento, torsión, tensión lineal o de área, o cualquier otra deformación de una porción del polímero 12. El cambio en el campo eléctrico correspondiente a la diferencia de tensión aplicada a o por los electrodos 14 y 16 produce presión mecánica dentro del polímero 12. En este caso, las cargas eléctricas diferentes producidas por los electrodos 14 y 16 se atraen entre sí y proporcionan una fuerza de compresión entre los electrodos 14 y 16 y una fuerza de expansión sobre el polímero 12 en direcciones planas 18 y 20, provocando que el polímero 12 se comprima entre los electrodos 14 y 16 y se estire en las direcciones planas 18 y 20.

Después de la aplicación de tensión entre los electrodos 14 y 16, el polímero 12 se expande (se estira) en ambas direcciones planas 18 y 20. En algunos casos, el polímero 12 es incompresible, por ejemplo tiene un volumen sustancialmente constante bajo tensión. Para un polímero 12 incompresible, el polímero 12 disminuye de espesor como resultado de la expansión en las direcciones planas 18 y 20. Debe observarse que la presente invención no está limitada a los polímeros incompresibles y que la desviación del polímero 12 puede que no se adapte a tal relación simple.

En general, la porción 10 del transductor continúa desviándose hasta que las fuerzas mecánicas equilibran las fuerzas electrostáticas que dirigen la desviación. Las fuerzas mecánicas incluyen las fuerzas de recuperación elástica del material de polímero 12, la compresibilidad de los electrodos 14 y 16, y cualquier resistencia externa proporcionada por un dispositivo y/o carga acoplada a la porción 10 del transductor, etc. La desviación de la porción 10 del transductor como resultado de la tensión aplicada puede depender también de un número de otros factores tales como una constante dieléctrica del polímero 12 y el tamaño del polímero 12.

La aplicación de una diferencia de tensión relativamente grande entre los electrodos 14 y 16 en la porción 10 del transductor mostrada en la Figura 1A provoca entonces que la porción 10 del transductor cambie a una forma de área más fina y grande que la mostrada en la Figura 1B. De esta manera, la porción 10 del transductor convierte energía eléctrica en energía mecánica. El uso de la porción 10 del transductor convierte energía mecánica en energía eléctrica se describirá más adelante.

Como se muestra en las Figuras 1A y 1B, los electrodos 14 y 16 cubren toda la porción del polímero 12 como se muestra. Más habitualmente, los electrodos 14 y 16 cubren una porción limitada del polímero 12 respecto al área superficial total del polímero. Esto puede hacerse para evitar la degradación eléctrica alrededor del borde del polímero 12. Los electrodos pueden tener un estampado con formas especiales para conseguir desviaciones de la superficie personalizadas, como se describirá con mayor detalle más adelante. Como alternativa, esto puede hacerse para utilizar la incompresibilidad del polímero y producir elementos superficiales y deformaciones en una o más de las superficies del polímero.

Como se usa el término en el presente documento, un área activa se refiere a una porción de un transductor que comprende material polimérico 12 y al menos dos electrodos. Cuando el área activa se usa para convertir energía eléctrica en energía mecánica, el área activa incluye una porción del polímero 12 que tiene una fuerza electrostática suficiente para posibilitar la desviación de la porción. Cuando el área activa se usa para convertir energía mecánica en energía eléctrica, el área activa incluye una porción del polímero 12 que tiene una desviación suficiente para posibilitar un cambio en la energía electrostática. Como se describirá más adelante, un polímero de la presente invención puede tener múltiples áreas activas.

En general, los polímeros que son adecuados para su uso con transductores de la presente invención incluyen cualquier polímero o caucho aislante (o una combinación de los mismos) que se deforme en respuesta a una fuerza electrostática o cuya deformación de como resultado un cambio en el campo eléctrico. Preferentemente, la deformación del polímero es reversible en un amplio intervalo de tensiones. Muchos polímeros elastoméricos pueden servir para este fin. Al diseñar o elegir un polímero apropiado, debería considerarse el material y las propiedades físicas y químicas óptimas. Tales propiedades pueden adaptarse mediante la selección juiciosa de monómeros (incluyendo cualquier cadena lateral), aditivos, grado de reticulación, cristalinidad, peso molecular etc.

El polímero 12 puede asumir muchos estados físicos y químicos diferentes. Por ejemplo, el polímero puede usarse con o sin aditivos tales como plastificantes. Y pueden ser láminas poliméricas monolíticas o combinaciones de polímeros tales como laminados o remiendos. Adicionalmente, los polímeros pueden existir en una sola fase o en múltiples fases. Un ejemplo de material multifase es una matriz polimérica que tiene partículas de carga inorgánica mezcladas con la misma.

Independientemente del estado químico y físico final del polímero transductor, éste incluirá una matriz de polímero. Esa matriz puede ser un homopolímero o copolímero, reticulado o no reticulado, lineal o ramificado, etc. Las clases ejemplares de polímero adecuado para su uso con transductores de la presente invención incluyen elastómeros de silicona, elastómeros acrílicos, poliuretanos, elastómeros termoplásticos, copolímeros que comprenden PVDF,

adhesivos sensibles a la presión, fluoroelastómeros, polímeros que comprenden silicona y restos acrílicos, y similares. Obviamente, las combinaciones de algunos de estos materiales pueden usarse como la matriz de polímero en transductores de la presente invención. Los copolímeros y combinaciones están dentro de la clase de polímeros adecuados. Un ejemplo es una combinación de un elastómero de silicona y un elastómero acrílico.

5 Un polímero disponible en el mercado adecuado es NuSil CF19-2186 proporcionado por NuSil Technology of Carpinteria, CA. Un ejemplo de un elastómero de silicona adecuado es Dow Corning HS3 proporcionado por Dow Corning of Wilmington, Delaware. Un ejemplo de una fluorosilicona adecuada es Dow Corning 730 proporcionado por Dow Corning of Wilmington, Delaware. Los ejemplos de acrílicos adecuados incluyen cualquier acrílico de la serie 4900 VHB acrílica proporcionados por 3M Corp. de St. Paul, MN.

10 Las tensiones de actuación adecuadas para polímeros electroactivos, o porciones de los mismos, pueden variar basándose en las propiedades del material de polímero electroactivo, tal como la constante dieléctrica, así como las dimensiones del polímero, tal como el espesor de la película de polímero. Por ejemplo, el accionamiento de campos eléctricos usados para accionar el polímero 12 en la Figura 1A puede variar de magnitud de aproximadamente 0 V/m a aproximadamente 440 MV/m. El accionamiento de campos eléctricos en este intervalo puede producir una presión en el intervalo de aproximadamente 0 Pa a aproximadamente 10 MPa. Para que el transductor produzca mayores fuerzas, el espesor de la capa de polímero puede aumentarse. Las tensiones de actuación para un polímero particular pueden reducirse aumentando la constante dieléctrica, disminuyendo el espesor del polímero y disminuyendo el módulo de elasticidad, por ejemplo.

20 En una realización, el polímero 12 es compresible y se selecciona en base a su elastancia. Un módulo de elasticidad para el polímero 12 menor de aproximadamente 100 MPa es adecuado para muchas realizaciones. En una realización específica, el polímero 12 electroactivo incluye un módulo elástico menor de 40 MPa. En otra realización específica, el polímero 12 electroactivo es relativamente compresible e incluye un módulo elástico menor de 10 MPa.

25 Los transductores y polímeros de la presente invención no están limitados a ninguna geometría o tipo de desviación particular. Por ejemplo, el polímero y los electrodos pueden formarse en cualquier geometría o forma incluyendo tubos y rollos, polímeros estirados fijados entre múltiples estructuras rígidas, polímeros estirados de cualquier geometría mantenidos por las técnicas descritas en el presente documento - incluyendo geometrías curvas o complejas, a través de un bastidor que tiene una o más juntas, etc. La desviación de un transductor de acuerdo con la presente invención puede incluir expansión y/o compresión lineal en una o más direcciones, torsión, desviación axial cuando el polímero se lamina, desviación fuera de un orificio proporcionado en un sustrato, etc. La desviación del transductor puede verse afectada por cómo se constriñe el polímero mediante un bastidor, las estructuras rígidas fijadas al polímero o porciones rigidizadas del polímero (por ejemplo, por curado o laminado). En una realización específica, un material flexible que es más tenaz en alargamiento que el polímero está fijado a un lado de un transductor e induce la torsión cuando se acciona el polímero.

35 La tensión lineal y la tensión de área pueden usarse para describir la desviación de un polímero pre-tensado. Como se usa el término en el presente documento, tensión lineal de un polímero pre-tensado se refiere a la desviación por unidad de longitud a lo largo de una línea de desviación respecto al estado no accionado. Las tensiones lineales máximas (tensión o compresión) de al menos aproximadamente el 50 por ciento son comunes para los polímeros pre-tensados de la presente invención. Por supuesto, un polímero puede desviarse con una tensión menor que el máximo y la tensión puede ajustarse ajustando la tensión aplicada. Para algunos polímeros pre-tensados, las tensiones lineales máximas de al menos aproximadamente el 100 por cien son comunes. Para polímeros tales como VHB 4910, producido por 3M Corporation de St. Paul, MN, las tensiones lineales máximas en el intervalo de 40 a 215 por ciento son comunes. La tensión de área de un polímero electroactivo se refiere al cambio en el área plana, por ejemplo, el cambio en el plano definido por las direcciones 108 y 110 en las Figuras 1A y 1B por área unitaria del polímero tras la actuación respecto al estado no accionado. Las tensiones de área máxima de al menos aproximadamente el 100 por cien son posibles para polímeros pre-tensados de la presente invención. Para algunos polímeros pre-tensados, las tensiones de área máxima en el intervalo del 70 al 330 por ciento son comunes.

40 Como los polímeros electroactivos de la presente invención pueden desviarse a altas tensiones, los electrodos fijados a los polímeros deberían desviarse también sin comprometer el rendimiento mecánico o eléctrico. En general, los electrodos adecuados para su uso con la presente invención pueden ser de cualquier forma y material proporcionado con la condición de que puedan suministrar una tensión adecuada a o recibir una tensión adecuada desde un polímero electroactivo. La tensión puede ser constante o variar con el tiempo. En una realización, los electrodos se adhieren a una superficie del polímero. Los electrodos que se adhieren al polímero pueden ser elásticos y adaptarse a la forma cambiante del polímero. Los electrodos pueden aplicarse solo a una porción de un polímero electroactivo y definir un área activa de acuerdo con su geometría. Como se describirá más adelante, los electrodos pueden tener también un estampado para conseguir una forma deseada para un elemento superficial creado por desviación del polímero.

55 En una realización, los electrodos 14 y 16 son elásticos y se adaptan a la forma de un polímero electroactivo al que están fijados. Haciendo referencia de nuevo a las Figuras 1A y 1B, la configuración del polímero 12 y los electrodos 14 y 16 proporciona un aumento de la respuesta de polímero 12 con la desviación. Más específicamente, a medida que la porción 10 del transductor se desvía, la compresión del polímero 12 lleva las cargas opuestas de los

electrodos 14 y 16 más cerca y el estiramiento del polímero 12 separa cargas similares en cada electrodo. En una realización uno de los electrodos 14 y 16 es una toma de tierra.

En la Solicitud de Patente de Estados Unidos de Cesión común en trámite junto con la presente N° 09/619.848 se describen diversos tipos de electrodos adecuados para su uso con la presente invención. Los electrodos descritos en la misma y adecuados para su uso con la presente invención incluyen electrodos estructurados que comprenden trazas de metal y capas de distribución de carga, electrodos con textura, grasas conductoras tales como grasas de carbono o grasas de plata, suspensiones coloidales, materiales conductores con alta relación de aspecto, tales como fibrillas de carbono y nanotubos de carbono, y mezclas de materiales iónicamente conductores. La presente invención puede emplear también electrodos metálicos y semi-inflexibles. En una realización, el metal se dispone en láminas finas de manera que la capa metálica, tal como una lámina metálica de estaño por ejemplo, es flexible fuera del plano pero relativamente rígida en el plano. Otro electrodo flexible fuera del plano pero relativamente rígido en el plano puede comprender una lámina de mylar aluminizado. En otra realización, el metal está dispuesto en láminas gruesas de manera que la capa metálica es rígida e impide que el polímero se desvíe sobre la superficie fijada.

Los materiales usados para electrodos de la presente invención pueden variar. Los materiales adecuados usados en un electrodo pueden incluir grafito, negro de humo, suspensiones coloidales, metales finos incluyendo plata y oro, geles y polímeros cargados con plata y cargados con carbono, gelatina y polímeros iónica o electrónicamente conductores. En una realización específica, un electrodo adecuado para su uso con la presente invención comprende un 80 por ciento de grasa de carbono y un 20 por ciento de negro de humo en un aglutinante de caucho de silicona tal como Stockwell RTV60-CON producido por Stockwell Rubber Co. Inc. de Philadelphia, PA. La grasa de carbono es del tipo tal como NyoGel 756G proporcionado por Nye Lubricant Inc. de Fairhaven, MA. La grasa conductora puede mezclarse también con un elastómero, tal como el elastómero de silicio RTV 118 producido por General Electric de Waterford, NY, para producir una grasa conductora similar a un gel.

Se entiende que ciertos materiales de electrodo pueden funcionar bien con polímeros particulares y puede que no funcionen tan bien para otros. Para la mayoría de transductores, las propiedades deseables para el electrodo compresible pueden incluir una o más de las siguientes: bajo módulo de elasticidad, baja amortiguación mecánica, baja resistividad superficial, resistividad uniforme, estabilidad química y medioambiental, compatibilidad química con el polímero electroactivo, buena adherencia al polímero electroactivo y la capacidad de formar superficies suaves. En algunos casos, un transductor de la presente invención puede implementar dos tipos diferentes de electrodos, por ejemplo, un tipo de electrodo diferente para cada área activa o diferentes tipos de electrodos en lados opuestos de un polímero.

Los controladores electrónicos típicamente están conectados a los electrodos. La tensión proporcionada a un polímero electroactivo dependerá de las características específicas de un transductor y de su aplicación. En una realización, un transductor de la presente invención es controlado eléctricamente por modulación de una tensión aplicada alrededor de una tensión de desviación CC. La modulación alrededor de una tensión de desviación permite la sensibilidad y linealidad mejoradas del transductor a la tensión aplicada. Por ejemplo, un transductor usado en una aplicación de audio puede dirigirse mediante una señal de hasta 200 a 1000 voltios de pico a pico por encima de una tensión de desviación que varía de aproximadamente 750 a 2000 voltios CC.

De acuerdo con la presente invención, el término "monolítico" se usa en el presente documento para hacer referencia a los polímeros electroactivos, transductores y dispositivos que comprenden una pluralidad de áreas activas en un solo polímero. La Figura 1C ilustra un transductor monolítico 150 que comprende una pluralidad de áreas activas. El transductor monolítico 150 convierte entre energía eléctrica y energía mecánica. El transductor monolítico 150 comprende un polímero 151 electroactivo que tiene dos áreas activas 152a y 152b.

El área activa 152a tiene electrodos 154a y 154b superior e inferior que están fijados al polímero 151 en sus superficies 151c y 151d superior e inferior, respectivamente. Los electrodos 154a y 154b proporcionan una diferencia de tensión a través de una porción 151a del polímero 151. La porción 151a se desvía con un cambio en el campo eléctrico proporcionado por los electrodos 154a y 154b. Más específicamente, la porción 151a se expande en el plano y adelgaza verticalmente - u ortogonalmente al plano - con una diferencia de tensión adecuada a través de una porción 151a. La porción 151 comprende el polímero 151 entre los electrodos 151a y 151b y cualquier otra porción del polímero 151 que tenga suficiente tensión inducida por la fuerza electrostática para posibilitar la desviación y adelgazamiento tras la aplicación de tensiones usando los electrodos 154a y 154b.

El área activa 152b tiene electrodos superior e inferior 156a y 156b que están fijados al polímero 151 en su superficie superior e inferior 151c y 151d respectivamente. Los electrodos 156a y 156b proporcionan una diferencia de tensión a través de una porción 151b del polímero 151. La porción 151b se desvía con un cambio en el campo eléctrico proporcionado por los electrodos 156a y 156b. Más específicamente, la porción 151a se expande en el plano y adelgaza verticalmente - u ortogonalmente respecto al plano - con una diferencia de tensión adecuada a través de una porción 151a. La porción 151b comprende el polímero 151 entre los electrodos 156a y 156b y cualquier otra porción del polímero 151 que tenga suficiente tensión inducida por la fuerza electrostática para posibilitar la desviación tras la aplicación de las tensiones usando los electrodos 156a y 156b.

Las áreas activas 152a y 152b permiten el control independiente a través de sus electrodos respectivos. De esta manera, junto con la electrónica de control adecuada, las áreas activas 152a y 152b pueden accionarse individualmente, simultáneamente, intermitentemente, etc.

Hasta ahora, los electrodos en superficies opuestas de un polímero electroactivo descrito hasta ahora han sido de tamaño, forma y localización simétricas. Los electrodos en lados opuestos de un transductor de la presente invención no están limitados a diseños o despliegues simétricos, y pueden tener diferentes tamaños, formas, tipos y/o localizaciones en superficies opuestas de un polímero electroactivo. Los electrodos en un polímero pueden tener el estampado que se desee. Por ejemplo, uno o más electrodos pueden pulverizarse sobre una superficie de un polímero con una forma determinada mediante una máscara o plantilla. Pueden usarse diferentes máscaras para cada superficie del polímero. La forma personalizada del electrodo permite desviaciones personalizadas de una porción de polímero. El control de electrodos para cada área activa permite entonces que cada área activa estampada de forma personalizada se active individualmente, simultáneamente, intermitentemente, etc.

Pretensado del polímero electroactivo

El polímero 12 electroactivo - o una o más porciones del mismo - se pre-tensa. El rendimiento de muchos polímeros aumenta notablemente cuando los polímeros están pre-tensados en área. Para muchos polímeros, el pre-tensado mejora la conversión entre energía eléctrica y mecánica. La respuesta mecánica mejorada permite un mayor trabajo mecánico para un polímero electroactivo, por ejemplo mayores desviaciones y presiones de actuación. En una realización, el pre-tensado mejora la resistencia dieléctrica del polímero. Por ejemplo, un aumento de 10 veces o 25 veces en área mejora significativamente el rendimiento de muchos elastómeros electroactivos.

En una realización, el pre-tensado es elástico. En principio, a un polímero pre-tensado elásticamente se le puede retirar cualquier fuerza o alteración que mantenga el pre-tensado y devolverlo a su estado no tensado original.

El pre-tensado puede comprender la deformación elástica del polímero 12 y formarse, por ejemplo, estirando el polímero en tensión y aplicando una o más de las técnicas descritas en el presente documento mientras el polímero se estira. En una realización, las porciones de un polímero electroactivo o un precursor de polímero añadido al polímero, se curan o refuerzan de otra manera para aumentar su tenacidad y mantener el pre-tensado para una o más porciones de un polímero. Esto permite que el pre-tensado se mantenga sin un bastidor externo. La presente invención puede emplear también una o más capas rígidas laminadas sobre el polímero para mantener el pre-tensado para una o más porciones del polímero.

El pre-tensado de un polímero puede describirse, en una o más direcciones, como el cambio en la dimensión en una dirección después del pre-tensado respecto a la dimensión en esa dirección antes del pre-tensado. En una realización, el pre-tensado se aplica uniformemente sobre una porción del polímero 12 para producir un polímero pre-tensado isotrópico. A modo de ejemplo, un polímero elastomérico acrílico puede estirarse en un 200 a 400 por ciento en ambas direcciones planas 18 y 20 (Figura 1A). En otra realización, el pre-tensado se aplica inequívocamente en diferentes direcciones para que una porción del polímero 12 produzca un polímero pre-tensado anisotrópico. En este caso, el polímero 12 puede desviarse más en una dirección que en la otra cuando se acciona. Aunque sin desear quedar ligado a teoría alguna, se cree que el pre-tensado de un polímero en una dirección puede aumentar la tenacidad del polímero en la dirección de pre-tensado. Correspondientemente, el polímero es relativamente más tenaz en la dirección de alto pre-tensado y más elástico en la dirección de bajo pre-tensado y, tras la actuación, ocurre más desviación en la dirección de bajo pre-tensado. En una realización, la desviación en la dirección 18 de la porción 10 del transductor puede potenciarse empleando un gran pre-tensado en la dirección perpendicular 20. Por ejemplo, un polímero elastomérico acrílico usado como la porción 10 del transductor puede estirarse en un 10 por ciento en la dirección 18 y en un 500 por ciento en la dirección perpendicular 20.

La cantidad de pre-tensado para un polímero puede estar basada en el material de polímero electroactivo y un rendimiento deseado del transductor de polímero electroactivo en un accionador, generador, detector o aplicación. Para algunos polímeros de la presente invención, el pre-tensado en una o más direcciones puede variar de -100 por ciento a 600 por ciento. A modo de ejemplo, para un elastómero acrílico VHB que tiene un pre-tensado isotrópico, los pre-tensados de al menos aproximadamente el 100 por cien y preferentemente entre aproximadamente el 200-400 por cien pueden usarse en cada dirección. En una realización, el polímero se pretensa mediante un factor en el intervalo de aproximadamente 1,5 veces a 50 veces el área original. Para un acrílico anisotrópico pre-tensado para potenciar la actuación en una dirección elástica, pueden usarse pre-tensados entre aproximadamente 400-500 por ciento en la dirección de refuerzo y pueden usarse pre-tensados entre aproximadamente 20-200 por ciento en la dirección compresible. En algunos casos, el pre-tensado puede añadirse en una dirección tal que ocurre un pre-tensado negativo en otra dirección, por ejemplo del 600 por ciento en una dirección acoplado con el -100 por cien en una dirección ortogonal. En estos casos, el cambio neto en el área debido al pre-tensado típicamente es positivo. El pre-tensado adecuado para su uso con la presente invención se describe adicionalmente en la Patente de Estados Unidos Nº 6.545.384 transferida legalmente.

El pre-tensado puede afectar a otras propiedades del polímero 12. Los grandes pre-tensados pueden cambiar las propiedades elásticas del polímero y llevarlo a un régimen más tenaz con menores pérdidas viscoelásticas. Para algunos polímeros, el pre-tensado aumenta la resistencia a degradación eléctrica del polímero 12, que permite que

se usen campos eléctricos mayores dentro de las presiones dentro del polímero - permitiendo mayores presiones de actuación y mayores desviaciones.

El pre-tensado puede imponerse sustancialmente para todo el polímero o puede implementarse también localmente para una porción del polímero. Diferentes porciones del polímero pueden incluir también diferentes pre-tensados, como se describirá a continuación (por ejemplo en la Figura 2C).

Configuraciones de pre-tensado ejemplares

La presente invención mantiene el pre-tensado para una o más porciones de un polímero electroactivo usando una porción rigidizada del polímero y/o un laminado. Hay incontables configuraciones para un polímero electroactivo, transductor o dispositivo que tenga una porción rigidizada conformada como un bastidor o una o más porciones de soporte estructural que mantienen el pre-tensado para un polímero o porción del mismo. Se describen numerosos ejemplos de bastidores y elementos estructurales para dispositivos de polímero electroactivo adicionalmente en la Patente de Estados Unidos N° 6.545.384 transferida legalmente. Se proporcionan ahora diversas configuraciones de polímero electroactivo ejemplares para facilitar el análisis.

La Figura 2A ilustra un polímero 40 electroactivo que comprende una porción 42 pre-tensada y una porción 44 rigidizada de acuerdo con una realización de la presente invención. La porción 42 pre-tensada incluye una porción de polímero 40 que incluye pre-tensado, tal como pre-tensado anisotrópico y/o elástico.

La porción 44 rigidizada está configurada para mantener el pre-tensado de la porción 42 pre-tensada. La porción 44 rigidizada sirve como un elemento estructural que sostiene y mantiene el pre-tensado en la porción 42 pre-tensada. Más específicamente, la porción 44 rigidizada está configurada para proporcionar fuerzas que se oponen a las fuerzas de contracción elásticas en la porción 42 pre-tensada estirada generadas cuando la porción 42 pre-tensada se estira para conseguir su pre-tensado. La porción rigidizada 44 proporciona de esta manera estabilidad mecánica para el polímero 40. Como se muestra, la porción 44 rigidizada comprende una ventana rectangular que bordea perimetralmente la porción 42 pre-tensada.

La porción 44 rigidizada comprende una porción de polímero 40 que tiene una mayor tenacidad que la porción 42 pre-tensada (o que es menos compresible). En una realización, la porción de polímero rigidizada comprende un módulo elástico mayor de aproximadamente 10 MPa. En otra realización, la porción de polímero rigidizada comprende un módulo elástico mayor de aproximadamente 50 MPa.

En una realización, la porción 44 rigidizada comprende un componente polimérico que se curó mientras el polímero 40 electroactivo se pre-tensaba para mantener al menos parcialmente el pre-tensado en la porción 42 pre-tensada. Como se describirá con más detalle más adelante, la porción 44 rigidizada puede formarse también a través del curado del polímero 40 en el área designada por la porción 44 rigidizada como se muestra, curando un precursor de polímero incluido en el área designada por la porción 44 rigidizada, o laminando una capa de soporte sobre el área designada por la porción 44 rigidizada.

Uno o más electrodos pueden disponerse sobre ambas superficies de la porción 42 pre-tensada para crear un área activa dentro de la porción 44 rigidizada. La Figura 3B ilustra un accionador de película estirado donde los electrodos 275 y 276 tienen un estampado sobre una superficie superior e inferior de la porción 273 pre-tensada con un bastidor 271 curado en el polímero. En este caso, no es necesario que la porción pre-tensada del polímero 273 incluya el mecanismo usado para rigidizar el bastidor 271. Por ejemplo, si un precursor de polímero se cura para rigidizar el bastidor 271, la porción pre-tensada del polímero 273 puede que no incluya el precursor de polímero o puede incluir el precursor de polímero sin un curado significativo.

En una realización, el polímero 40 electroactivo comprende una película de polímero electroactivo elástica y un polímero de soporte formado en o sobre la película de polímero electroactivo elástico que define la porción 44 rigidizada de polímero. Las técnicas para formar el polímero de soporte, tales como curado, se describen más adelante.

La porción 44 rigidizada proporciona soporte mecánico "*in situ*" pero separado para la porción 42 pre-tensada. Es decir, el polímero 40 electroactivo no incluye un bastidor externo o un mecanismo externo configurado para mantener el pre-tensado en la porción 42 pre-tensada, y en lugar de ello depende de porciones del polímero 40 que tienen una tenacidad aumentada. Esto simplifica la fabricación de los transductores y dispositivos empleando el polímero 40 y aumenta la densidad de potencia de los transductores y dispositivos.

En oposición a separar la porción rigidizada y la porción pre-tensada como en la Figura 2A, la presente invención puede también rigidizar porciones de polímero electroactivo (o un polímero completo) para crear porciones pre-tensadas que incluyen rigidizado. En este caso, las porciones rigidizadas soportan localmente el pre-tensado y las porciones comunes pre-tensadas/rigidizadas son las que se pretende desviar. De esta manera, las porciones rigidizadas bloquean el pre-tensado mientras que dejan que las áreas de las porciones rigidizadas/pre-tensadas comunes aún se muevan. Esto proporciona ventajosamente láminas de polímero que incluyen pre-tensado pero elimina la necesidad de un bastidor para sostener el polímero para mantener el pre-tensado. Puede usarse aún un bastidor por otras razones, tales como acoplar el polímero en un dispositivo, pero las tensiones aplicadas sobre el

polímero desde el bastidor al mantener el pre-tensado se eliminan. Esto crea un polímero, o porciones del mismo, que incluye pre-tensado pero sin tensiones en el polímero para mantener el pre-tensado.

La Figura 2B ilustra un polímero 60 electroactivo que comprende una porción 62 pre-tensada que corresponde a una porción 64 rigidizada de acuerdo con una realización de la presente invención. Como se muestra, la porción 64 rigidizada comprende sustancialmente todo el polímero 60 electroactivo. Además, la porción 62 pre-tensada coincide en área superficial con la porción 64 rigidizada y comprende sustancialmente todo el polímero 60 electroactivo. En este caso, las porciones de polímero 60 que se han rigidizado mantienen el pre-tensado internamente. En otras palabras, la porción 62 pre-tensada se ha rigidizado para proporcionar fuerzas que se oponen a las fuerzas de contracción elástica en la porción 62 pre-tensada y estirada, generadas cuando la porción 62 pre-tensada se estiró para conseguir su pre-tensado.

En una realización, la porción 64 rigidizada comprende un polímero electroactivo que se curó mientras todo el polímero 60 se estiraba para conseguir una tenacidad, elasticidad o nivel de pre-tensado deseados. En este caso, la porción 64 rigidizada/porción 62 pre-tensada común pueden incluir todas las porciones del polímero 60 que se curaron, descontando aquellas necesarias para mantener el polímero que eran inaccesibles al curado puesto que se usaron para mantener el pre-tensado durante la fabricación (por ejemplo, aquellas que no eran visibles para un curado por radiación). Para un curado térmico, la porción 64 rigidizada/porción 62 pre-tensada común puede incluir todo el polímero 60.

En otra realización, la porción 64 rigidizada comprende un componente polimérico que se añadió a todo el polímero 60 electroactivo y se curó mientras todo el polímero 60 se estiraba. De nuevo, esto puede excluir porciones que eran inaccesibles para añadir el componente polimérico. La creación de un estampado usando una máscara cuando se añade el componente polimérico o la formación de un estampado con una máscara durante el curado puede usarse para crear porciones 62 pre-tensadas con tamaño personalizado. Como alternativa, el componente polimérico puede añadirse a todo el polímero 60 y todo el polímero curado (por ejemplo, térmicamente en un horno) para pre-tensar y rigidizar todo el polímero 60.

El curado de un precursor de polímero puede formar también una porción 62 pre-tensada (sea el polímero 60 entero o una porción del mismo). De nuevo, la formación del estampado usando una máscara cuando se añade el precursor de polímero o la formación de un estampado con una máscara durante el curado puede usarse para crear porciones 62 pre-tensadas del tamaño deseado. O todo el polímero puede pre-tensarse y rigidizarse de esta manera, por ejemplo, para crear una porción rigidizada parecida a la porción 62 pre-tensada y las dimensiones del polímero 60.

Curar un precursor para un polímero de soporte mezclado en una composición comprende un precursor para un polímero electroactivo y un precursor para un polímero de soporte puede formar también la porción 62 pre-tensada. En una realización, la técnica de composición curada refuerza todo el polímero 60 y crea una porción rigidizada que comprende todo el polímero electroactivo con propiedades pre-tensadas sustancialmente uniformes.

El pre-tensado mostrado también en la Figura 2B puede aumentar también la tensión de degradación para el polímero. Esto mejora el uso del polímero como aislante y condensador que el mismo polímero sin pre-tensado. Además, el polímero 60 no incluye tensiones de pre-tensado aplicadas en el nivel de accionador resultantes del uso de un bastidor para soportar el pre-tensado.

Aunque la Figura 2B ilustra una porción 64 rigidizada que coincide espacialmente con el tamaño de todo el polímero 60, se entiende que porciones más pequeñas de 60 pueden incluir porciones pre-tensadas que coinciden en el área superficial con la porción rigidizada. Por ejemplo, puede usarse una máscara para crear las formas mostradas en la Figura 2C (sin porciones de soporte de borde).

La Figura 2C ilustra un polímero 80 electroactivo que comprende múltiples regiones 82, 84 y 86 rigidizadas estampadas en un solo polímero de acuerdo con una realización de la presente invención. Las porciones 82 rigidizadas bordean y mantienen el pre-tensado para las porciones 83 pre-tensadas cuadradas, mientras que las porciones 84 rigidizadas bordean y mantienen el pre-tensado para las porciones 84 pre-tensadas circulares. Las porciones 86 pre-tensadas incluyen porciones rigidizadas que coinciden espacialmente con las porciones 86 pre-tensadas y comprenden menor tenacidad que las porciones 82 y 84 rigidizadas, de manera que permiten la desviación de la porción pre-tensada/porción rigidizada 86 común.

El polímero 80 permite la fabricación por lotes de múltiples transductores de polímero electroactivo y simplifica la fabricación de transductores y dispositivos que comprenden porciones 83 y 85 pre-tensadas y sus regiones rigidizadas respectivas. El estampado de numerosas regiones 82 y 84 rigidizadas usando una máscara individual de fotocurado, por ejemplo, permite que una acción de estirado para todo el polímero 80 electroactivo consiga el pre-tensado para todo el polímero y todas las porciones 83, 85 pre-tensadas y 86 formadas en el mismo. El fotocurado de las diferentes porciones a mayores y menores extensiones puede producir entonces la tenacidad deseada en cada porción. Por ejemplo, la porción 86a pre-tensada puede incluir un aumento del curado y la tenacidad, produciendo de esta manera un polímero más tenaz y un aumento del pre-tensado en la porción 86a, respecto a la porción 86b, que comprende menor curado y refuerzo, produciendo de esta manera un polímero más blando y

disminuyendo el pre-tensado en la porción 86b.

En una realización, la región 82 rigidizada comprende una mayor tenacidad que la región 84 rigidizada. A continuación se describen diversas técnicas para tenacidad diferencial. Por ejemplo, la región 82 rigidizada puede comprender una mayor tenacidad que mantiene completamente el pre-tensado impuesto sobre la porción 83 pre-tensada, mientras que la región 84 rigidizada puede comprender una menor tenacidad que mantiene parcialmente el pre-tensado impuesto sobre la porción 83 pre-tensada, por ejemplo mantiene la mitad del pre-tensado en cada dirección. Cuando el polímero 80 incluye un pre-tensado consistente por todo él, esta tenacidad diferencial crea regiones en un solo polímero electroactivo con pre-tensado diferencial. De esta manera, el polímero 80 electroactivo comprende una porción 83 pre-tensada que tiene un mayor pre-tensado que la segunda porción 85 pre-tensada.

Cada porción pre-tensada y porción rigidizada puede formarse usando una máscara o técnica de ataque adecuada. Cada porción 85 pre-tensada y porción 84 rigidizada puede usarse en un accionador de diafragma, por ejemplo. Los accionadores de diafragma incluyen porciones 84 rigidizadas y polímero que abarca un orificio en la porción 84 rigidizada cubierto con un electrodo 88. Cada porción 83 pre-tensada y porción 82 rigidizada puede usarse en un accionador de película estirada (Figura 2C), por ejemplo. La porción 86b pre-tensada puede usarse en un accionador, generador o detector de polímero electroactivo laminado. La porción 86a pre-tensada puede usarse en un accionador lineal de pajarita. Cada porción pre-tensada puede cortarse por perforación del polímero 80 para proseguir la fabricación individual para cada porción de polímero. La separación de cada porción pre-tensada del polímero puede ocurrir antes o después de que los electrodos se hayan añadido. Como se muestra, los electrodos 88 se han añadido a cada porción pre-tensada.

Aunque el polímero 80 electroactivo se ilustra con diferentes formas de la porción pre-tensada, se entiende que cada porción pre-tensada para un solo polímero puede incluir la misma forma. En este caso, el pre-tensado anisotrópico puede aplicarse a todo el polímero 80 y cada porción estampada en el mismo. En una realización, la porción 83 pre-tensada y la porción 85 pre-tensada pueden comprender cada una un componente polimérico que se haya curado, al menos parcialmente, para rigidizar cada porción. Aplicar una máscara durante el curado puede personalizar entonces la forma, tamaño y tenacidad (la máscara incluye la permeabilidad selectiva a la energía de curado) para cada porción en el polímero 80. En otra realización del polímero, el polímero 80 electroactivo comprende una película de polímero electroactivo compresible y un polímero de soporte formado en o sobre la película de polímero electroactivo compresible. En este caso, la cantidad de polímero de soporte aplicado a las diferentes porciones de polímero y que se permite que se difunda en el polímero se varía para controlar la tenacidad o nivel de pre-tensado para una porción. Por ejemplo, la porción 85 pre-tensada puede comprender una mayor concentración del polímero de soporte que la porción 83 pre-tensada.

La Figura 3A ilustra un transductor 100 de polímero electroactivo para convertir entre energía eléctrica y mecánica de acuerdo con una realización de la presente invención. El transductor 100 comprende el polímero 102, los electrodos 104 y 106 y la capa 108 de soporte. El polímero 102 electroactivo está en comunicación eléctrica conductora con los electrodos 104 y 106 e incluye una porción 110 pre-tensada.

La capa 108 de soporte está acoplada a una porción 109 de la superficie del polímero 102 electroactivo y está configurada para mantener el pre-tensado en la porción 110. La capa 108 de soporte sirve como un elemento estructural que sostiene y mantiene el pre-tensado en la porción 110 pre-tensada. Más específicamente, la capa 108 de soporte proporcionar fuerzas que se oponen a las fuerzas de contracción elástica en la porción 110 pre-tensada estirada. La capa de soporte está configurada también para desviarse con la desviación del polímero 102 electroactivo. De esta manera, aunque la capa 108 de soporte incluye una tenacidad adecuada para mantener el pre-tensado en la porción 110, se entiende que la capa 108 de soporte es suficientemente compresible para satisfacer la actuación u otra desviación del polímero 102.

La tenacidad para la capa 108 de soporte puede elegirse para conseguir una tenacidad de agregado para la capa 108 y el polímero 102 combinados. En una realización, la capa 108 y el polímero 102 combinados poseen un módulo elástico menor de aproximadamente 10 MPa. La tenacidad para la capa 108 de soporte puede ajustarse para coincidir con la tenacidad para el polímero 102. Se entiende que la tenacidad proporcionada por la capa 108 de soporte depende del módulo elástico para la capa 108 de soporte y el espesor de la capa 108. En una realización, la capa 108 de soporte comprende una tenacidad mayor que la del polímero 102. En una realización específica, la capa 108 de soporte comprende un módulo elástico mayor de aproximadamente 50 MPa. En este caso, el espesor de la capa 108 puede reducirse cuando se desea un aumento de la desviación para una entrada eléctrica. En otra realización, la capa 108 de soporte es relativamente blanda para aumentar la tensión inducida eléctricamente y comprende un módulo elástico menor de aproximadamente 10 MPa.

La porción 109 de la superficie representa un área sobre una superficie del polímero 102 que entra en contacto con la capa 108 de soporte. Como se muestra, la capa 108 de soporte solapa con la porción 110 pre-tensada. El solapamiento entre la capa 108 de soporte y la porción 110 pre-tensada se refiere a una intersección al menos parcial sobre una superficie del polímero 108 entre la capa 108 de soporte y la porción 110. Típicamente, se toma desde una vista del área superficial y se entiende que tanto la capa 108 de soporte como la porción 110 puede que no sean visibles. La capa 108 de soporte solapa también el electrodo 104. En una realización, la capa 108 de soporte se extiende más allá del electrodo 104 y se fija al polímero fuera del electrodo 104 (o solapa con otros

electrodos correspondientes a múltiples áreas activas en el polímero). En una realización específica, la capa 108 de soporte se parece en forma a la porción de polímero o al electrodo que cubre. Como las porciones de polímero y electrodos de un transductor de polímero electroactivo pueden incluir formas habituales tales como formas geométricas, la porción superficial 109, de esta manera, puede parecerse a una forma geométrica que coincide con la forma de la superficie de la porción de polímero o electrodo.

El acoplamiento entre la capa 108 de soporte y la superficie del polímero 102 puede comprender laminado, fijación usando un adhesivo adecuado basado en los materiales que se enlazan, fijación a través de una capa intermedia tal como una capa de adhesivo, etc. El laminado puede comprender cualquier enlace químico adecuado entre las dos superficies según se determina por los dos materiales que se están uniendo. En una realización, la capa 108 de soporte comprende el mismo material que el polímero 102 para facilitar el laminado entre ellos. En este caso, la capa 108 de soporte está dispuesta sobre el polímero 102 a una tensión diferente que supera al menos los equilibrios de las fuerzas de contracción elásticas en la porción 110 pre-tensada estirada.

En una realización, la capa 108 de soporte comprende una resistencia eléctrica menor que la del polímero electroactivo. La resistencia puede ser suficientemente baja para conseguir un tiempo de carga razonable para una aplicación y suficientemente conductora en presencia de fugas parásitas (por ejemplo, a través del aire). En este caso, la capa 108 de soporte puede estar configurada como un electrodo para el transductor.

La Figura 3B ilustra un accionador 270 de película estirada para proporcionar desviación lineal de acuerdo con otra realización de la presente invención. El accionador 270 de película estirada incluye una porción 271 de bastidor de polímero rigidizado que tiene un orificio 272. La porción 271 de bastidor de polímero rigidizado mantiene el pre-tensado para una porción 273 de polímero pre-tensado que se apoya en tensión y abarca el orificio 272. Una barra 274 rígida se fija a una región central de la porción 273 de polímero y proporciona desplazamiento externo correspondiente a la desviación de la porción 273 de polímero. Los pares de electrodos 275 y 276 compresible tienen un estampado en ambas superficies superior e inferior de la porción 273 del polímero, en los lados izquierdo y derecho, respectivamente, de la barra 274 rígida. Cuando el par 275 de electrodo se acciona, un área activa para el par 275 de electrodos se expande y mueve la barra 274 rígida a la derecha. A la inversa, cuando el par 276 de electrodos se acciona, un área activa para el par 276 de electrodos se expande y mueve la barra 274 rígida hacia la izquierda. La actuación alternativa de los electrodos 275 y 276 proporciona una carrera 279 total eficazmente más larga para la barra 274 rígida. Una variación de este accionador incluye añadir pre-tensado anisotrópico a la porción 273 del polímero de manera que la porción 273 del polímero tenga un alto pre-tensado (y tenacidad) en la dirección perpendicular al desplazamiento de la barra rígida. Otra variación es eliminar uno de los pares de electrodos 275 y 276.

En otra realización, una porción de un polímero electroactivo se refuerza para afectar a una dirección de la desviación. La Figura 3C ilustra un transductor 120 de polímero electroactivo que comprende segmentos 122 rigidizados que afectan a la desviación de acuerdo con una realización específica de la presente invención.

Los segmentos 122 de refuerzo comprenden laminados o porciones rigidizadas del polímero 124 dispuestas en el polímero 124 mientras el polímero está en un estado pre-tensado, por ejemplo mientras se estira. Las porciones 126 pre-tensadas se forman entre los segmentos 122. Los segmentos 122 de refuerzo se caracterizan por una dirección 123 principal y disminuyen la desviación de la porción pre-tensada en la dirección 123 principal. Los refuerzos 122 mantienen también el pre-tensado para las porciones 126 a lo largo del eje de los segmentos 122 en la dirección 123. Además, los refuerzos 122 permiten la desviación solo en la dirección 125 ortogonal. Debe observarse que el aumento de la tenacidad en la dirección 123 comprende el aumento de tenacidad proporcionado por los segmentos 122 así como el aumento de tenacidad del polímero en la dirección 123 de pre-tensado.

Como se muestra, numerosos segmentos 122 de refuerzo están dispuestos en paralelo y permiten un aumento de la producción acumulativa en la dirección 125. Los segmentos 122 de refuerzo pueden disponerse en otras configuraciones para conseguir la elasticidad direccional del transductor 120, tal como los segmentos radiales, por ejemplo. Los segmentos 122 de refuerzo pueden conseguirse usando diferentes porciones del polímero 124 (por ejemplo, por curado) o uno o más laminados dispuestos donde se muestran los segmentos 122 de refuerzo.

Fabricación de pre-tensado de doble curado

Como los polímeros presentados pueden implementarse tanto a escala micro como macro, en una amplia diversidad de diseños de accionador, con un amplio intervalo de materiales, y en un amplio intervalo de aplicaciones, los procedimientos de fabricación usados con la presente invención pueden variar en gran medida. En un aspecto, la presente invención proporciona procedimientos para fabricar polímeros electroactivos y transductores de polímero electroactivo y dispositivos que incluyen uno o más polímeros pre-tensados.

En una realización, la presente invención aplica pre-tensado a un polímero electroactivo parcialmente curado. El polímero parcialmente curado se cura adicionalmente para soportar y mantener el pre-tensado. Esta técnica es útil cuando el polímero electroactivo comprende uno o más grupos reactivos y el curado puede dar como resultado la reticulación de las cadenas de polímero y proporcionar soporte para el pre-tensado.

La Figura 4 ilustra un flujo de procedimiento 400 de doble curado para formar un polímero electroactivo de acuerdo con una realización de la presente invención. Los procedimientos de acuerdo con la presente invención pueden incluir hasta varias etapas adicionales no descritas ni ilustradas aquí para no dificultar la comprensión de la presente invención. En algunos casos, los procedimientos de fabricación de la presente invención pueden incluir materiales y técnicas convencionales tales como polímeros y técnicas disponibles en el mercado usados en la fabricación de tecnologías microelectrónica y electrónica. Además, la fabricación de dispositivos que empleaban los polímeros electroactivos descritos en el presente documento puede incluir etapas adicionales no detalladas para no dificultar la comprensión de la presente invención. Por ejemplo, los accionadores de microdiafragma pueden producirse *in situ* o sobre silicio usando técnicas convencionales para formar los orificios y aplicar el polímero y los electrodos.

El flujo de procedimiento 400 comienza curando parcialmente una composición que comprende un precursor para que un polímero electroactivo forme un polímero electroactivo (402) parcialmente curado. En una realización, el polímero electroactivo está parcialmente curado hasta que el polímero posee una integridad mecánica adecuada para el estirado elástico del polímero electroactivo parcialmente curado. El curado puede realizarse térmicamente, fotoquímicamente o con radiación, por ejemplo. El curado térmico puede emplearse sin la adición de ningún agente químico tras la adición de un agente iniciador adecuado o uno o más agentes de curado adicionales. El curado térmico puede realizarse en un horno convencional, por ejemplo. Los grupos polimerizables en el precursor de polímero electroactivo pueden experimentar una polimerización por crecimiento de cadena (tal como en los compuestos que contienen dobles enlaces carbono-carbono), una polimerización con apertura de anillo (tal como en epoxis, tetrahidrofuranos, lactonas, lactamas y alicíclicos) o una polimerización con crecimiento escalonado (tal como la formación de poliésteres, poliamidas, poliimidas y poliuretanos).

El polímero electroactivo parcialmente curado se estira después para conseguir un pre-tensado para el polímero electroactivo (404). El pre-tensado puede conseguirse mediante un número de técnicas. En una realización, el pre-tensado se consigue estirando mecánicamente un polímero en una o más direcciones y fijándolo temporalmente a uno o más miembros sólidos (por ejemplo, placas rígidas o un bastidor de fabricación) mientras se estira. El polímero, como alternativa, puede mantenerse temporalmente pre-tensado usando un sustrato rígido adecuado, por ejemplo, estirando el polímero y después fijándolo al sustrato rígido. Las cantidades de pre-tensado anisotrópico y elástico adecuadas se han descrito anteriormente.

El flujo de procedimiento 400 transcurre entonces curando adicionalmente una porción del polímero electroactivo para rigidizar la porción (o todo el polímero) (406). Después del curado, la porción rigidizada comprende un componente polimérico que se curó mientras el polímero electroactivo se tensaba para bloquear o mantener el pre-tensado. El componente polimérico puede comprender el polímero electroactivo o un aditivo separado, tal como un precursor de polímero descrito más adelante. En otra realización, el polímero electroactivo comprende una película de polímero electroactivo elástico y un polímero de soporte formado en o sobre la película de polímero electroactivo elástico. El curado del polímero de soporte refuerza la porción. El segundo curado puede realizarse térmicamente, fotoquímicamente o con radiación, por ejemplo. Los grupos polimerizables en el precursor de polímero electroactivo (o cadenas/redes de polímero parcialmente formadas/curadas) pueden experimentar adicionalmente una polimerización por crecimiento de cadena, una polimerización por apertura de anillo o una polimerización por crecimiento escalonado. Adicionalmente, las cadenas de polímero existentes pueden reticularse (o reticularse adicionalmente más allá de algún estado de reticulación existente) para efectuar el curado/refuerzo. En general, la porción rigidizada puede comprender cualquier precursor de polímero que cuando se cura (por crecimiento de cadena o reticulación), al menos parcialmente, refuerza el material de polímero electroactivo en la porción.

El uso de mecanismos de curado permite que el rendimiento de tenacidad y fuerza de un polímero aumente. La tensión accionada máxima puede reducirse con el aumento de la tenacidad, pero un mayor rendimiento de fuerza es útil en muchas aplicaciones. En una realización, una porción curada posee un módulo elástico menor de aproximadamente 10 MPa después del curado cuando la porción se emplea para la actuación. El polímero puede curarse también a una tenacidad deseada, y también puede curarse para conseguir otra propiedad, tal como un espesor deseado después de liberarlo del bastidor de pre-tensado. En otra realización, la porción rigidizada se cura adicionalmente cuando se emplea para mantener el pre-tensado en una porción vecina del polímero. Por ejemplo, la porción rigidizada puede curarse adicionalmente para que posea un módulo elástico por encima de 50 MPa cuando se emplea para mantener el pre-tensado en una porción próxima del polímero.

El segundo curado puede comprender exponer el polímero electroactivo a radiación, tal como radiación ultravioleta o infrarroja. Puede aplicarse una máscara o filtro a una superficie del polímero para definir la forma y tamaño de la porción rigidizada. La porción rigidizada puede configurarse entonces espacialmente para proporcionar fuerzas que resisten las fuerzas de contracción en una porción pre-tensada, resultantes del estiramiento de la porción pre-tensada. Algunas máscaras proporcionan exposición a radiación diferencial a múltiples porciones del polímero, permitiendo de esta manera que diferentes porciones del polímero se curen y refuercen en diversas extensiones. En una realización específica, la máscara reduce la cantidad de exposición a radiación a una porción de borde del polímero electroactivo. Esto aumenta el espesor de la porción de borde y aumenta la resistencia a degradación del polímero en esta porción de borde (puede conseguirse un efecto similar usando una capa de soporte como se ha descrito anteriormente con respecto a la Figura 3A).

Después de que el segundo curado se haya completado, el polímero electroactivo se libera del bastidor o sustrato rígido que fija temporalmente el pre-tensado. Puede usarse un agente de liberación tal como alcohol isopropílico para facilitar la liberación desde un sustrato estratificado.

Después del curado y formación del polímero electroactivo con pre-tensado, pueden depositarse uno o más electrodos sobre una superficie del polímero. En una realización específica, uno o más electrodos de grafito se estampan y se depositan usando una máscara o plantilla. Los electrodos que comprenden grasas conductoras mezcladas con una silicona conductora pueden fabricarse disolviendo la grasa conductora y la silicona conductora no curada en un disolvente. La solución puede pulverizarse entonces sobre el material de polímero electroactivo y puede incluir una máscara o plantilla para conseguir un estampado particular en el electrodo o el área activa.

El transductor, que comprende el polímero pre-tensado y los electrodos, puede envasarse entonces o ensamblarse adicionalmente de acuerdo con una aplicación. El envasado puede incluir el ensamblaje de múltiples transductores mecánicamente relacionados o apilados como múltiples capas. Además, las conexiones mecánicas y eléctricas a los transductores pueden formarse de acuerdo con un diseño particular del dispositivo.

Mantenimiento del pre-tensado mediante el acoplamiento de una capa de soporte

En otro aspecto, la presente invención se refiere a un procedimiento para fabricar un polímero electroactivo que comprende una capa de soporte acoplada al polímero que mantiene el pre-tensado en una porción de un polímero electroactivo.

La Figura 5 ilustra un flujo de procedimiento 500 de acoplamiento a la capa de soporte para formar un polímero electroactivo de acuerdo con una realización de la presente invención. Los procedimientos de acuerdo con la presente invención pueden incluir hasta varias etapas adicionales no descritas o ilustradas aquí para no dificultar la comprensión de la presente invención.

En flujo de procedimiento 500 comienza estirando el polímero electroactivo para conseguir un pre-tensado en una porción del polímero (502). Anteriormente se han descrito varias técnicas para estirar un polímero para conseguir y mantener temporalmente el pre-tensado elástico con respecto al 404 del flujo de procedimiento 400. Por ejemplo, el polímero electroactivo puede estirarse mecánicamente en una o más direcciones y fijarse temporalmente a uno o más miembros sólidos (por ejemplo, placas rígidas o un bastidor de fabricación) mientras se estira.

Antes de aplicar el pre-tensado, el polímero electroactivo puede recibirse o fabricarse de acuerdo con diversos procedimientos. En una realización, el polímero es un producto disponible en el mercado, tal como una película de elastómero acrílica disponible en el mercado. En otra realización, el polímero es una película fabricada por uno de colada, inmersión, revestimiento por centrifugación o pulverización. Los detalles adicionales para la fabricación del polímero se proporcionan con respecto a 704 del flujo de procedimiento 700.

Antes de la aplicación de la capa de soporte, uno o más electrodos pueden depositarse sobre una superficie del polímero. Las técnicas adecuadas para aplicar un electrodo, tales como pulverización y estampado usando una máscara o plantilla, se han descrito anteriormente.

El flujo de procedimiento 500 transcurre acoplando una capa de soporte a una porción de la superficie del polímero cuando el polímero está pre-tensado (504). La capa de soporte solapa con la porción pre-tensada y mantiene al menos parcialmente el pre-tensado en la porción. La capa de soporte puede solapar con también uno o más electrodos depositados sobre la superficie de polímero. Como alternativa, como se ha mencionado anteriormente, la capa de soporte puede estar configurada como un electrodo. Una capa de soporte ejemplar se ha descrito anteriormente con respecto a la Figura 3A. En una realización, la capa de soporte incluye un módulo elástico mayor que un módulo elástico para el polímero. La capa de soporte puede a) depositarse sobre la porción de superficie y curarse sobre la misma para el acoplamiento, o b) fijarse como una película curada previamente al transductor de electrodo de polímero usando un adhesivo adecuado. En algunos casos, un polvo ligero, tal como talco es deseable para evitar que la capa de soporte se pegue a sí misma. En una realización específica, la capa de soporte incluye un polímero, tal como una película elástica, que se acopla por laminado a la porción de superficie de polímero.

Después de asegurar la capa de soporte al polímero electroactivo, el laminado se libera después del bastidor o dispositivo aplicando un pre-tensado temporal. La liberación del laminado del bastidor puede forzar que la capa de soporte se comprima. En algunos casos, el pre-tensado inicial en el polímero electroactivo puede reducirse.

En una realización específica para el procedimiento 500, una película de polímero electroactivo acrílica de 1 mm de espesor se pretensó un 400% x 400% en área. El área pre-tensada era de 10,2 cm x 10,2 cm. Se aplicaron fibrillas de carbono en alcohol isopropílico al 70% sobre el polímero como electrodos. La capa de soporte comprendía: 2,8 g de una mezcla que comprendía 2 partes de silicona 118 a 1 parte de aceite de silicona de 10 centistokes. Se añadieron también 0,7 g de nafta a la mezcla para ayudar a dispersar la capa de soporte. Cuando se liberó del soporte pre-tensado temporal, la película de polímero electroactivo acrílica se contrajo a aproximadamente un 200% x 200% en área de pre-tensado. El polímero producido accionó tensiones tan altas como un 70-80% de tensión lineal, que están sustancialmente por encima de la conseguida por un polímero electroactivo sin ningún pre-tensado.

Curado de precursores de polímero para rigidizar una porción de polímero

En otra realización, la presente invención cura un precursor de polímero para mantener el pre-tensado en un polímero electroactivo. El precursor de polímero curable puede aplicarse a una superficie de una lámina o película de polímero electroactivo y se deja que revista, se disperse o difunda en la película. Los aditivos se curan después para formar una o más porciones más tenaces. En algunos casos, el curado se "bloquea" y mantiene el pre-tensado en la película de polímero electroactivo formando una red reticulada de cadenas de polímero.

La Figura 6 ilustra un flujo de procedimiento 600 que emplea un precursor de polímero para formar un polímero electroactivo de acuerdo con una realización de la presente invención. Los procedimientos de acuerdo con la presente invención pueden incluir hasta varias etapas adicionales no descritas o ilustradas aquí para no dificultar la comprensión de la presente invención.

El flujo de procedimiento 600 comienza aplicando un precursor de polímero a una superficie de una porción del polímero electroactivo (o toda la porción, véase la Figura 2B) (602). El polímero electroactivo puede recibirse o fabricarse previamente de acuerdo con diversos procedimientos, tales como revestimiento por centrifugación, como se ha descrito anteriormente. En una realización, el precursor de polímero (por ejemplo, acrilatos con un agente iniciador adecuado) se aplica a una película de polímero electroactivo y se deja que se disperse en el grueso de la película. En una realización, el precursor de polímero se aplica sobre una o más porciones de una superficie de un polímero electroactivo por pulverización (a menudo desde una solución diluida) o impresión. El precursor de polímero puede aplicarse también selectivamente a porciones limitadas a través de un enmascarado con sombreado o impresión para permitir el estampado de formas y tamaños precisos de la porción de superficie, refuerzo local en los bordes de un polímero, etc. El uso de una máscara permite que múltiples porciones de una porción se estampen fácilmente en una sola etapa. La cantidad de precursor añadido variará con la cantidad deseada de pre-tensado en la porción y/o una cantidad deseada de contracción cuando se libera el polímero del pre-tensado temporal.

En una realización, el precursor de polímero se aplica a todas las superficies del polímero donde se desea el pre-tensado. En otra realización, una porción rigidizada del polímero electroactivo tratado con el precursor de polímero sirve después como un elemento estructural para mantener el pre-tensado en otra porción del polímero (véanse las regiones de refuerzo de la Figura 2A).

En muchas realizaciones, el precursor de polímero se difunde entonces al menos parcialmente en el polímero. Se entiende que la difusión y dispersión incompletas en el polímero son adecuadas en muchos casos. Para una penetración menor que la total, pueden formarse capas de refuerzo en el polímero, que son aceptables en muchas aplicaciones. La difusión dentro del polímero puede transcurrir durante un tiempo prolongado, por ejemplo horas. De nuevo, algunas realizaciones implican revestir meramente el precursor sobre el polímero y curado posterior del revestimiento, sin difusión significativa en el sustrato de polímero subyacente, para formar una estructura bicapa - que se parece a un laminado.

El polímero se estira después para conseguir un pre-tensado en una porción de polímero (604). Anteriormente se han descrito diversas técnicas para estirar un polímero para conseguir y mantener temporalmente un pre-tensado anisotrópico y/o elástico con respecto a 404 del flujo de procedimiento 400. En otra realización, el precursor de polímero se aplica sobre la superficie después de que el polímero electroactivo se haya pre-tensado. Esto puede reducir el tiempo necesario para que el precursor penetre en el polímero.

El flujo de procedimiento transcurre mediante curado del precursor de polímero para rigidizar dicha porción (606). El precursor de polímero, cuando se cura, refuerza al menos parcialmente el material de polímero electroactivo en la porción. El precursor de polímero puede comprender y contener un dímero (es decir, cada molécula contiene dos grupos polimerizables) o un oligómero. Una clase adecuada de precursor de polímero incluye acrilatos. Pueden usarse muchos compuestos curables distintos de acrilatos incluyendo, por ejemplo, metacrilatos, epoxis, siliconas y similares. Puede emplearse cualquier agente de refuerzo adecuado que proporcione la tenacidad física necesaria. La composición química no es un factor controlante.

El curado puede realizarse térmicamente, fotoquímicamente, etc. Los grupos polimerizables en el precursor de polímero electroactivo pueden experimentar una polimerización por crecimiento de cadena, una polimerización por apertura de anillo o una polimerización por crecimiento escalonado, por ejemplo. Similar a lo descrito anteriormente con respecto a 406 del flujo de procedimiento 400, el curado puede comprender exponer el polímero electroactivo a radiación. Puede aplicarse una máscara o filtro a una superficie del polímero para definir la acción de curado. Algunas máscaras proporcionan exposición a radiación diferencial a múltiples porciones del polímero, permitiendo de esta manera que diferentes porciones del polímero se curen y refuercen en diversas extensiones.

La cantidad de precursor de polímero a menudo afecta a la tenacidad de la porción después de curado. De esta manera, una mayor cantidad del precursor de polímero puede aplicarse sobre una segunda porción que sobre una primera porción.

Después del curado, uno o más electrodos pueden depositarse sobre una superficie del polímero. La superficie puede incluir la porción a rigidizar (véase la Figura 2B) o una segunda porción pre-tensada del polímero electroactivo rodeada por la porción a rigidizar (véase la Figura 2A). Las técnicas adecuadas para aplicar un electrodo, tal como

pulverización y estampado usando una máscara o plantilla, se han descrito anteriormente. El laminado también se libera posteriormente del bastidor o dispositivo aplicando el pre-tensado temporal.

En una realización específica para el flujo de procedimiento 600, se mezclaron diacrilato de 1,6-hexanodiol (3,2 gramos) y peróxido de benzoílo (0,32 gramos) con 20 ml de acetato de etilo. La solución se pulverizó sobre un polímero electroactivo acrílico VHB 4910 con un 300% x 300% de pre-tensado. El polímero se puso después en un horno de vacío a 800 grados C durante 5 horas. En este caso, la reticulación en la película de polímero provocada por el precursor de polímero fue eficaz para soportar el pre-tensado. Sin embargo, en este caso, a medida que el polímero se hace más tenaz, la tensión accionada tras la aplicación de una tensión se reduce.

En otra realización específica, se mezclaron diacrilato de 6-hexanodiol (2,0 gramos) y peróxido de benzoílo (0,2 gramos) con 40 ml de acetato de etilo. La solución se pulverizó sobre una película de polímero electroactivo acrílico VHB 4910 con un 400% x 400% de pre-tensado. Las películas de polímero se pusieron después en un horno de vacío a 78 grados C durante 4 horas.

Cantidad de diacrilato gramos / 161 cm ²	0	0,4	0,5	0,6	1,0
Espesor sobre el bastidor pre-tensado (μm)	35,6		38,9		
Espesor después de la liberación (μm)	965	85,1	94,0	66,0	55,9
Accionamiento a 6,2 kV (aumento de área)	-	100%	100%	80%	20%
			200% a 7 kV		50% a 8 kV

Curado del precursor de polímero pre-mezclado

En otra realización, un precursor para un polímero de soporte se mezcla con un precursor para un polímero electroactivo antes de formar el polímero, por ejemplo en una película fina. Esto es útil para polímeros electroactivos, tales como elastómeros, que no están reticulados químicamente y, por lo tanto, pueden disolverse y mezclarse junto con el precursor de polímero de soporte.

La Figura 7 ilustra un flujo de procedimiento 700 que emplea una composición que comprende un precursor de polímero para un polímero de soporte y un precursor para un polímero electroactivo para formar un polímero electroactivo de acuerdo con una realización de la presente invención. Los procedimientos de acuerdo con la presente invención pueden incluir hasta varias etapas adicionales no descritas ni ilustradas aquí para no dificultar la comprensión de la presente invención.

El flujo de procedimiento 700 comienza proporcionando una composición que comprende un precursor para un polímero electroactivo y un precursor para un polímero de soporte (702). Los ejemplos específicos de precursores de polímero se han analizado anteriormente. Los ejemplos específicos de polímeros electroactivos no reticulados incluyen Kraton (un copolímero tribloque de poliestireno-polibutadieno-poliestireno de Shell) y poliuretanos termoplásticos.

El polímero electroactivo se forma después a partir de la composición (704). En una realización, el polímero es una película fabricada por uno de colada, inmersión, revestimiento por centrifugación o pulverización. El revestimiento por centrifugación típicamente implica aplicar la composición sobre un sustrato rígido y centrifugarlo hasta un espesor deseado. La composición puede incluir un precursor para un polímero de soporte, un precursor para un polímero electroactivo y un dispersante o disolvente volátil. La cantidad de dispersante, la volatilidad del dispersante, y la velocidad de centrifugación pueden alterarse para producir un polímero deseado. A modo de ejemplo, las películas de poliuretano pueden revestirse por centrifugación en una solución de poliuretano y tetrahidrofurano (THF) o ciclohexanona. En el caso de sustratos de silicio, el polímero puede revestirse por centrifugación sobre un plástico aluminizado o con un carburo de silicio. El aluminio y carburo de silicio forman de una capa de sacrificio que se retira posteriormente mediante un reactivo de ataque adecuado. Las películas de polímero electroactivo en el intervalo de un micrómetro de espesor pueden producirse por revestimiento por centrifugación de esta manera. El revestimiento por centrifugación de películas de polímero, tales como de silicona, puede realizarse en un sustrato de plástico no adherente suave, tal como metacrilato de polimetilo o teflón. La película de polímero puede liberarse después por desprendimiento mecánico o con ayuda de alcohol u otro agente de liberación adecuado. El revestimiento por centrifugación también es adecuado para producir polímeros más gruesos en el intervalo de 10-750 micrómetros.

El polímero se estira después para conseguir un pre-tensado en una porción del polímero (706). Anteriormente se han descrito diversas técnicas para estirar un polímero para conseguir y mantener temporalmente un pre-tensado anisotrópico y/o elástico con respecto a 404 del flujo de procedimiento 400.

El precursor se cura después de manera que el polímero de soporte forma el polímero de soporte en una porción rigidizada del polímero (708). Después del curado, el polímero electroactivo comprende dos componentes: un polímero electroactivo subyacente y un aditivo. El polímero electroactivo compuesto comprende entonces una lámina o película de polímero electroactivo flexible y un polímero de retención más tenaz formado en o sobre la

lámina del polímero activo y que define la región rigidizada. El precursor de polímero, cuando se cura, refuerza al menos parcialmente el material de polímero electroactivo en la porción. En una realización, el polímero se reticula con el polímero de soporte. El curado puede realizarse térmicamente, fotoquímicamente, con radiación, etc. Los grupos polimerizables en el precursor de polímero electroactivo pueden experimentar una polimerización por crecimiento de cadena, una polimerización por apertura de anillo o una polimerización por crecimiento escalonado, por ejemplo. De forma similar a la descrita anteriormente con respecto a 406 del flujo de procedimiento 400, el curado puede comprender exponer el polímero electroactivo a radiación. Puede aplicarse una máscara o filtro a una superficie del polímero para definir la acción de curado. Algunas máscaras proporcionan exposición a radiación diferencial a múltiples porciones del polímero, permitiendo de esta manera que diferentes porciones del polímero se curen y refuercen en extensiones variables. La cantidad de precursor de polímero a menudo afecta a la tenacidad de la porción después del curado. De esta manera, una mayor cantidad del precursor de polímero puede aplicarse sobre una segunda porción que sobre una primera porción.

El precursor del polímero, cuando se cura, mantiene al menos parcialmente el pre-tensado en la porción pre-tensada después del curado. En una realización, la porción rigidizada solapa con la porción pre-tensada (véase la Figura 2B). En otra realización, la porción rigidizada está próxima a la porción pre-tensada del polímero electroactivo (véase la Figura 2A).

Después del curado, pueden depositarse uno o más electrodos sobre una superficie del polímero de acuerdo con la creación de una o más áreas activas para el polímero. El polímero también se libera posteriormente del bastidor o dispositivo aplicando el pre-tensado temporal.

Mezclar un precursor para un polímero electroactivo y un precursor para un polímero de soporte antes de formar el polímero electroactivo puede proporcionar un polímero compuesto más integrado. Después de formar el polímero compuesto, el polímero de soporte puede dispersarse muy uniformemente entre las cadenas de polímero electroactivo. Este polímero electroactivo compuesto altamente integrado puede proporcionar mejor estabilidad mecánica, mejor soporte para el pre-tensado y mayor rendimiento.

Multifuncionalidad

Los polímeros electroactivos pueden convertir entre energía eléctrica y energía mecánica de una manera bidireccional. De esta manera, los transductores como se describen en el presente documento pueden usarse en un accionador que convierta energía eléctrica en energía mecánica y/o un generador que convierta energía mecánica en energía eléctrica. La detección de las propiedades eléctricas de un transductor de polímero electroactivo permite detectar también la funcionalidad.

Las Figuras 1A y 1B pueden usarse para mostrar una manera en la que la porción 10 del transductor convierte energía mecánica en energía eléctrica. Por ejemplo, si la porción 10 del transductor se estira mecánicamente mediante fuerzas externas a una forma de área más fina y grande, tal como la mostrada en la Figura 1B, y se aplica una diferencia de tensión relativamente pequeña (menor que la necesaria para accionar la película a la configuración de la Figura 1B) entre los electrodos 14 y 16, la porción 10 del transductor se contraerá de área entre los electrodos a una forma tal como en la Figura 1A cuando se retiran las fuerzas externas. El estirado del transductor se refiere a desviar el transductor de su posición de reposo original - típicamente para dar como resultado un área neta mayor entre los electrodos, por ejemplo en el plano definido por las direcciones 18 y 20 entre los electrodos. La posición de reposo se refiere a la posición de la porción 10 del transductor que no tiene una entrada eléctrica mecánica externa y puede comprender cualquier pre-tensado en el polímero. Una vez que se estira la porción 10 del transductor, la diferencia de tensión relativamente pequeña se proporciona, de manera que las fuerzas electrostáticas resultantes son insuficientes para equilibrar las fuerzas de recuperación elástica del estirado. La porción 10 del transductor, por lo tanto, se contrae y se hace más gruesa y tiene una menor área plana en el plano definido por las direcciones 18 y 20 (ortogonal al espesor entre los electrodos). Cuando el polímero 12 se hace más grueso, separa los electrodos 14 y 16 y sus cargas distintas correspondientes, elevando de esta manera la energía eléctrica y la tensión de la carga. Adicionalmente, cuando los electrodos 14 y 16 se contraen a un área menor, las cargas similares dentro de cada electrodo se comprimen, elevando también la energía eléctrica y la tensión de la carga. De esta manera, con diferentes cargas en los electrodos 14 y 16, la contracción desde una forma tal como la mostrada en la Figura 1B a una tal como la mostrada en la Figura 1A eleva la energía eléctrica de la carga. Es decir, la desviación mecánica se convierte en energía eléctrica y la porción 10 del transductor actúa como un generador.

En algunos casos, la porción 10 del transductor puede describirse eléctricamente como un condensador variable. La capacitancia disminuye por un cambio de forma que va desde la mostrada en la Figura 1B a la mostrada en la Figura 1A. Típicamente, la diferencia de tensión entre los electrodos 14 y 16 se elevará por contracción. Este es normalmente el caso, por ejemplo, si no se añade o sustrae una carga adicional de los electrodos 14 y 16 durante el procedimiento de contracción. El aumento en energía eléctrica, U , puede ilustrarse mediante la fórmula $U = 0,5 Q^2/C$, donde Q es la cantidad de carga positiva en el electrodo positivo y C es la capacitancia variable, que está relacionada con las propiedades dieléctricas intrínsecas del polímero 12 y su geometría. Si Q es fijo y C disminuye, entonces la energía eléctrica U aumenta. El aumento en energía eléctrica y tensión puede recuperarse o usarse en un dispositivo o circuito electrónico adecuado, en comunicación eléctrica con los electrodos 14 y 16. Además, la porción 10 del transductor puede acoplarse mecánicamente a una entrada mecánica que desvía el polímero y

proporciona energía mecánica.

Los polímeros electroactivos pueden configurarse también como un detector. En general, un detector de polímero electroactivo detecta un "parámetro" y/o cambios en el parámetro. El parámetro normalmente es una propiedad física de un objeto tal como tensión, deformación, velocidad, localización, contacto, aceleración, vibración, presión, tamaño, etc. En algunos casos, el parámetro que se detecta está asociado con un "acontecimiento" físico. El acontecimiento físico que se detecta puede ser la consecución de un valor o estado particular, por ejemplo. Un detector de polímero electroactivo está configurado de manera que una porción del polímero electroactivo se desvía en respuesta al cambio en un parámetro que se está detectando. El estado de energía eléctrica y estado de desviación del polímero están relacionados. El cambio en energía eléctrica o un cambio en la impedancia eléctrica de un área activa resultante de la desviación pueden detectarse entonces detectando la electrónica en comunicación eléctrica con los electrodos de área activa. Este cambio puede comprender un cambio de capacitancia del polímero, un cambio de resistencia del polímero y/o un cambio de resistencia de los electrodos o una combinación de los mismos. Los circuitos electrónicos en comunicación eléctrica con los electrodos detectan el cambio en la propiedad eléctrica. Si se mide, por ejemplo, un cambio en la capacitancia o resistencia del transductor, se aplica energía eléctrica a los electrodos incluidos en el transductor y se observa un cambio en los parámetros eléctricos.

Para facilitar la comprensión, la presente invención se ha descrito y mostrado principalmente centrándose en una sola dirección de conversión de energía. Más específicamente, la presente invención se centra en la conversión de energía eléctrica en energía mecánica. Sin embargo, en todas las figuras y análisis para la presente invención, es importante observar que los polímeros y dispositivos pueden convertir entre energía eléctrica y energía mecánica bidireccionalmente. De esta manera, cualquiera de los transductores ejemplares descritos en el presente documento puede usarse con un generador o detector. Típicamente, un generador de la presente invención comprende un polímero dispuesto de una manera que provoca un cambio en el campo eléctrico como respuesta a la desviación de una parte del polímero. El cambio en el campo eléctrico junto con los cambios en la dimensión del polímero en la dirección del campo produce un cambio en la tensión y, por lo tanto, un cambio en la energía eléctrica.

Según se usan los términos en el presente documento, un transductor se refiere a un polímero electroactivo con al menos dos electrodos; un dispositivo de polímero electroactivo se refiere a un transductor con al menos un acoplamiento o componente mecánico adicional; un accionador de polímero electroactivo se refiere a un transductor o dispositivo configurado para producir algún tipo de rendimiento mecánico; un generador de polímero electroactivo se refiere a un transductor o dispositivo configurado para producir energía eléctrica; y un detector de polímero electroactivo se refiere a un transductor o dispositivo configurado para detectar una propiedad o acontecimiento.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para formar un polímero electroactivo, comprendiendo el procedimiento:

estirar el polímero electroactivo para conseguir un pre-tensado en una porción del polímero; y
 acoplar una capa de soporte a una porción de la superficie del polímero cuando el polímero está pre-tensado,
caracterizado porque la capa de soporte solapa con la porción pre-tensada y mantiene al menos parcialmente
 el pre-tensado en la porción.

2. El procedimiento de la reivindicación 1 que comprende adicionalmente:

mantener el polímero electroactivo con un bastidor para mantener el pre-tensado mientras la capa de soporte
 está acoplada a la porción de superficie; y
 liberar el polímero electroactivo del bastidor.

3. El procedimiento de la reivindicación 1 en el que la capa de soporte incluye un módulo elástico mayor que un
 módulo elástico para el polímero.

4. El procedimiento de la reivindicación 1 en el que el polímero electroactivo comprende un módulo elástico menor
 de aproximadamente 10 MPa.

5. El procedimiento de la reivindicación 1 que comprende adicionalmente depositar un electrodo en una superficie
 del polímero electroactivo antes de acoplar la capa de soporte al polímero.

6. Un transductor (100) del polímero electroactivo para convertir entre energía eléctrica y mecánica, comprendiendo
 el transductor:

al menos dos electrodos (104, 106); y
 un polímero (102) electroactivo en comunicación eléctrica con al menos dos electrodos (104, 106), incluyendo
 una porción (110) de pre-tensado; y
 una capa (108) de soporte acoplada a una porción (109) de superficie del polímero (102) electroactivo, en el
 que la capa (108) del soporte solapa con la porción (110) pre-tensada y está configurada para mantener el pre-
 tensado en la porción pre-tensada y está configurada para desviarse con la desviación del polímero (102)
 electroactivo.

7. El transductor (100) de polímero electroactivo de acuerdo con la reivindicación 6, en el que la capa (108) de
 soporte se acopla a la porción (109) de superficie del polímero (102) electroactivo por laminado.

8. El transductor (100) de polímero electroactivo de acuerdo con la reivindicación 6, en el que la capa (108) de
 soporte comprende una resistencia eléctrica menor que la del polímero (102) electroactivo.

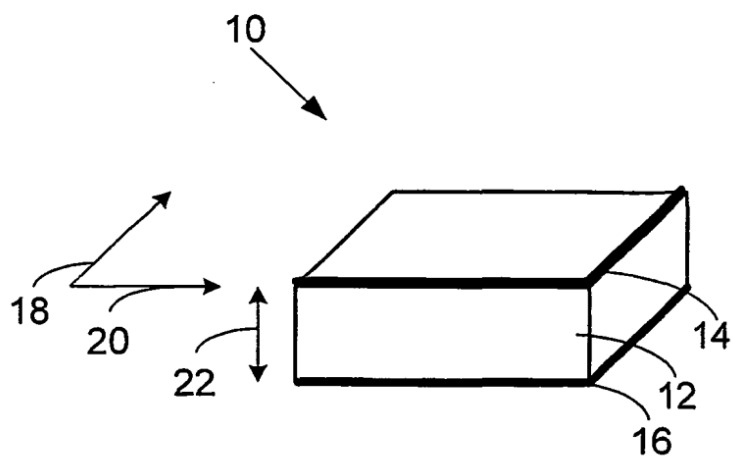


FIG. 1A

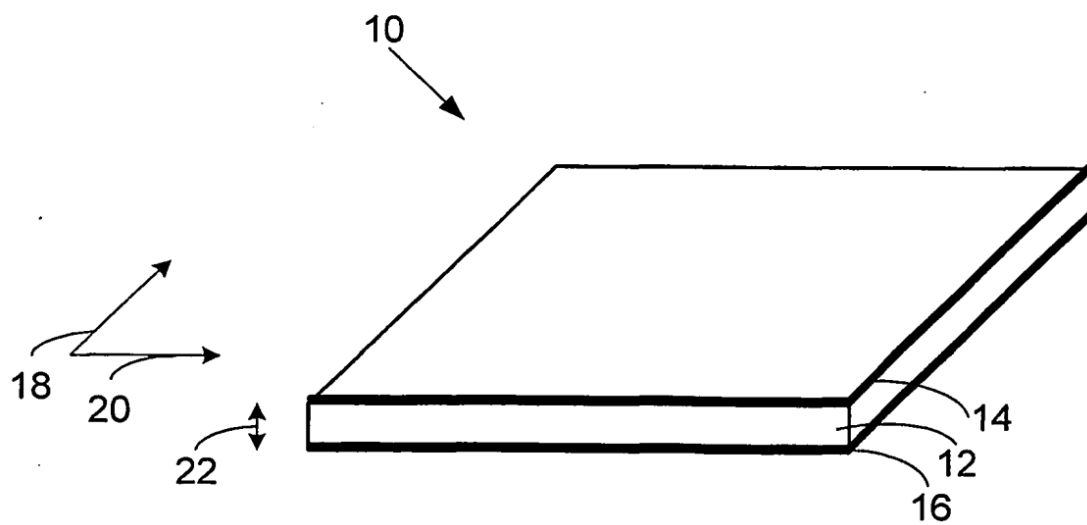


FIG. 1B

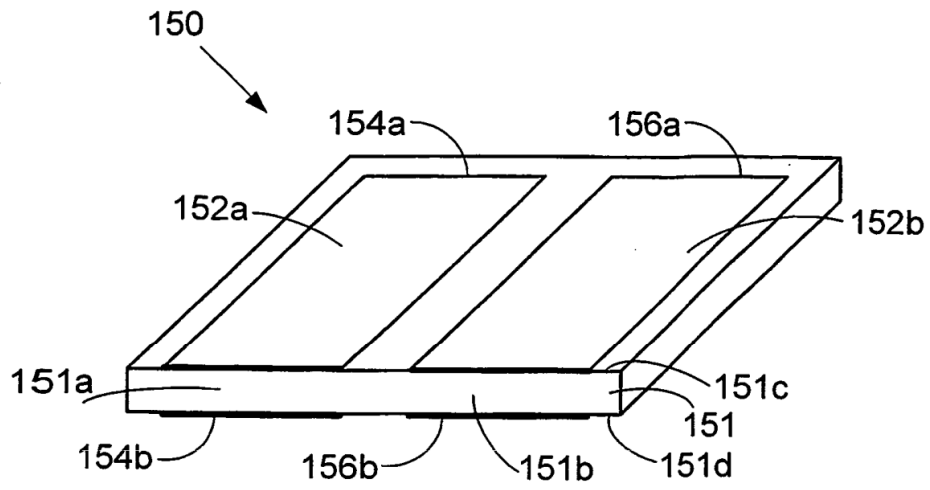


FIG. 1C

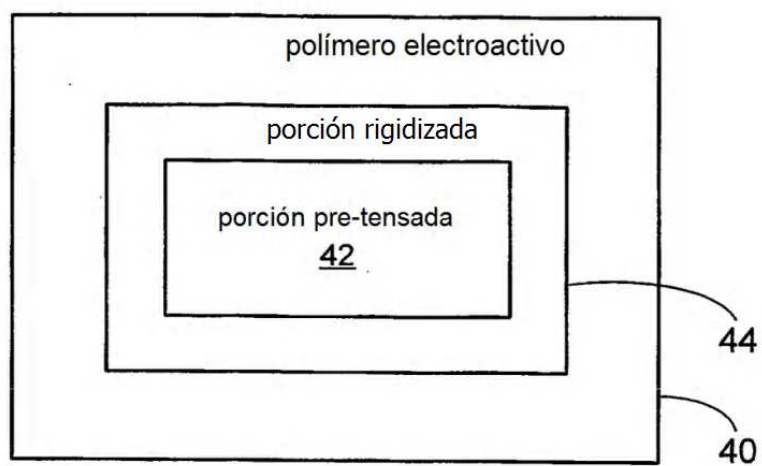


FIG. 2A

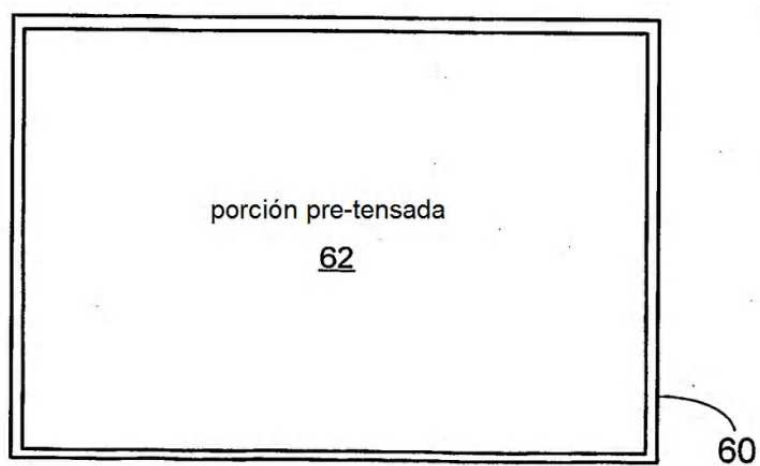


FIG. 2B

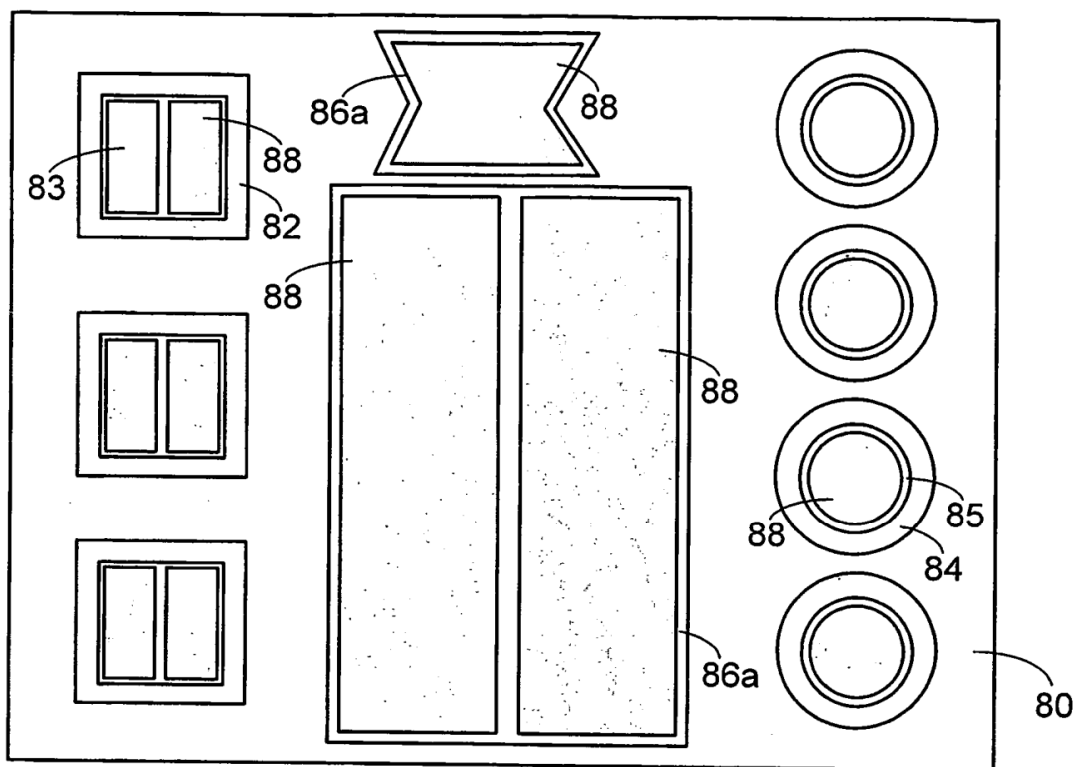


FIG. 2C

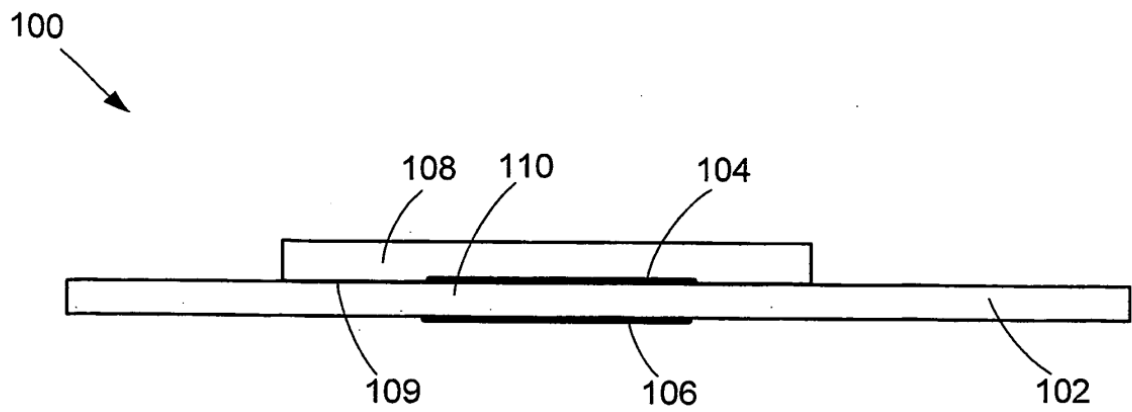


FIG. 3A

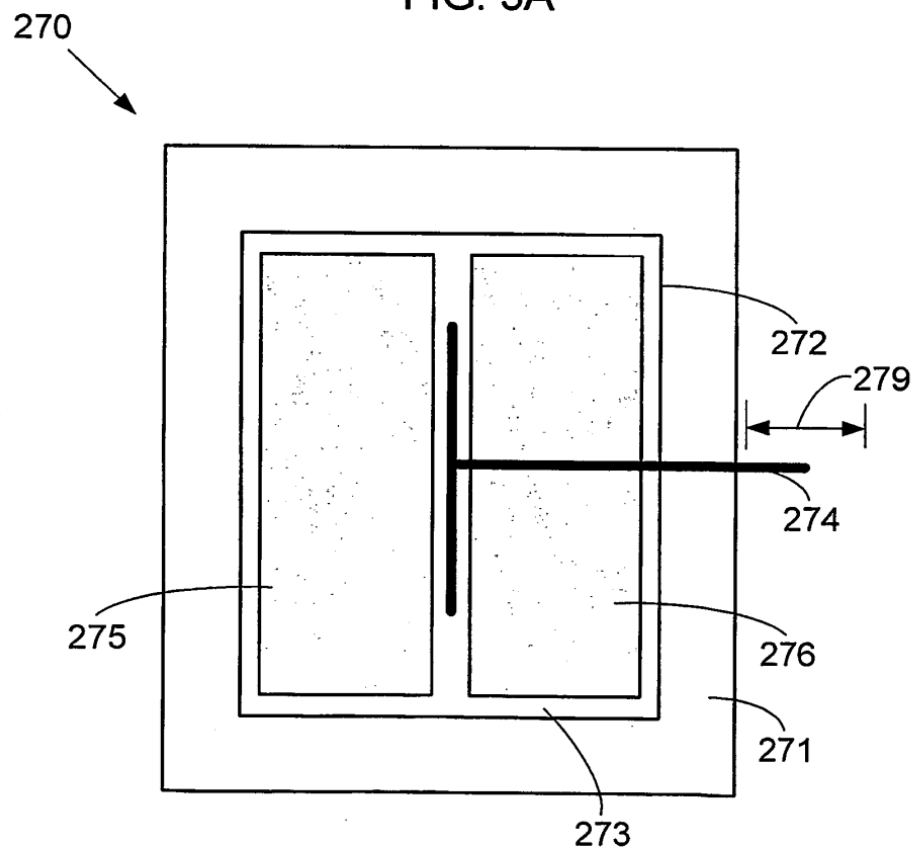


FIG. 3B

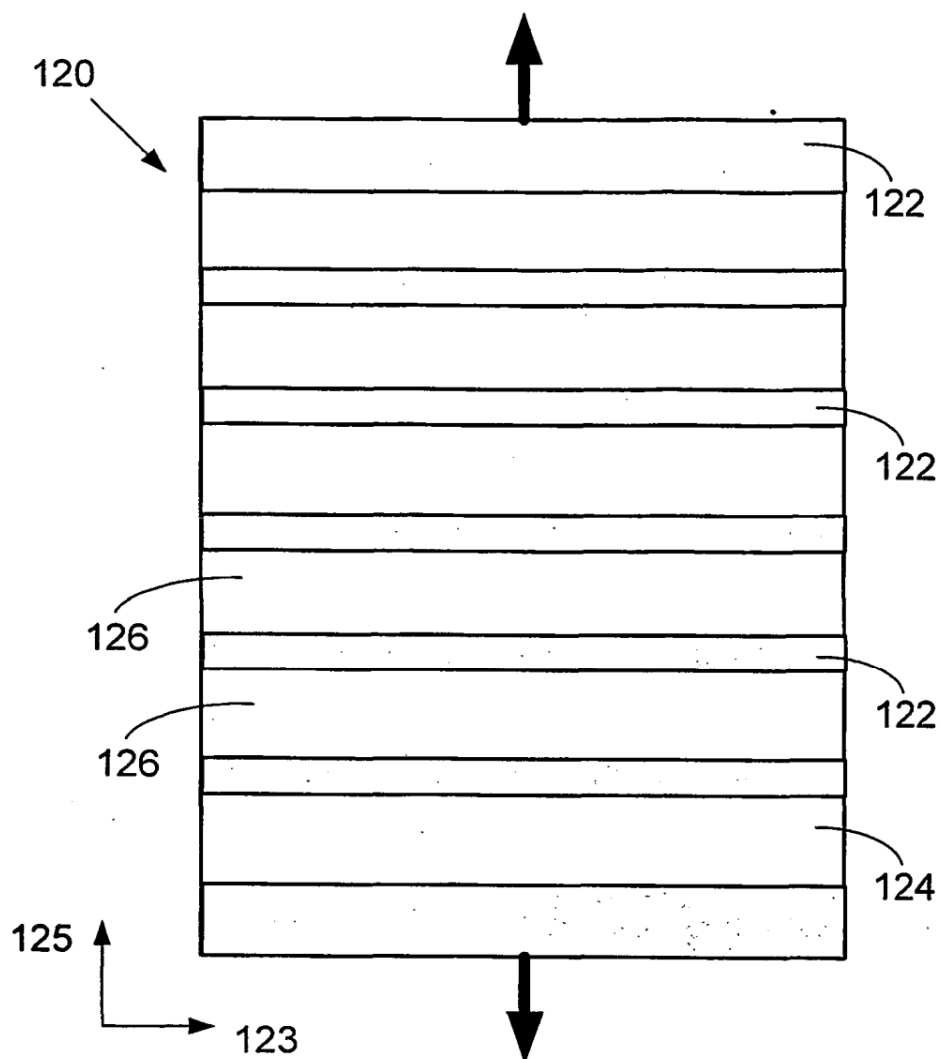


FIG. 3C

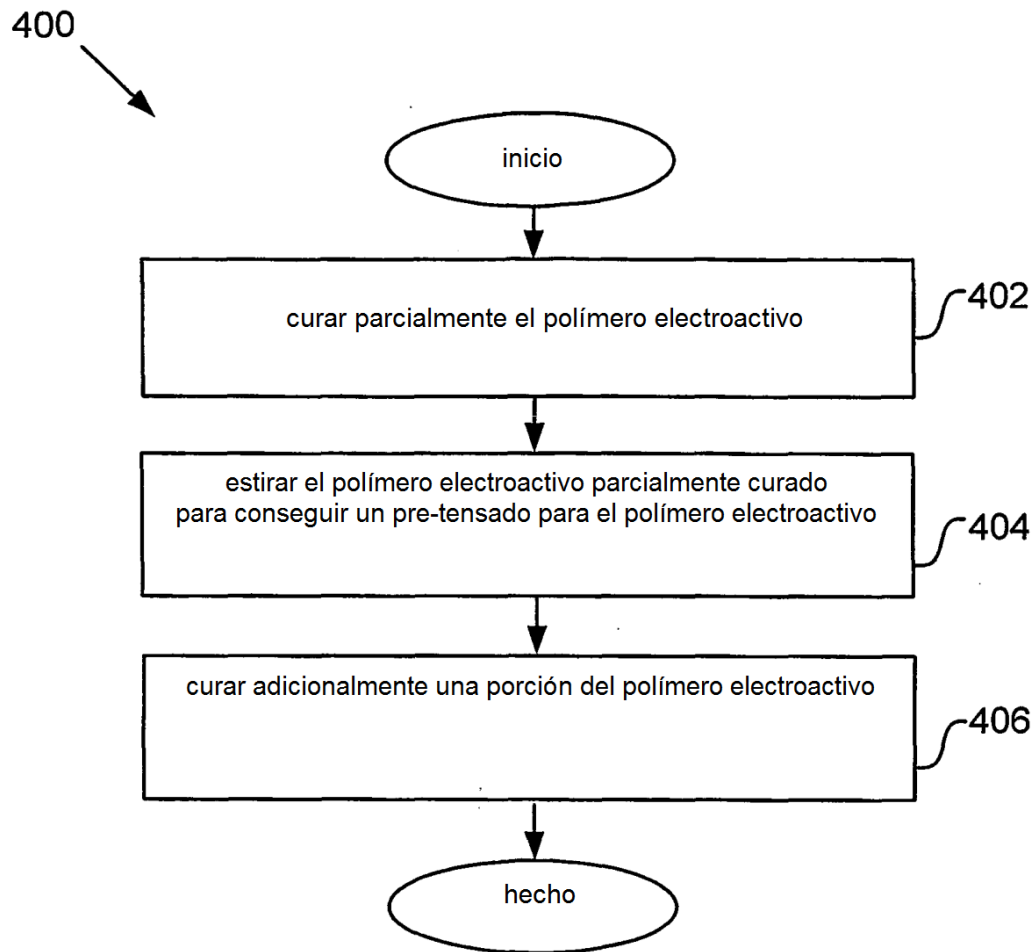


FIG. 4

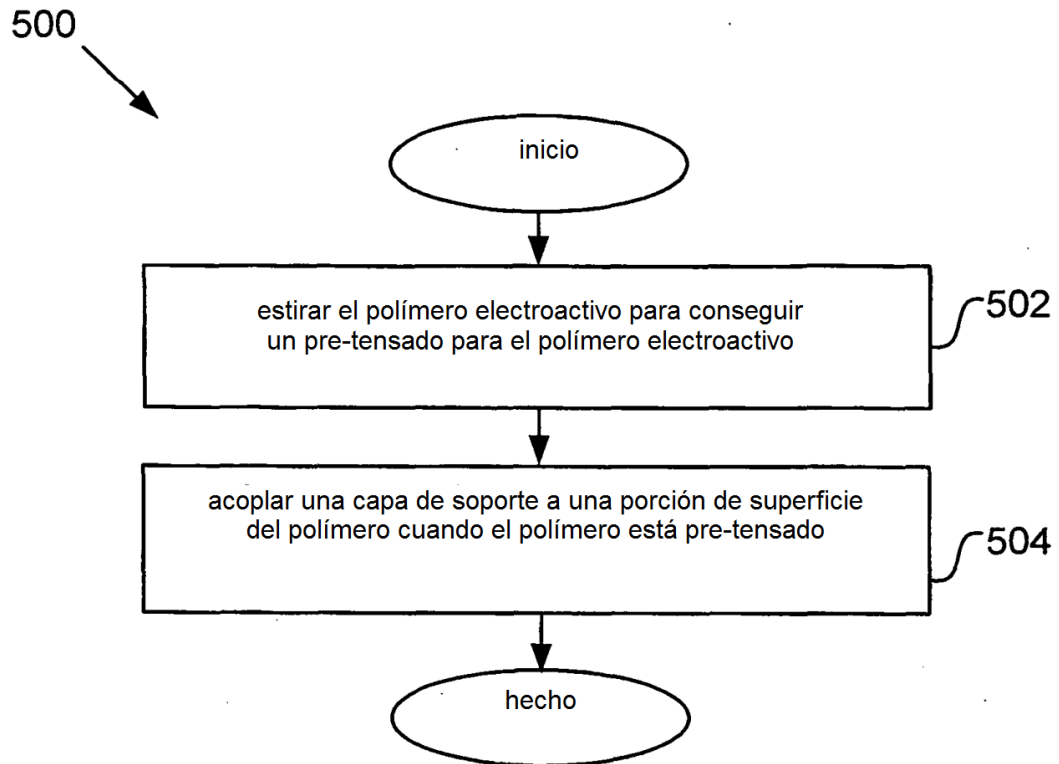


FIG. 5

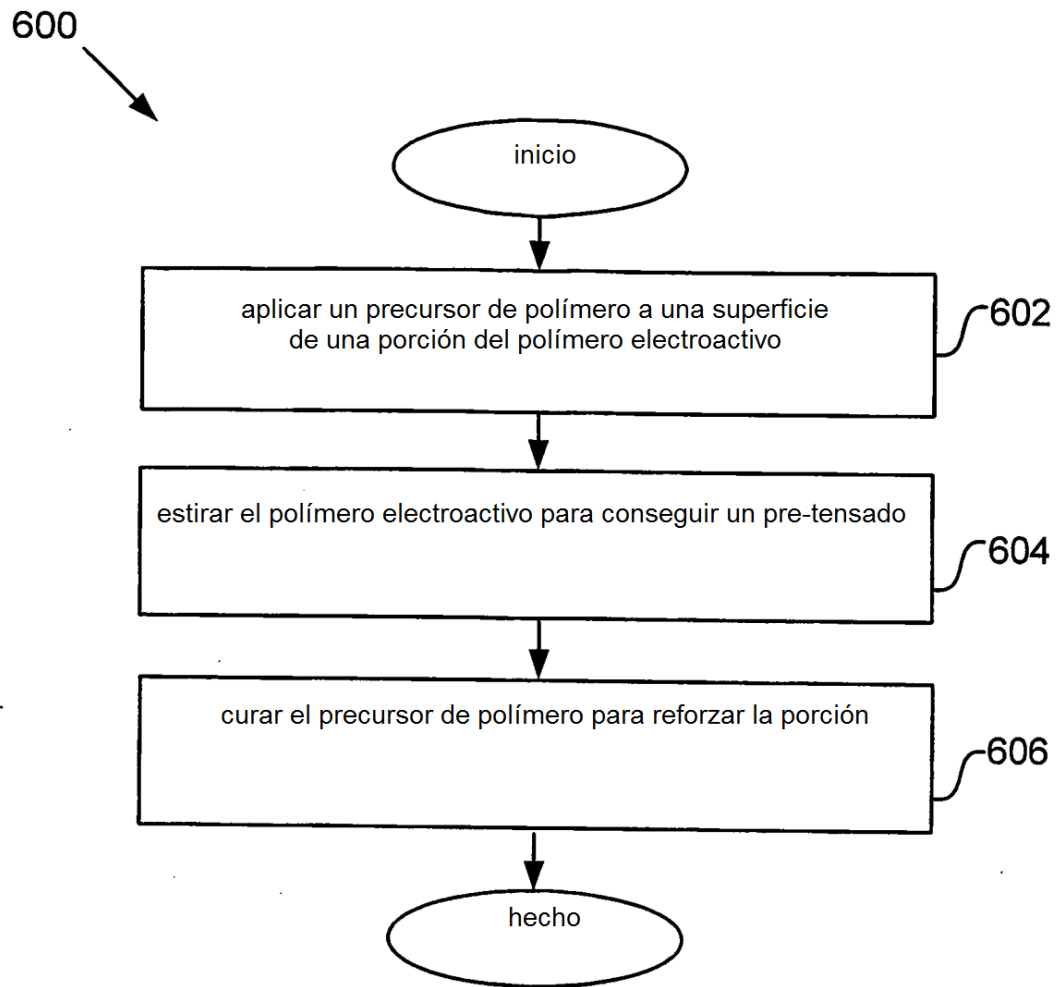


FIG. 6

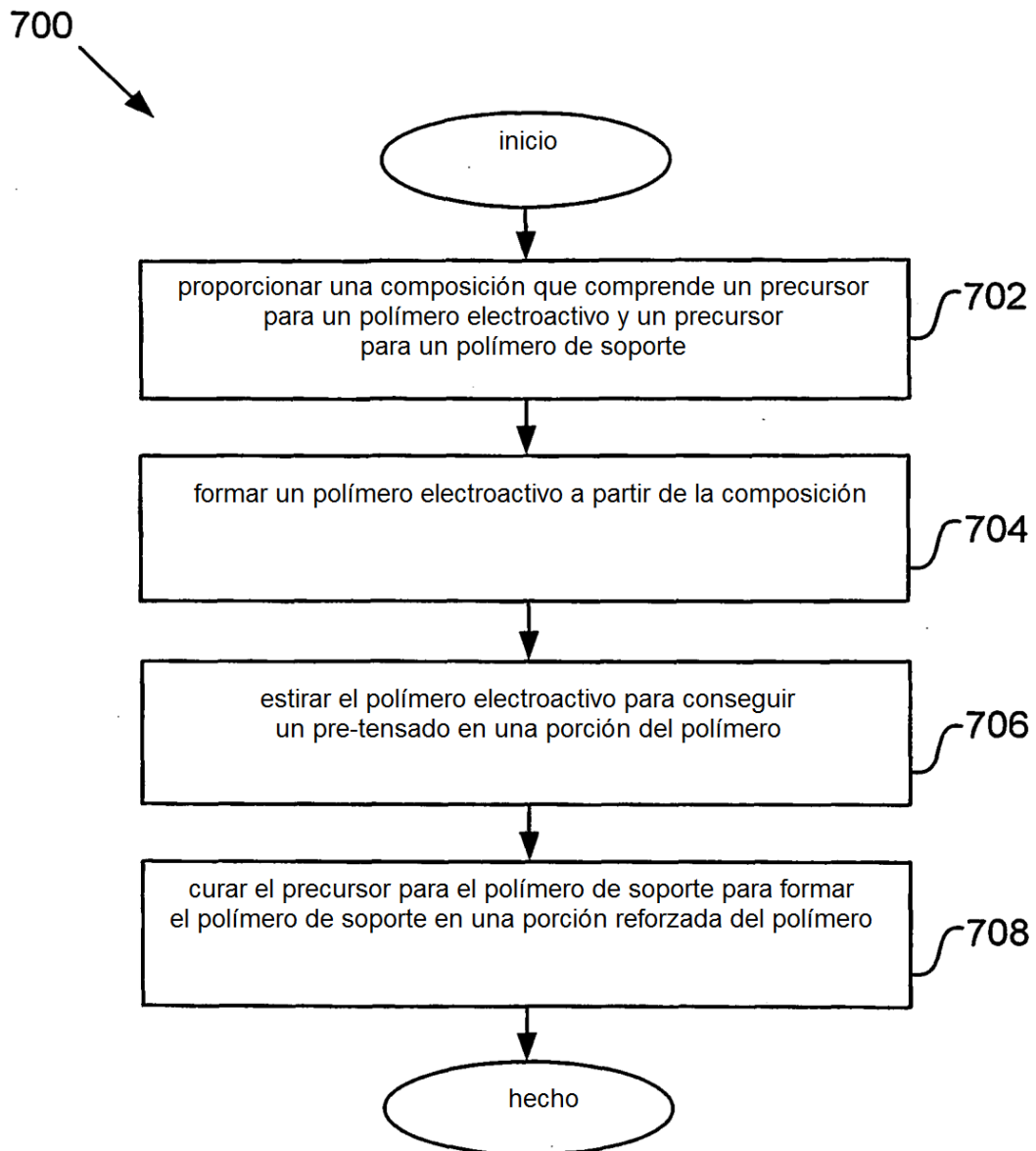


FIG. 7