

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 398 525**

51 Int. Cl.:

H01L 41/08 (2006.01)

H04R 17/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.09.2004** **E 04821582 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.12.2012** **EP 1665880**

54 Título: **Transductores de polímero electroactivo para la deformación de superficies**

30 Prioridad:

03.09.2003 US 500148 P

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

19.03.2013

73 Titular/es:

**SRI INTERNATIONAL (100.0%)
333 RAVENSWOOD AVENUE
MENLO PARK, CA 94025, US**

72 Inventor/es:

**PELRINE, RONALD, E.;
KORNBLUH, ROY, D. y
PRAHLAD, HARSHA**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 398 525 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Transductores de polímero electroactivo para la deformación de superficies

Antecedentes de la invención

La presente invención se refiere en general a polímeros electroactivos que realizan la conversión entre energía eléctrica y energía mecánica. Más en particular, la presente invención se refiere a polímeros electroactivos y sus capacidades y aplicaciones relacionadas con la deformación de superficies, la texturización de superficies y el control de la geometría de superficies.

En muchas aplicaciones, es deseable realizar la conversión entre la energía eléctrica y la energía mecánica. Tecnologías comunes que convierten la energía eléctrica en trabajo mecánico incluyen los motores y cerámicas piezoeléctricas, por ejemplo. La mayor parte de las tecnologías convencionales de conversión eléctrica a mecánica proporcionan capacidades de salida mecánica limitadas. Los motores proporcionan una salida rotativa continua - y en general requieren acoplamientos adicionales y voluminosos para proporcionar una salida discontinua o un movimiento de baja frecuencia. Las cerámicas piezoeléctricas se limitan típicamente a tensiones en el plano entre los electrodos rígidos por debajo de aproximadamente el 1,6 por ciento y no son adecuadas para aplicaciones que requieren mayores tensiones o deformaciones fuera del plano.

Nuevos polímeros de alto rendimiento, capaces de convertir la energía eléctrica en energía mecánica, y viceversa, se encuentran ahora disponibles para una amplia gama de aplicaciones de conversión de energía. Una clase de estos polímeros, los elastómeros electroactivos (también denominados elastómeros dieléctricos, electroelastómeros, o EPAM (Músculo Artificial de Polímero Electroactivo)), están ganando mayor atención. Los elastómeros electroactivos pueden exhibir una alta densidad de energía, de esfuerzos y eficiencia de acoplamiento electromecánico. Hasta la fecha, los transductores y dispositivos de polímero electroactivo se han dirigido a las tensiones en el plano para la conversión entre energía eléctrica y mecánica.

El documento de HEYDT RICHARD ET AL: "Rendimiento acústico de un altavoz de película de polímero electrostrictivo", REVISTA DE LA SOCIEDAD ACÚSTICA DE AMÉRICA, INSTITUTO AMERICANO DE FÍSICA PARA LA SOCIEDAD ACÚSTICA DE AMÉRICA, NUEVA YORK, NY, EE.UU., vol. 107, número 2, 1 de febrero de 2000 (01/02/2000), páginas 833 - 839, XP012001506, ISSN: 0.001 - 4.966, DOI: 10. 1121/1.428266, muestra un altavoz de película de polímero electrostrictivo (EPF) que genera sonido por medio de una película delgada de polímero. En la parte superior de la película y por debajo de la película hay electrodos metálicos. Con la aplicación de un voltaje se produce una excursión lateral, la película se hace más larga o más corta en una dirección paralela al plano definido por los electrodos.

Muchas aplicaciones exigen un dispositivo escalable de peso ligero, que realice la conversión entre energía eléctrica y mecánica en direcciones fuera del plano.

Sumario de la invención

La presente invención proporciona transductores de polímero electroactivo que producen deformaciones fuera del plano. Los transductores forman un conjunto de características de superficie basadas en la deformación de un polímero electroactivo. El conjunto de características de superficie puede incluir características realizadas de superficie del polímero y / o características deprimidas de superficie de los electrodos. El accionamiento de una zona activa puede producir la deformación del polímero que crea una o más características de superficie. En una realización, una capa pasiva se conecta operativamente a un polímero y aumenta las deformaciones fuera del plano. La capa pasiva puede comprender un material más grueso y más suave para amplificar los cambios de grosor y aumentar la visibilidad de la característica de superficie.

En un aspecto, la presente invención se refiere a un transductor de polímero electroactivo de acuerdo con la reivindicación 1.

En otro aspecto, la presente invención se refiere a un procedimiento para accionar un transductor de polímero electroactivo de acuerdo con la reivindicación 18.

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

Breve descripción de los dibujos

Las figuras 1A y 1B ilustran una vista superior en perspectiva de un transductor antes y después de la aplicación de un voltaje de acuerdo con una realización de la presente invención.

La figura 1C ilustra una vista lateral del transductor que incluye una región de la superficie antes del accionamiento, de acuerdo con una realización de la presente invención.

La figura 1D ilustra una vista lateral del transductor que incluye la región de la superficie después del accionamiento, de acuerdo con una realización de la presente invención.

La figura 1E ilustra un transductor que comprende una capa rígida, de acuerdo con una realización de la presente invención.

- 5 La figura 1F ilustra un transductor monolítico que comprende una pluralidad de zonas activas, de acuerdo con una realización de la presente invención.

La figura 1G ilustra un transductor de polímero electroactivo antes de la deformación, de acuerdo con una realización específica de la presente invención.

La figura 1H ilustra el transductor de la figura 1G después de la deformación.

- 10 La figura 2A ilustra un transductor que incluye una capa pasiva que aumenta la deformación fuera de plano, de acuerdo con una realización de la presente invención.

La figura 2B ilustra el transductor de la figura 2A en un estado accionado.

La figura 2C ilustra un transductor que comprende un polímero electroactivo entre dos capas pasivas, de acuerdo con una realización específica de la presente invención.

- 15 La figura 3A muestra una vista superior en alzado de electrodos comunes de cruce para un transductor, de acuerdo con una realización específica de la presente invención.

Las figuras 3B - 3C muestran fotos superiores en alzado de un transductor que incluyen una capa pasiva, de acuerdo con otra realización específica de la presente invención.

- 20 La figura 3D ilustra una vista superior en alzado de un transductor, de acuerdo con una realización específica de la presente invención.

La figura 3E ilustra una vista superior en alzado del transductor de la figura 3D con el accionamiento de una letra.

La figura 3F ilustra una vista lateral de electrodos con características de superficie de rejilla de un transductor, de acuerdo con otra realización específica de la presente invención.

- 25 La figura 4 ilustra un flujo de proceso para usar un transductor de polímero electroactivo, de acuerdo con una realización de la presente invención.

La figura 5A ilustra un procedimiento para mover dos objetos relativamente entre sí utilizando la deformación escalonada de múltiples zonas activas, de acuerdo con una realización específica.

La figura 5B ilustra transductores de polímero electroactivo de deformación de superficies montados en una superficie de un ala y de una alerón, de acuerdo con una realización específica de la presente invención.

- 30 **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 que se acompañan. En la descripción que sigue, se establecen numerosos detalles específicos con el fin de proporcionar una comprensión completa de la presente invención. Sin embargo, será evidente a un experto en la técnica que la presente invención puede ser practicada sin algunos o ninguno de estos detalles específicos. En otros casos, no se han descrito en detalle pasos de proceso y / o estructuras bien conocidos con el fin de no oscurecer innecesariamente la presente invención.

- 35

1. Estructura general de polímeros electroactivos

La transformación entre energía eléctrica y mecánica en transductores y dispositivos de la presente invención se basa en la elasticidad de un polímero electroactivo y la conversión de energía de una o más porciones de un polímero electroactivo (EAP).

- 40

Para ayudar a ilustrar el funcionamiento de un polímero electroactivo en la conversión de energía eléctrica en energía mecánica, la figura 1A ilustra una vista superior en perspectiva de una porción 10 de 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 técnica reconocerán que la presente invención incluye procedimientos para realizar las acciones tal como se describe a continuación.

- 45

La porción 10 de transductor comprende un polímero electroactivo 12 para la conversión entre energía eléctrica y energía mecánica. En una realización, un polímero electroactivo se refiere a un polímero que actúa como un aislante dieléctrico entre dos electrodos y se puede deformar con la aplicación de una diferencia de voltaje entre los dos electrodos. Los electrodos superior e inferior 14 y 16 se unen al polímero electroactivo 12 en sus superficies superior

e inferior, respectivamente, para proporcionar una diferencia de voltaje a través de una porción del polímero 12. El polímero 12 se deforma cuando se produce un cambio en el campo eléctrico proporcionado por los electrodos superior e inferior 14 y 16. La deformación de la porción 10 de transductor en respuesta a un cambio en el campo eléctrico proporcionado por los electrodos 14 y 16 es denominada como accionamiento.

La figura 1B ilustra una vista superior en perspectiva de la porción 10 de transductor, que incluye la deformación en respuesta a un cambio en el campo eléctrico. En general, la deformación se refiere a cualquier desplazamiento, expansión, contracción, protuberancia, torsión, deformación 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 voltaje aplicada a o por los electrodos 14 y 16 produce una presión mecánica dentro del polímero 12. En este caso, las cargas eléctricas de signo contrario producidas por los electrodos 14 y 16 se atraen unas a las otras y proporcionan una fuerza de compresión entre los electrodos 14 y 16 y una fuerza de expansión en el polímero 12 en direcciones planas 18 y 20, haciendo 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 del voltaje 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, es decir, tiene un volumen sustancialmente constante bajo tensión. En un polímero incompresible 12, el polímero 12 disminuye de grosor como resultado de la expansión en las direcciones planas 18 y 20. Se debe hacer notar que la presente invención no está limitada a los polímeros incompresibles y la deformación del polímero 12 puede no conformarse a una relación simple de este tipo.

La aplicación de una diferencia de voltaje relativamente grande entre los electrodos 14 y 16 en la porción 10 de transductor que se muestra en la figura 1A hace de esta manera que la porción 10 de transductor cambie a una forma de área más grande, más delgada, como se muestra en la figura 1B. De esta manera, la porción 10 de transductor convierte la energía eléctrica en energía mecánica.

Como se muestra en las figuras 1A y 1B, los electrodos 14 y 16 cubren toda la porción del polímero 12, tal como se muestra. Más comúnmente, los electrodos 14 y 16 cubren una porción limitada del polímero 12 con relación a la superficie total del polímero. Para la presente invención, esto se hace para utilizar la incompresibilidad del polímero y producir características de superficie y deformaciones en una o más de las superficies del polímero. Esto también se puede hacer para prevenir la ruptura eléctrica alrededor del borde del polímero 12. Los electrodos también pueden estar modelados con formas especiales para lograr deformaciones de superficie personalizadas, como se describirá en detalle más adelante.

De la manera que se usa el término en la presente memoria descriptiva, una zona activa se refiere a una porción de un transductor que comprende material de polímero 12 y al menos dos electrodos. Cuando la zona activa se utiliza para convertir la energía eléctrica en energía mecánica, la zona activa incluye una porción de polímero 12 que tiene suficiente fuerza electrostática para permitir la deformación de la porción. Cuando la zona activa se utiliza para convertir la energía mecánica en energía eléctrica, la zona activa incluye una porción de polímero 12 que tiene una deformación suficiente para permitir un cambio en la energía electrostática. Como se describirá a continuación, un polímero de la presente invención puede tener múltiples zonas activas.

La figura 1C ilustra una vista lateral ampliada de un transductor 10 fuera de la porción que se muestra en la figura 1A e incluye una región 21 de la superficie antes del accionamiento de acuerdo con una realización de la presente invención. De la manera que el término se usa en la presente memoria descriptiva, una región 21 de la superficie en general se refiere a una porción de superficie de interés para un transductor de polímero electroactivo que incluye al menos una porción de superficie del polímero cubierta por un electrodo (o por una porción de electrodo) y la superficie de polímero fuera del electrodo (o porción) que se ve afectada por la deformación de una zona activa, que incluye el electrodo (o porción). Para el polímero plano 12 y el electrodo rectangular 14 de la figura 1C, la región 21 de la superficie comprende el área de superficie del polímero 12 cubierta por el electrodo 14 y las porciones de superficie vecinas 23 del polímero 12 que rodean perimetralmente al electrodo 14 sobre la superficie superior del polímero 12. En una realización, la región 21 de la superficie comprende todas las porciones de superficie de un transductor de polímero electroactivo afectado por las fuerzas elásticas y electrostáticas que resultan del accionamiento de una zona activa del polímero 12, que incluye las porciones de superficie del material del polímero y del electrodo de una zona activa impulsada y el polímero y las porciones de superficie del material del polímero y del electrodo próximas a la zona activa impulsada.

Antes del accionamiento, el transductor 10 puede ser descrito por un grosor no deformado 22 sobre la región 21 de la superficie. El grosor no deformado 22 se refiere al grosor aproximado del polímero 12 antes de la deformación para producir una característica de superficie. El grosor 22 puede ser medido desde una superficie del polímero 12 a la otra superficie del polímero 12 sobre la región 21 de la superficie. Típicamente, el polímero 12 es relativamente plano en ambas de sus superficies superior e inferior y tiene un grosor relativamente constante 22 a través de la superficie del polímero y de la región 21 de la superficie. Los electrodos 14 y 16 a menudo incluyen una profundidad mínima o insignificante y añaden poco al grosor 22 y en estos casos, el grosor no deformado 22 puede incluir los electrodos 14 y 16. El grosor no deformado 22, por lo tanto, se corresponde al grosor del polímero en sección transversal. En los polímeros disponibles comercialmente, el grosor no deformado 22 puede corresponder aproximadamente al grosor del polímero tal como es fabricado y recibido. En una realización, el polímero 12 es preestirado,

como se describirá en detalle más adelante, y el grosor 22 se refiere al grosor no deformado en la región 21 de la superficie después del preestirado. Se entiende que el grosor del polímero 12 y los electrodos 14 y 16 entre las superficies superior e inferior sobre la región 21 de la superficie puede variar ligeramente, por ejemplo 1 - 20 por ciento en algunos casos. Aquí, el grosor no deformado 22 se puede referir a un promedio o representación aritmética de grosor variable a través de la región 21 de la superficie. Se entiende que algunos polímeros pueden no incluir grosores perfectamente consistentes y que un grosor no deformado de una región 21 de la superficie puede describir mejor el grosor de la región 21 de la superficie antes del accionamiento. En una realización, el transductor 10 es sustancialmente plano antes del accionamiento. En otra realización, el transductor 10 está configurado en una superficie curvada y con un grosor en general consistente para el polímero en la superficie curvada. Aunque la deformación como se describe en la presente memoria descriptiva se describirá principalmente por medio de un accionamiento usando los electrodos 14 y 16, se debe entender que las funciones de generación y de detección como se describen a continuación también pueden dar lugar a deformaciones y características de superficie.

La figura 1D ilustra una vista lateral del transductor 10 incluyendo la región 21 de la superficie, después de la deformación de una zona activa, de acuerdo con una realización de la presente invención. El material del polímero 12 fuera de una zona activa típicamente resiste la deformación de la zona activa. Aunque la cantidad de resistencia puede variar en función de cómo el polímero es mantenido o configurado, por ejemplo, por un bastidor, el material del polímero 12 fuera de una zona activa actúa comúnmente como una fuerza elástica, en base a la elasticidad del material. Puesto que el material del polímero 12 es conformable, el material se puede deformar y se bombea hacia fuera del plano en la dirección del grosor (ortogonal al plano) como respuesta a la deformación o al accionamiento de una zona activa.

El polímero 12 y uno o ambos electrodos 14 y 16 del transductor 10 están configurados para producir características de superficie 17a - b del polímero, que se forman en la superficie superior del polímero 12 por encima del grosor no deformado 22 después de la deformación de la zona activa. Las características de superficie 17 del polímero se refieren a porciones de un polímero electroactivo realizadas por encima del grosor no deformado 22 como resultado de la deformación, de las fuerzas electrostáticas y / o de la respuesta elástica en el polímero. En este caso, las características de superficie 17a - b realizadas se crean alrededor de los bordes de una zona activa que corresponde a la forma de la superficie del electrodo 14 (y, en menor medida, del electrodo 16 en la superficie opuesta). Las características de superficie 17a - b pueden ser protuberancias distintivas como se muestra en la Figura 1D, o pueden haber más incrementos distribuidos en el grosor fuera de la región 14 del electrodo, dependiendo de la tensión y de la elasticidad de las películas. De manera similar, las características de superficie 17c - d del polímero inferior se forman en el lado inferior del polímero 12 alrededor de los bordes de una zona activa que corresponde a la forma de la superficie del electrodo 16 (y, en menor medida, del electrodo 14). Las características de superficie 17 del polímero se producen por lo general por el hecho de que mientras el polímero accionado 12 incrementa su área de superficie sobre una zona activa próxima a los electrodos 14 y 16, el polímero (dependiendo del diseño) a menudo disminuye de área sobre las regiones inactivas del polímero. Las características de superficie 17 sobresalientes del polímero incluyen entonces material de polímero desplazado, típicamente situado en los bordes de un electrodo de una zona activa. En este caso, la región 21 de superficie de la superficie superior del transductor 10 incluye entonces el área plana del electrodo 14 y las características de superficie 17a - b del polímero.

Además de las características de superficie 17 realizadas del polímero, el polímero 12 y uno o ambos electrodos 14 y 16 del transductor 10 están configurados para producir una porción rebajada 27 del electrodo que se encuentra por debajo del grosor no deformado 22 después de la deformación debido al accionamiento. En este caso, todos los electrodos 14 en la superficie superior son presionados por debajo del grosor no deformado 22 después de la deformación. La porción deprimida 27 del electrodo también actúa como una característica de superficie 19a del electrodo creada por el accionamiento y la deformación del polímero 12 y el adelgazamiento de polímero 12 alrededor de los electrodos 14 y 16. Por ejemplo, si el electrodo 14 está conformado como un círculo, entonces la característica de superficie 19a del electrodo será un círculo deprimido cuando se ve desde la parte superior, mientras que la característica de superficie 17 del polímero comprenderá una 'O' o anillo realizado sobre el círculo deprimido. Como se describirá en mayor detalle a continuación, los electrodos 14 y 16 pueden ser modelados o diseñados para producir características 17 de superficie personalizadas del polímero y características de superficie 19 del electrodo, tales como letras (por ejemplo, a, n, y, l, e, t, r) o patrones y formas más complejos.

El electrodo inferior 16 se expande de manera similar en el plano y adelgaza para crear una característica de superficie 19b del electrodo en el lado inferior del transductor 10. La característica de superficie 19b del electrodo se encuentra por debajo del grosor no deformado 22 de la porción inferior del transductor 10. La resistencia elástica en el polímero 12 a la expansión del polímero 12 en una zona activa entre los electrodos 14 y 16 también crea las características de superficie 17c - d del polímero en el lado inferior del transductor 10.

Aunque las características de superficie 17 fuera de plano se muestran relativamente locales a la zona activa, la posición fuera de plano no está siempre localizada como se muestra. En algunos casos, si el polímero es preestirado, entonces las características de superficie 17a - b se estiran o se suavizan sobre el material del polímero inactivo. La magnitud de la deformación fuera del plano puede variar con la geometría exacta, el preestirado, etc. Sin embargo, con independencia de si están descritas como una protuberancia local o distribuida, las regiones inactivas en general se hacen más gruesas en sección transversal.

En general, el transductor 10 (polímero 12 y electrodos) continúa deformándose hasta que las fuerzas mecánicas equilibran las fuerzas electrostáticas que impulsan la deformación. Más específicamente, el polímero 12 entre los electrodos 14 y 16 y en la zona activa continúa expandiéndose y adelgazando, mientras las características de superficie 17 del polímero continúan elevándose desde las superficies del polímero 12 y las características de superficie 19 del electrodo continúan formándose por el adelgazamiento del polímero 12, hasta que las fuerzas mecánicas equilibran las fuerzas electrostáticas que impulsan la deformación. Las fuerzas mecánicas incluyen fuerzas de restauración elástica del material del polímero 12 dentro y fuera de la zona activa, la conformabilidad de los electrodos 14 y 16, y cualquier resistencia externa proporcionada por un dispositivo y / o carga acoplada a la porción 10 de transductor, etc. La deformación de la porción 10 de transductor como resultado de la tensión aplicada también puede depender de un número de otros factores, tales como la constante dieléctrica del polímero 12 y el tamaño del polímero 12.

La figura 1E ilustra un transductor 60 que comprende una capa rígida 62 de acuerdo con una realización de la presente invención. El transductor 60 comprende una capa rígida 62, un polímero electroactivo 64, un electrodo de superficie superior 66, un electrodo de superficie inferior 68, características de superficie 63 del polímero y características de superficie 65 de los electrodos.

La capa rígida 62 se une a una superficie inferior del polímero 64 y evita que la superficie inferior del polímero 64 se deforme. Como resultado, sólo la superficie superior de polímero 64 incluye características de superficie 63 del polímero y característica de superficie 65 del electrodo.

La capa rígida 62 puede comprender una estructura rígida tal como, por ejemplo, un metal rígido o placa no metálica. En una realización, la capa rígida 62 comprende un material de electrodo no conformable tal como un metal adecuadamente rígido, que a continuación acciona doblemente como un electrodo para la superficie a la que se une y una capa rígida 62. La capa rígida 62 del electrodo puede ser cualquier tipo de material conductor. Por ejemplo, la capa rígida 62 del electrodo puede ser de un metal, tal como cobre, aluminio, oro, plata, etc. En otra realización específica, la capa rígida 62 del electrodo puede comprender un material compuesto conductor basado en cerámica.

El polímero 64 puede estar unido a la capa rígida 62 utilizando un agente de adhesión. La adhesión parcial entre el polímero 64 y la estructura, es decir, el área del agente de adhesión es menor que la zona de contacto entre el polímero 64 y la capa rígida 62, y permite personalizar las deformaciones del polímero 64. Por ejemplo, para un polímero rectangular 64 y una capa rígida 62, el polímero 64 puede estar adherido a la capa rígida 62 a lo largo de dos bordes del rectángulo. En este caso, el polímero 64 se expande en relación a la capa rígida 62 en la dirección de no adherencia. Durante la expansión del polímero 64, un lubricante puede estar dispuesto entre la capa rígida 62 y el polímero 64 para reducir la fricción entre las dos superficies. Una capa pasiva opcional también puede estar dispuesta entre la capa rígida 62 y el polímero 64. La capa pasiva se selecciona de manera que se deforma cuando el polímero 64 se deforma. Esta realización específica permite que el polímero 64 se expanda más, en comparación con lo que lo hace cuando está directamente adherido a la capa rígida 62.

En general, los polímeros que son adecuados para uso con los transductores de la presente invención incluyen cualquier polímero o caucho (o combinación de los mismos) sustancialmente aislante que se deforma en respuesta a una fuerza electrostática o cuya deformación produce un cambio en el campo eléctrico. Preferiblemente, la deformación del polímero es reversible en un amplio rango de tensiones. Muchos polímeros elastoméricos pueden servir a este propósito. En el diseño o la elección de un polímero apropiado, se debe considerar el material óptimo, y las propiedades físicas y químicas. Tales propiedades pueden ser realizadas a medida por medio de selección juiciosa de monómeros (incluyendo cualesquiera cadenas laterales), aditivos, grado de reticulación, cristalinidad, peso molecular, etc.

El polímero 12 puede asumir muchos diferentes estados físicos y químicos. Por ejemplo, el polímero se puede utilizar con o sin aditivos tales como plastificantes. Y pueden ser láminas poliméricas monolíticas o combinaciones de polímeros tales como laminados o mosaicos. Además, los polímeros pueden existir en una sola fase o en múltiples fases. Un ejemplo de un material multifásico es una matriz polimérica que tiene partículas de relleno inorgánicas mezcladas con la misma.

Con independencia de la química final y del estado físico del polímero transductor, el mismo incluirá una matriz de polímero. Esta matriz puede ser homopolímera o copolímera, reticulada o no reticulada, lineal o ramificada, etc. Clases ejemplares de polímeros adecuados para su uso con los 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 fracciones acrílicas, y otros similares. Obviamente, las combinaciones de algunos de estos materiales pueden ser utilizadas como la matriz de polímeros en los transductores de la presente invención. Los copolímeros y las mezclas se encuentran dentro de la clase de polímeros adecuados. Un ejemplo es una mezcla de un elastómero de silicona y un elastómero acrílico.

Un polímero adecuado disponible comercialmente es el NuSil CF19-2186 tal como es proporcionado por la compañía NuSil Technology de Carpinteria, CA. Un ejemplo de un elastómero de silicona adecuado es el Dow Corning HS3 tal como es proporcionado por Dow Corning de Wilmington, Delaware. Un ejemplo de una fluorosilicona adecuada

es la Dow Corning 730 tal como es proporcionada por Dow Corning de Wilmington, Delaware. Ejemplos de acrílicos adecuados incluyen cualquier acrílico en la serie acrílica 4900 VHB tal como es proporcionada por 3M Corp. de St. Paul, MN.

Los voltajes de accionamiento adecuados para polímeros electroactivos, o porciones de los mismos, pueden variar en función de las propiedades del material del polímero electroactivo, tales como la constante dieléctrica, así como las dimensiones del polímero, tales como el grosor de la película de polímero. Por ejemplo, los campos eléctricos de accionamiento usados para accionar el polímero 12 en la Figura 1A pueden variar en magnitud desde aproximadamente 0 V/m a aproximadamente 440 MV/m. Los campos eléctricos de accionamiento en este rango pueden producir una presión en el intervalo de aproximadamente 0 Pa a aproximadamente 10 MPa. Con el fin de que el transductor pueda producir fuerzas mayores, el grosor de la capa del polímero puede ser aumentado. Los voltajes de accionamiento para un polímero particular se pueden reducir, por ejemplo, incrementando la constante dieléctrica, disminuyendo el grosor del polímero, y disminuyendo el módulo de elasticidad.

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

En una realización, el polímero electroactivo 12 está preestirado. El rendimiento de muchos polímeros se incrementa notablemente cuando los polímeros son preestirados en área. Por ejemplo, un incremento de 10 veces a 25 veces en la zona mejora significativamente el rendimiento de muchos elastómeros electroactivos. El preestirado de un polímero puede ser descrito, en una o más direcciones, como el cambio en la dimensión en una dirección después del preestirado con respecto a la dimensión en esa dirección antes del preestirado. El preestirado puede comprender la deformación elástica del polímero 12 y se puede realizar, por ejemplo, estirando el polímero en tensión y sujetando uno o más de los bordes mientras se estira. El preestirado se puede imponer en los límites utilizando un bastidor rígido o también puede ser implementado localmente en una porción del polímero. En otra realización, las porciones del polímero son curadas o rigidizadas de otra manera para aumentar su rigidez y mantener el preestirado en un polímero. Esto permite que se mantenga el preestirado sin un bastidor externo. En muchos polímeros, el preestirado mejora la conversión entre la energía eléctrica y la mecánica. La respuesta mecánica mejorada permite un mayor trabajo mecánico para un polímero electroactivo, por ejemplo, grandes deformaciones y presiones de accionamiento. En una realización, el preestirado mejora la resistencia dieléctrica del polímero. En otra realización, el preestirado es elástico. Después del accionamiento, un polímero preestirado elásticamente podría, en principio, soltarse y volver a su estado original.

En una realización, el preestirado es aplicado de manera uniforme sobre una porción del polímero 12 para producir un polímero preestirado isotrópico. A título de ejemplo, un polímero elastomérico acrílico puede ser estirado del 200 al 400 por ciento en ambas direcciones planas. En otra realización, el preestirado se aplica de manera desigual en direcciones diferentes a una porción del polímero 12 para producir un polímero preestirado anisotrópico. En este caso, el polímero 12 se puede deformar en mayor medida en una dirección que en otra cuando se acciona. Aunque no se desea estar limitado por la teoría, se cree que preestirar un polímero en una dirección puede aumentar la rigidez del polímero en la dirección de preestirado. Correspondientemente, el polímero es relativamente más rígido en la dirección del preestirado alto y más conformable en la dirección del preestirado bajo y, después del accionamiento, se produce más deformación en la dirección del preestirado bajo. En una realización, la deformación en la dirección 108 de la porción 10 de transductor se puede mejorar aprovechando el gran preestirado en la dirección perpendicular 110. Por ejemplo, un polímero elastomérico acrílico usado como porción 10 de transductor se puede estirar un 10 por ciento en la dirección 108 y un 500 por ciento en la dirección perpendicular 110. La cantidad de preestirado de un polímero puede estar basada en el material del polímero y en el rendimiento deseado del polímero en una aplicación. Un preestirado adecuado para su uso con la presente invención se describe adicionalmente en la Solicitud de Patente norteamericana de propiedad común número 09/619.848 en tramitación junto con la presente.

Los bordes del polímero 12 pueden ser fijados a uno o más objetos. El polímero puede ser fijado a los uno o más objetos de acuerdo con cualquier procedimiento convencional conocido en la técnica tal como por medio de un adhesivo químico, por una capa o material de adhesivo, por fijación mecánica, etc. Los transductores y polímeros de la presente invención no están limitados a cualquier geometría o tipo de deformación en particular. Por ejemplo, el polímero y los electrodos se pueden formar con cualquier geometría o forma, incluyendo tubos y rollos, polímeros estirados unidos entre múltiples estructuras rígidas, polímeros estirados unidos por medio de un bastidor de cualquier geometría - incluyendo una geometría curvada o compleja, por medio de un bastidor que tiene una o más articulaciones, etc. La deformación de un transductor de acuerdo con la presente invención incluye la expansión y la compresión lineales en una o más direcciones, la flexión, la deformación axial cuando el polímero está enrollado, la deformación a través de un orificio provisto en un sustrato, etc. La deformación de un transductor puede ser afectada por como el polímero está limitado por un bastidor o estructura rígida unidos al polímero. En una realización, un material flexible que es más rígido al alargamiento que el polímero, está unido a un lado de un transductor e induce un doblado cuando el polímero es accionado.

2. Electroodos

Puesto que los polímeros electroactivos de la presente invención se pueden deformar con tensiones altas, los electrodos unidos a los polímeros también se deben poder deformar 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, siempre que sean capaces de suministrar un voltaje adecuado a, o recibir un voltaje adecuado de, un polímero electroactivo. El voltaje puede ser constante o variable en el tiempo. En una realización, los electrodos se adhieren a una superficie del polímero. Los electrodos que se adhieren al polímero pueden ser conformables y se conforman a la forma cambiante del polímero. Los electrodos pueden ser aplicados solamente a una porción de un polímero electroactivo y definir una zona activa de acuerdo con su geometría. Como se describirá a continuación, los electrodos también pueden ser diseñados para lograr una forma deseada para una característica de superficie creada por la deformación del polímero.

En una realización, los electrodos 14 y 16 son conformables y se conforman a la forma de un polímero electroactivo al que están unidos. Haciendo referencia de nuevo a las figuras 1A y 1B, la configuración del polímero 12 y de los electrodos 14 y 16 proporcionan una respuesta creciente del polímero 12 con la deformación. Más específicamente, cuando la porción 10 de transductor se deforma, la compresión del polímero 12 lleva las cargas de signo contrario de los electrodos 14 y 16 más juntas y el estiramiento del polímero 12 separa las cargas del mismo signo en cada electrodo. En una realización, uno de los electrodos 14 y 16 es la tierra.

Varios tipos de electrodos adecuados para su uso con la presente invención se describen en la Solicitud de Patente norteamericana de propiedad común, número 09/619.848. Los electrodos que se describen en la misma y que son adecuados para su uso con la presente invención incluyen electrodos estructurados que comprenden trazas metálicas y capas de distribución de carga, electrodos texturados, grasas conductoras tales como grasas de carbono o grasas de plata, suspensiones coloidales, materiales conductores de alta relación de aspecto tales como fibrillas de carbono y nanotubos de carbono, y mezclas de materiales iónicamente conductores.

La presente invención también puede emplear electrodos metálicos y semi-flexibles. En una realización, un electrodo rígido comprende un metal dispuesto en una capa gruesa que no es capaz de una deformación o estiramiento plano significativos. En otra realización, un electrodo semi-flexible comprende un metal dispuestos en hojas delgadas de tal manera que la capa de metal, tal como una lámina de aluminio, por ejemplo, es flexible fuera del plano, pero relativamente rígido en el plano. De esta manera, el polímero se puede deformar fuera del plano como se ha descrito más arriba, pero las deformaciones en el plano se limitan a la deformación elástica de la lámina de metal. Otros electrodos flexibles fuera de plano pero relativamente rígidos en el plano pueden comprender una lámina de mylar aluminizado. En otra realización, el metal está dispuesto en láminas gruesas de tal manera que la capa de metal sea rígida y limite la deformación del polímero en la superficie unida.

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

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

Los actuadores electrónicos están conectados típicamente a los electrodos. El voltaje suministrado a un polímero electroactivo dependerá de las características específicas de una aplicación. En una realización, un transductor de la presente invención es accionado eléctricamente mediante la modulación de un voltaje aplicado sobre un voltaje de polarización de CC. La modulación sobre un voltaje de polarización permite una sensibilidad y linealidad mejoradas del transductor al voltaje aplicado. Por ejemplo, un transductor que se utiliza en una aplicación de audio puede ser accionado por una señal hasta de 200 a 1000 voltios de pico a pico en la porción superior de un voltaje de polarización que varía de aproximadamente de 750 a 2000 voltios de CC.

De acuerdo con la presente invención, el término "monolítico" se utiliza en la presente memoria descriptiva para referirse a polímeros electroactivos, transductores y dispositivos que comprenden una pluralidad de zonas activas sobre un único polímero. La figura 1F ilustra un transductor monolítico 150 que comprende una pluralidad de zonas

activas de acuerdo con una realización de la presente invención. El transductor monolítico 150 realiza la conversión entre energía eléctrica y energía mecánica. El transductor monolítico 150 comprende un polímero electroactivo 151 que tiene dos zonas activas 152a y 152b.

La zona activa 152a tiene electrodos superior e inferior 154a y 154b que están unidos al polímero 151 sobre sus superficies superior e inferior 151c y 151d, respectivamente. Los electrodos 154a y 154b proporcionar una diferencia de voltaje a través de una porción 151a del polímero 151. La porción 151a se deforma 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 ortogonal al plano - con una diferencia de voltaje adecuada a través de una porción 151a. La porción 151a comprende el polímero 151 entre los electrodos 154a y 154b y cualesquiera otras porciones del polímero 151 que tienen suficiente tensión inducida por la fuerza electrostática para permitir la deformación y adelgazamiento después de la aplicación de los voltajes usando los electrodos 154a y 154b.

La zona activa 152b tiene electrodos superior e inferior 156a y 156b que están unidos al polímero 151 sobre sus superficies superior e inferior 151c y 151d, respectivamente. Los electrodos 156a y 156b proporcionan una diferencia de voltaje a través de una porción 151b del polímero 151. La porción 151b se deforma 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 ortogonal al plano - con una diferencia de voltaje adecuada a través de una porción 151a. La porción 151b comprende el polímero 151 entre los electrodos 156a y 156b y cualesquiera otras partes del polímero 151 que tienen suficiente tensión inducida por la fuerza electrostática para permitir la deformación con la aplicación de voltajes usando los electrodos 156a y 156b.

Las características de superficie del polímero pueden ser formadas sobre el perímetro de los electrodos superior e inferior 154a y 154b durante el accionamiento de cada zona activa 151a. Las características de superficie del polímero incluyen material agregado del polímero 151 que sobresale verticalmente desde el plano del polímero 151 sobre las superficies superior e inferior. Cuando se ve desde la porción superior, la característica de superficie del polímero superior se parece a un rectángulo que bordea las dimensiones rectangulares del electrodo superior 154a. Cuando se ve desde la porción inferior, la característica de superficie del polímero inferior se parece a un rectángulo que bordea las dimensiones rectangulares del electrodo inferior 154b.

Las características de superficie de los electrodos se pueden formar correspondientemente a la forma y tamaño de los electrodos 154a y 154b durante el accionamiento de cada zona activa 151a. En este caso, las características de superficie del polímero superior e inferior se parecen a un rectángulo con dimensiones que se corresponden a las dimensiones de los electrodos 154a y 154b cuando se accionan, respectivamente.

Las zonas activas 152a y 152b permiten el control independiente por medio de sus electrodos respectivos. De esta manera, junto con la electrónica de control adecuada, las zonas activas 152a y 152b pueden ser accionadas individualmente, simultáneamente, intermitentemente, etc., para crear independientemente características de superficie del polímero y características de superficie de los electrodos para cada zona activa 151.

Hasta el momento, los electrodos sobre superficies opuestas de un polímero electroactivo que se han descrito hasta el momento han sido simétricos en tamaño, forma y localización. Los electrodos en los lados opuestos de un transductor de la presente invención no se limitan a diseños o disposiciones simétricos y pueden tener diferentes tamaños, formas, tipos y / o localizaciones en las superficies opuestas de un polímero electroactivo. Los electrodos en un polímero pueden tener un patrón de acuerdo con lo que se desee. Por ejemplo, uno o más electrodos pueden ser pulverizados sobre una superficie de un polímero con la forma determinada por una plantilla. Diferentes plantillas se pueden utilizar para cada superficie de polímero. El control de los electrodos en cada zona activa permite entonces que cada zona activa sea activada en la superficie del polímero individualmente, simultáneamente, intermitentemente, etc. Una descripción y ejemplos adicionales de las características de superficie personalizadas se describen a continuación.

La figura 1G ilustra un transductor de polímero electroactivo 70 antes de la deformación de acuerdo con una realización específica de la presente invención. El transductor 70 comprende un polímero electroactivo 72, el electrodo 74 y el electrodo 76. El polímero 72 se caracteriza por un grosor no deformado 22 antes de la deformación en una región de la superficie 80 de interés. El grosor no deformado 22 para cualquiera de las superficies se mide desde una superficie opuesta a la superficie del polímero 72 que se está deformando, antes de la deformación. El electrodo 74 que se adhiere a una superficie inferior del polímero 72, comprende un metal, y es grueso y rígido. El electrodo 76 que se adhiere a una superficie superior del polímero 72, comprende un electrodo conformable y se conforma en forma al polímero 72. El electrodo 76 también incluye un tamaño, localización lateral y forma diferentes que el electrodo 74.

La figura 1H ilustra el transductor 70 después del accionamiento utilizando los electrodos 74 y 76 y la deformación de una porción del polímero 72. El electrodo rígido 76 evita que la superficie inferior 72b del polímero 72 se deforme. En este caso, sólo una porción del polímero 72 se deforma y se expande en el plano en el que los electrodos 74 y 76 se solapan lateralmente, como se muestra. Después de la deformación, se produce una característica de superficie del polímero 82 por encima del grosor no deformado 22 después de la deformación. Además, sólo una porción izquierda de electrodo conformable 76 está por debajo del grosor no deformado 22 y forma una característica de su-

perficie del electrodo 85. El resto de electrodo conformable 76 permanece sustancialmente con la misma elevación en relación con el grosor no deformado 22. Así, en algunos casos, es posible que un electrodo incluya porciones en una zona activa que contribuyen a una característica de superficie del electrodo y en porciones fuera de una zona activa o característica de superficie del electrodo que no contribuyen.

En algunos casos, un electrodo puede estar realizado por encima del grosor no deformado, t. Por ejemplo, si una segunda zona activa tuviese un patrón sobre el polímero 72 en la característica de superficie 82 del polímero, sería posible que este electrodo de una segunda zona activa estuviese realizado por encima del grosor no deformado 22 para la deformación de otra porción del polímero. Por lo tanto, la característica de superficie del polímero se refiere al material de polímero por encima del grosor no deformado después de la deformación, con independencia de que un electrodo haya sido modelado sobre la característica de superficie del polímero.

En otra realización, un polímero electroactivo comprende un electrodo común. Un electrodo común es un electrodo que es capaz de comunicar eléctricamente con más de una zona activa de un polímero electroactivo. En muchos casos, un electrodo común permite que los transductores monolíticos sean implementados con menos complejidad (véase la figura 3C). Por ejemplo, múltiples electrodos pueden ser modelados sobre una superficie de un polímero mientras que la segunda superficie entera incluye un electrodo común. Alternativamente, un electrodo común puede ser utilizado para accionar secuencialmente múltiples zonas activas de acuerdo con una propagación de la carga eléctrica a través del electrodo común.

3. Capa pasiva

En algunos transductores de polímero electroactivo, en términos absolutos, el cambio en el grosor del polímero durante la deformación o el accionamiento puede ser pequeño en relación con el cambio en las dimensiones del área plana. Por ejemplo, en una película fina de polímero, los cambios en el área pueden ser del orden de centímetros cuadrados y los cambios en las dimensiones planas pueden ser del orden de centímetros, mientras que los cambios de grosor pueden ser del orden de micrómetros (milésimas de milímetro). Sin embargo, aunque el cambio absoluto en el grosor de la película de polímero en un dispositivo de polímero electroactivo en este caso es pequeño, el cambio de porcentaje es todavía significativo (por ejemplo, 50% o mayor).

En una realización, los transductores y dispositivos de la presente invención comprenden una capa pasiva para amplificar las deformaciones fuera del plano y crear características de superficie de polímero y de electrodos más visibles. Las figuras 2A - 2B ilustran un transductor 51 de polímero electroactivo que comprende una capa pasiva 50 de acuerdo con una realización de la presente invención. La figura 2A ilustra el transductor 51 en un estado no deformado sin deformación del polímero. Como se muestra en la figura 2A, las superficies 52a y 52b del polímero y una capa de superficie pasiva opuesta 50a del polímero 52 son todas sustancialmente planas antes de la deformación del polímero 52. La figura 2B ilustra el transductor 51 en un estado accionado. Los electrodos conformables 54a y 54b están unidos a una porción central 56 del polímero 52 en sus superficies superior e inferior 52a y 52b, respectivamente. Para el accionamiento, se aplica un campo eléctrico con un voltaje, V, por medio de los electrodos 54 a través del polímero 52 para accionar una porción 56 del polímero 52.

La capa pasiva 50 es vecina de la superficie superior 52a del polímero 52 y está configurada para deformarse con la deformación del polímero electroactivo de tal manera que una superficie 50a de la capa pasiva 50 opuesta al polímero electroactivo 52 forme un conjunto de características de superficie 57 de la capa pasiva que se parece al conjunto de las características de superficie 59 en la superficie superior 52a del polímero 52. La capa pasiva 50 es pasiva porque se conforma en forma y dimensiones de sección transversal a las fuerzas aplicadas sobre la misma por el polímero 52. En otra realización, la capa pasiva 50 también puede ser considerada pasiva en relación al polímero electroactivo 52 porque no responde a la aplicación de un campo eléctrico, con un cambio de área y un cambio de grosor, como el polímero 52.

Para el transductor 51, la capa pasiva 50 se acopla directamente al polímero electroactivo 52 de tal manera que los cambios en el área de superficie y en el grosor del polímero 52 durante el accionamiento se transfieren, al menos parcialmente, a la capa pasiva 50. Cuando la capa pasiva 50 se acopla al polímero electroactivo 52, los cambios en el área de superficie y en el grosor en el polímero electroactivo 52 inducen fuerzas de cizalladura en la capa pasiva 50 que cambian el área de superficie y el grosor de la capa pasiva 50. Puesto que la capa pasiva 50 es más gruesa que el polímero 52, o al menos aumenta el grosor combinado de la capa pasiva 50 y el polímero 52, un cambio en el área de superficie y en el grosor de la capa pasiva 50 se puede utilizar para amplificar, en términos absolutos, el desplazamiento producido por el cambio en el grosor del polímero 52.

En una realización, la capa pasiva 50 entra en contacto con el polímero 52 y el acoplamiento entre la capa pasiva 50 y el polímero 52 puede incluir la unión directa, un adhesivo, o una unión de la capa pasiva 50 con el polímero 52 (o porción del mismo), etc. Alternativamente, cada capa pasiva 50 se puede aplicar al polímero electroactivo 52 como un revestimiento de superficie. En otra realización, la capa pasiva 50 no entra en contacto con el polímero 52 y una o más estructuras rígidas intermedias se encuentran dispuestas entre la capa pasiva 50 y el polímero 52. Las estructuras rígidas, tales como postes de metal, se unen a la capa pasiva 50 así como al polímero 52 y están configuradas para transferir las fuerzas desde el polímero electroactivo a la capa pasiva 50. Las estructuras intermedias rígidas

acoplan mecánicamente entonces la capa pasiva 50 y el polímero 52 y transmiten las fuerzas con la deformación del polímero 52.

En la sección transversal que se muestra en la figura 2B, las características de superficie 57a y 57b de la capa pasiva se crean alrededor de los bordes del electrodo superior 54a correspondientes a la porción superior desplazada y las características de superficie 59a y 59b del polímero realizadas, respectivamente, en los bordes del electrodo superior 54a. Las características de superficie 57a y 57b de la capa pasiva en general producen la capa pasiva 50 por el hecho de que mientras que la capa pasiva 50 aumenta en área en la porción 56 correspondiente a la forma de los electrodos 54a y 54b y la zona activa creada por los electrodos 54, la capa pasiva 50 disminuye en área típicamente (dependiendo del diseño) en la zona sobre las regiones inactivas 55 del polímero 52 fuera de los electrodos 45 y de la zona activa. Puesto que la capa pasiva 50 en general, mantiene un volumen total sustancialmente constante (con la excepción de cuando la capa pasiva 50 incluye una espuma compresible), si su área de superficie disminuye durante la actuación o deformación del polímero en las regiones inactivas, entonces el grosor de la capa pasiva 50 aumenta típicamente y forma las características de superficie 57. La localización del incremento de grosor y de las características de superficie es predecible típicamente en base de las tensiones que se acumulan en la capa pasiva 50. En muchos casos, el incremento de grosor es mayor en las regiones de tensión realizada, tales como las que se encuentran bordeando inmediatamente los electrodos 54 y la zona activa del transductor 51.

De esta manera, la capa pasiva 50 forma un conjunto de características de superficie 57 de la capa pasiva que se parece al conjunto de características de superficie 59 sobre la superficie superior del polímero 52. El conjunto de características de superficie 59 sobre la superficie superior del polímero 52 incluye las características realizadas de superficie del polímero así como las características deprimidas de superficie de los electrodos. Por lo tanto, un conjunto de características de superficie 57 de la capa puede incluir ambas porciones realizada y deprimida en relación con el grosor original de la capa pasiva 50. Para el transductor 51, el conjunto de características de superficie 57 de la capa pasiva incluye porciones realizadas 57a y 57b correspondientes a las características de superficie 59a y 59b del polímero y una porción deprimida 57c correspondiente a un adelgazamiento del polímero 52 en la porción central 56. Se entiende que las características de superficie 57 de la capa pasiva no pueden imitar exactamente la disposición espacial y el tamaño de las características de superficie de los polímeros y de las características rebajadas de superficie de los electrodos en el polímero 52 y pueden incluir compensaciones espaciales, variaciones relativas y diferencias cuantitativas pequeñas. En general, sin embargo, el conjunto de características de superficie 57 de la capa pasiva se parece al conjunto de características de superficie 59 sobre la superficie superior del polímero 52 en configuración espacial aproximada, tamaño relativo, etc. El número de características de superficie 57 de la capa pasiva 50 en general corresponderá al número de características de superficie 59 en la superficie superior del polímero 52, y cada conjunto puede incluir de 1 a 200 características de superficie, o más, dependiendo del número, complejidad y disposición de los electrodos en el polímero 52.

La figura 2C ilustra un transductor 51 que comprende un polímero electroactivo 52 entre dos capas pasivas 50 y 58 de acuerdo con una realización específica de la presente invención.

El accionamiento del polímero 52 en la porción 56 por medio de los electrodos 54 hace que el polímero 52 en la porción 56 se incremente en el área plana y reduzca de grosor. Correspondientemente, cuando la porción 56 del polímero 52 es accionada, ambas capas pasivas 50 y 58 en esta región de la superficie se incrementan en área. El accionamiento del polímero 52 por lo tanto hace que las capas pasivas superior e inferior 50 y 58 se reduzcan en grosor alrededor de la porción 56 en la zona en la que el grosor del polímero 52 se ha contraído. La reducción en el grosor de la capa superior pasiva 50 y de la capa inferior 58 se encuentran a las distancias D1 y D4, respectivamente, medidas a partir de su grosor. El cambio en el grosor del polímero 52 cuando el mismo entra en contacto con la capa pasiva superior 50 y con la capa pasiva inferior 58 son D2 y D3, respectivamente. Las capas pasivas superior e inferior 50 y 58 son más gruesas que el polímero 52. Por lo tanto, el cambio en el grosor de las capas pasivas superior e inferior 50 y 58 es mayor que el cambio en el grosor del polímero 52 en la porción 56, es decir, $D1 > D2$ y $D4 > D3$. De esta manera, cada capa pasiva 50 y 58 amplifica el desplazamiento absoluto (cambio de grosor) en comparación con un transductor de polímero electroactivo sin capas pasivas.

La magnitud de las fuerzas generadas por el accionamiento de la porción 56 en el polímero 52 limita el grosor y la rigidez de cada capa pasiva 50. Como un experto en la técnica podrá apreciar, la cantidad de fuerzas generadas por el accionamiento de la porción 56 se ve afectada por el tamaño de la porción 56, el material del polímero 52, la constante dieléctrica, y el voltaje de accionamiento, por ejemplo. A medida que el grosor o la rigidez de cada capa pasiva 50 aumenta, las fuerzas de cizallamiento requeridas para el desplazamiento también aumentan. Por lo tanto, cuando el grosor de la capa pasiva 50 aumenta, la deformación de la capa pasiva 50 disminuye para una fuerza constante del polímero. Además, si la capa pasiva 50 es relativamente conformable pero gruesa, entonces el accionamiento de la porción 56 todavía puede desplazar la capa pasiva, pero el cambio de grosor resultante de la capa pasiva 50 y la definición de las características de superficie de la capa pasiva pueden ser suavizadas y no tienen una definición nítida en relación con la porción 56.

Por lo tanto, la rigidez de las capas pasivas 50 y 58 se pueden seleccionar en función de un desplazamiento absoluto deseado. En una realización, la capa pasiva 50 comprende un módulo de elasticidad menor que el módulo de elasticidad del polímero electroactivo 52. Esto reduce la resistencia elástica proporcionada por la capa pasiva 50 en el transductor 51 y aumenta la magnitud y la definición de las características de superficie de la capa pasiva para

una entrada eléctrica determinada. En otra realización, la capa pasiva 50 comprende un módulo de elasticidad menor que una décima parte del módulo de elasticidad para el polímero electroactivo 52.

El grosor de las capas pasivas 50 y 58 también pueden ser seleccionado en función de un desplazamiento absoluto deseado. En una realización, la capa pasiva 50 comprende un grosor mayor que el grosor del polímero electroactivo 52. Esto incrementa la salida visual de las características de superficie producidas por el accionamiento de la porción 56. En otra realización, la capa pasiva 50 comprende un grosor mayor que el doble del grosor del polímero 52.

Múltiples capas del polímero (más los electrodos) y / o las capas pasivas también pueden ser empleadas. Esto también permite el accionamiento de las características de superficie en la porción superior de otras características de superficie, por ejemplo una capa acciona una forma de copa amplia y otra capa acciona una pequeña protuberancia dentro de la copa.

En general, la capa pasiva 50 puede comprender cualquier material adecuado para amplificar el perfil vertical y / o la visibilidad de las características de superficie en el polímero electroactivo 52. Materiales ejemplares de la capa pasiva 50 incluyen silicona, un polímero blando, un elastómero blando (gel), una espuma de polímero blanda, o un híbrido de polímero / gel, por ejemplo. El material utilizado en la capa pasiva 50 puede ser seleccionado por la compatibilidad con un polímero electroactivo determinado 52, dependiendo de parámetros tales como el módulo de elasticidad del polímero 52 y el grosor de la capa pasiva 50. En una realización específica, la capa pasiva 50 comprende una espuma compresible incluyendo un módulo de elasticidad no lineal con estirado de la capa pasiva. En este caso, la respuesta elástica de la capa pasiva 50 es no lineal y por lo tanto proporciona una salida variable (se hace más delgado o más gruesa, a diferentes velocidades), en base a la curva de esfuerzo / estirado no lineal.

Las deformaciones, características de superficie y cambios de grosor de las capas superior e inferior 50 y 58 puede ser asimétricos. Como se muestra en la figura 2B, la capa superior 50 incluye un cambio de grosor menor que en la capa inferior 58. La asimetría del desplazamiento se puede conseguir mediante varias técnicas, tales como el uso de diferentes materiales con diferentes rigideces de las capas pasivas superior e inferior 50 y 58, usando el mismo material de la capa pasiva pero con diferentes grosores en las capas superior e inferior 50 y 58, disponiendo preestirados diferentes en la capa superior e inferior, combinaciones de las técnicas anteriores, etc. Alternativamente, el uso de materiales sustancialmente idénticos y condiciones de accionamiento similares entre las capas pasivas superior e inferior 50 y 58 pueden generar desplazamientos sustancialmente simétricos de las capas pasivas superior e inferior 50 y 58.

En algunos casos, pueden ser deseable características de superficie 57 más grandes o más definidas y se pueden implementar procedimientos para aumentar la altura de las características de superficie 57. Por ejemplo, el grosor de la capa pasiva 50 puede ser incrementado, se pueden añadir o usar más capas, la geometría del electrodo 54 puede ser cambiada, la geometría del polímero 52 puede ser cambiada, la geometría o el material de la capa pasiva 50 pueden ser cambiados, o la distribución de la carga a través de los electrodos 54 puede ser cambiada para incrementar la altura de las características de superficie 57. Alternativamente, si se desea, las características de superficie 57a y 57b puede ser reducidas en altura por procedimientos tales como la disposición de la capa pasiva 50 bajo tensión, usando un recubrimiento superficial sobre la capa pasiva 50, cambiando la geometría del electrodo 54, cambiando la geometría del polímero 52, cambiando la geometría de la capa pasiva 50, o cambiando la distribución de carga a través de los electrodos 54.

4. Ejemplos de características de superficie geométricas

Los transductores de la presente invención pueden crear una amplia variabilidad en un conjunto de características de superficie - en número así como en forma o geometría específica de las características individuales. Las características de superficie pueden incluir una o más características de superficie realizadas basadas en la deformación del polímero fuera del plano del polímero y / o una o más características de superficie rebajadas basadas en el electrodo y en el adelgazamiento del polímero sobre un zona activa. A continuación se describen varios ejemplos ilustrativos.

La figura 3A muestra una vista superior realizada de electrodos comunes de cruce de un transductor 220 de acuerdo con una realización específica de la presente invención. En este caso, un conjunto de electrodos comunes 222 de superficie superior horizontal están unidos entre sí y dispuestos en la superficie superior de un polímero electroactivo transparente 221. Además, un conjunto de electrodos comunes verticales 224 de superficie inferior están unidos entre sí y dispuestos sobre la superficie inferior del polímero electroactivo transparente 221. Los electrodos 222 de superficie superior se pueden activar comúnmente, como pueden hacerlo los electrodos 224 de superficie inferior.

Las figuras 3B - 3C muestran la foto del alzado superior de los patrones de accionamiento de un transductor 240 de acuerdo con otra realización específica de la presente invención. El transductor 240 incluye una capa pasiva 242 dispuesta sobre una superficie superior de un polímero electroactivo (no mostrado). La capa pasiva 242 mejora los cambios de grosor en el polímero y la visualización de características de superficie en la superficie de la capa pasiva 242. En la figura 3B, no se aplica un voltaje al polímero electroactivo y la superficie de la capa pasiva 242 es esencialmente lisa y sustancialmente plana. En la figura 3C, se aplica un voltaje a los electrodos comunes y se produce un conjunto de características de superficie cuadradas deprimidas 246. También se muestra un conjunto de tres

características de superficie de líneas paralelas deprimidas 248 por encima del conjunto de características de superficie cuadradas 246.

Los desplazamientos también pueden ser asimétricos a través de una capa pasiva. Por ejemplo, un polímero electroactivo puede incluir una pluralidad de zonas activas recubiertas de una capa pasiva, en la que los desplazamientos pueden variar de una zona activa a otra zona activa a través de la capa en base a diferentes grosores de capa pasiva en las diferentes zonas activas.

En una realización, uno o más electrodos están modelados o configurados en el área de superficie para que afecten a una forma de superficie y la apariencia de una característica de superficie. La figura 3A ilustra una vista superior en alzado de un transductor 200 de acuerdo con una realización específica de la presente invención (sin una capa pasiva). El transductor 200 comprende electrodos 202a - g dispuestos en una superficie superior 204 del polímero electroactivo 206 y un electrodo común dispuesto en el lado inferior (no mostrado). Cada electrodo 202a - g se parece a una letra, como se muestra.

El accionamiento de una zona activa correspondiente a cada electrodo 202a - g hace que las características de superficie 210 en la superficie 204 sean visible. La figura 3E ilustra el accionamiento de una letra. Más específicamente, el accionamiento de una zona activa correspondiente al electrodo 202a hace que la letra "a" se incremente de tamaño plano y se deprima dentro del polímero 206 correspondiente al adelgazamiento del polímero 206, lo que crea una característica de superficie 210a del electrodo debajo del grosor del polímero. Además, el accionamiento de una zona activa correspondiente al electrodo 202a hace que el electrodo 202a en forma de la letra "a" aumente de tamaño plano y fuerza al polímero 206 que bordea el electrodo expandido 202a a que se eleve y crear una característica de superficie 212a de polímero de borde sobre el electrodo 202a. El electrodo 202a está configurado de este modo en el área de superficie para afectar a una forma de superficie para las características de superficie 212a del electrodo rebajada y la característica de superficie 210a realizada.

Los electrodos 202a - g y sus correspondientes zonas activas y características de superficie pueden ser controlados de forma independiente. Por lo tanto, en conjunto con la electrónica de control adecuada, los electrodos 202a - c y sus respectivas zonas activas y características de superficie pueden ser accionadas simultáneamente para crear las características de superficie de polímero que forman una palabra. Otras letras pueden estar modeladas para crear palabras visuales y salidas personalizadas.

La presente invención no está limitada a formas geométricas cuadradas o rectangulares simples. Otras formas (círculos, triángulos, etc.) o patrones complejos pueden ser generados con la presente invención. Por ejemplo, los electrodos pueden estar modelados como logotipos, dibujos, etc. En otra realización los cuadrados de la figura 3A puede ser modelados individualmente y controlados para generar diferentes salidas de características de superficie.

La figura 3F ilustra una vista lateral de características de superficie de rejilla de un transductor 260 de acuerdo con otra realización específica de la presente invención. Un electrodo no conformable 262 está montado en una estructura rígida 264. Una capa pasiva 266 está montada en la superficie superior del polímero 268. Sobre una superficie superior del polímero 268 hay una rejilla de bandas conductoras delgadas 270, tales como cables de metal. Cuando el polímero 268 es accionado, los cables conductores 270 cortan el polímero 268 haciendo que el polímero 268 se abulte alrededor de los cables 270. Las características 269 de polímero de superficie protuberantes producen características 267 de superficie protuberantes correspondiente en la capa pasiva 266. Por ejemplo, en una realización, los cables metálicos 270 están dispuestos en una rejilla en un patrón en forma de rombo como un acolchamiento y cuando el polímero 268 es accionado, la capa pasiva 266 exhibe un patrón acolchado en la superficie de la capa pasiva 266.

5. Multifuncionalidad

Los polímeros electroactivos pueden realizar la conversión entre energía eléctrica y energía mecánica de un modo bidireccional. La detección de propiedades eléctricas de un transductor de polímero electroactivo también permite la funcionalidad de detección.

Las figuras 1A y 1B pueden ser utilizadas para mostrar una manera en la que la porción 10 de transductor convierte la energía mecánica en energía eléctrica. Por ejemplo, si la porción 10 de transductor es estirada mecánicamente por las fuerzas externas hasta una forma más delgada de área mayor, como la que se muestra en la figura 1B, y se aplica una diferencia de voltaje relativamente pequeña (menor que el necesario para accionar la película a la configuración de la figura 1B) entre los electrodos 14 y 16, la porción 10 de transductor se contraerá en área entre los electrodos a una forma tal como en la figura 1A cuando las fuerzas externas se eliminan. Estirar el transductor se refiere a deformar el transductor desde su posición original de reposo - típicamente para dar lugar a una mayor área neta 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 de transductor que no tiene entradas externas eléctricas o mecánicas y puede comprender cualquier preestirado en el polímero. Una vez que la porción 10 de transductor es estirada, se proporciona la diferencia de voltaje relativamente pequeña de tal manera que las fuerzas electrostáticas resultantes son insuficientes para equilibrar las fuerzas elásticas de recuperación del estiramiento. La porción 10 de transductor por lo tanto se contrae, y se hace más gruesa y tiene un área plana menor en el plano definido por las

direcciones 18 y 20 (ortogonal al grosor entre los electrodos). Cuando el polímero 12 se hace más grueso, separa los electrodos 14 y 16 y sus correspondientes cargas de signo contrario, aumentando así la energía eléctrica y el voltaje de la carga. Además, cuando los electrodos 14 y 16 se contraen a un área más pequeña, las cargas del mismo signo dentro de cada electrodo se comprimen, elevando también la energía eléctrica y el voltaje de la carga. Por lo tanto, con cargas diferentes sobre los electrodos 14 y 16, la contracción desde una forma tal como la que se muestra en la figura 1B a una tal como la que se muestra en la Figura 1A eleva la energía eléctrica de la carga. Es decir, la deformación mecánica se convierte en energía eléctrica y la porción 10 de transductor está actuando como un generador.

En algunos casos, la porción 10 de transductor se puede describir eléctricamente como un condensador variable. La capacitancia disminuye por el cambio de forma que se realiza desde la que se muestra en la figura 1B a la que se muestra en la figura 1A. Típicamente, la diferencia de voltaje entre los electrodos 14 y 16 será incrementada por la contracción. Este es normalmente el caso, por ejemplo, si la carga adicional no se añade o se resta de los electrodos 14 y 16 durante el proceso de contracción. El incremento en energía eléctrica, U , puede ser ilustrado por la fórmula $U = 0,5 Q^2 / C$, en la que Q es la cantidad de carga positiva en el electrodo positivo y C es la capacitancia variable que se refiere a las propiedades dieléctricas intrínsecas del polímero 12 y de su geometría. Si Q es fijo y C disminuye, entonces la energía eléctrica U se incrementa. El incremento en la energía eléctrica y en el voltaje se puede recuperar o utilizar en un dispositivo adecuado o circuito electrónico en comunicación eléctrica con los electrodos 14 y 16. Además, la porción 10 de transductor puede estar acoplada mecánicamente a una entrada mecánica que deforma el polímero y proporciona energía mecánica.

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

Para facilidad de comprensión, la presente invención se describe y se muestra principalmente enfocándose en la conversión de energía en un solo sentido. Más específicamente, la presente invención se enfoca en convertir la energía eléctrica en energía mecánica. Sin embargo, en todas las figuras y explicaciones de la presente invención, es importante señalar que los polímeros y los dispositivos pueden realizar la conversión entre energía eléctrica y energía mecánica bidireccionalmente. De esta manera, cualquiera de los transductores ejemplares que se han descrito en la presente memoria descriptiva se puede usar con un generador o como un sensor. Típicamente, un generador de la presente invención comprende un polímero dispuesto de tal manera que produce un cambio en el campo eléctrico en respuesta a la deformación de una porción del polímero. El cambio en el campo eléctrico, junto con los cambios en la dimensión del polímero en la dirección del campo, producen un cambio en el voltaje, y por lo tanto un cambio en la energía eléctrica.

Como se utilizan en la presente memoria los términos, 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 actuador de polímero electroactivo se refiere a un transductor o dispositivo configurado para producir una salida mecánica de alguna forma, un generador de polímero electroactivo se refiere a un transductor o dispositivo configurado para producir energía eléctrica, y un sensor de polímero electroactivo se refiere a un transductor o dispositivo configurado para detectar una propiedad o evento.

Por lo tanto, los polímeros y los transductores de la presente invención se pueden utilizar como un actuador para convertir energía eléctrica en energía mecánica, un generador para convertir energía mecánica en energía eléctrica, un sensor para detectar cambios en el estado mecánico o eléctrico del polímero, o combinaciones de los mismos. La energía mecánica puede ser aplicada a un transductor de una manera que permita la eliminación de la energía eléctrica o que se detecten cambios eléctricos. Muchos procedimientos para la aplicación de energía mecánica, la eliminación de la energía eléctrica y la detección de cambios eléctricos del transductor son posibles. Dispositivos de accionamiento, generación y detección pueden requerir un acondicionamiento electrónico de algún tipo. Por ejemplo, por lo menos, una mínima cantidad de circuitos son necesarios para aplicar o eliminar la energía eléctrica desde el transductor. Además, como otro ejemplo, se puede utilizar circuitería de diversos grados de complejidad para detectar los estados eléctricos de un transductor de detección.

En una realización, una zona activa de un transductor de polímero electroactivo se puede controlar eléctricamente por medio del control electrónico adecuado (por ejemplo, un procesador configurado para controlar una zona activa) para proporcionar una altura de característica de superficie variable y la profundidad de desplazamiento en una capa pasiva que varía con el tiempo. Por ejemplo, un microprocesador que controla la actuación de un transductor de polímero electroactivo puede estar conectado a un sensor. La profundidad de desplazamiento puede ser variada en el tiempo por el microprocesador de acuerdo con las mediciones tomadas por el sensor.

6. Procedimientos de uso

La presente invención incorpora también procedimientos de uso de un transductor de polímero electroactivo. La figura 4 ilustra un flujo de proceso 300 para usar un transductor de polímero electroactivo de acuerdo con una realización de la presente invención. Aunque los transductores de polímero electroactivo se describirán ahora como un procedimiento, los expertos en la el área reconocerán que la presente invención incluye transductores y dispositivos capaces de realizar las acciones tal como se describe a continuación.

El flujo de proceso 300 comienza accionando una primera porción del polímero electroactivo (302). La primera porción incluye un grosor no deformado para una primera región de la superficie en una primera superficie del polímero antes del accionamiento de la primera porción. El accionamiento crea una primera característica de superficie sobre la primera superficie. La característica de superficie puede comprender una característica de superficie del polímero que se eleva por encima del grosor no deformado después del accionamiento o una porción de electrodo por debajo del grosor no deformado para la primera región de la superficie después de la deformación. Las formas de características y disposiciones ejemplares se han descrito más arriba.

El flujo de proceso 300 procede con el accionamiento de una segunda porción del polímero electroactivo (304). La segunda porción incluye un grosor no deformado de una segunda zona superficial sobre la primera superficie del polímero. El segundo accionamiento crea una segunda característica de superficie sobre la primera superficie. En una realización, las porciones primera y segunda se accionan simultáneamente. En otra realización, la segunda porción se acciona después de la primera porción.

La figura 5A ilustra un procedimiento para mover dos objetos uno en relación con el otro, utilizando la deformación escalonada de múltiples zonas activas de acuerdo con una realización específica. Se muestra un objeto 322 que se desliza sobre una superficie 324. Un transductor 326 de polímero electroactivo de deformación de superficie se une a la porción inferior del objeto 322. El accionamiento de una zona activa 328 en el transductor 326 empuja el objeto 322 desde la superficie 324 e inclina el objeto 322. Actuando secuencialmente las zonas activas 328a, 328b, y 328c empujan el objeto 322 hacia adelante a lo largo de superficie 324 en la dirección 329. De esta manera, el transductor 326 se utiliza para conducir las ondas que se desplazan a través de la interfaz que empuja el objeto 322 a través de la superficie 324. En otra realización, el transductor 326 de deformación de superficie se une a la superficie 324 y actúa como una cinta transportadora en la superficie 324 para mover objetos en la superficie.

7. Aplicaciones

Unas pocas aplicaciones adicionales ejemplares se describirán a continuación. Estas aplicaciones se proporcionan con fines ilustrativos y no se pretende limitar la aplicación de los transductores y dispositivos descritos en la presente memoria de ninguna manera. Los transductores de polímero electroactivo y los dispositivos descritos en la presente memoria son muy escalables. Por lo tanto, los transductores y los dispositivos de la presente invención pueden ser utilizados tanto en aplicaciones macroscópicas, tales como altavoces, como en aplicaciones microscópicas, tales como un actuador fabricado en un dispositivo semiconductor.

La creación de letras como se ha descrito más arriba es muy adecuada para utilizarse en expositores reconfigurables. Por ejemplo, un tablero de instrumentos en un coche puede incluir un transductor de polímero electroactivo de deformación de superficie que incluye múltiples estados. Un estado puede estar limpio, en el que las características de superficie son poco o nada visibles. Con la iniciación por un usuario, varios menús y controles son creados entonces en el tablero de instrumentos. Combinando la capacidad de detección de los polímeros permite a un conductor o un pasajero introducir comandos e interfaces con un procesador o afectar uno o más de los sistemas de control en el coche. Las características de superficie del tablero de instrumentos pueden incluir letras, logotipos, símbolos y otras características relacionadas con el control de los sistemas en un coche tal como el climatizador, un sistema de audio, un sistema de navegación, etc. Además de los tableros de instrumentos, tales actuadores y sensores reconfigurables son útiles para producir calculadoras, teclados, dispositivos electrónicos portátiles, etc.

En una realización, los transductores y dispositivos de deformación de superficie pueden ser utilizados para aplicaciones de generación de sonido, tales como altavoces. Una descripción adicional de la generación de sonido por medio de un polímero electroactivo se describe en la Patente norteamericana número. 6.343.129.

En otra realización, un dispositivo transductor de polímero electroactivo de deformación de superficie puede ser accionado para aumentar o disminuir el coeficiente de fricción entre un objeto y una superficie. En una realización, el dispositivo transductor de deformación de superficie puede ser montado a través de la porción inferior del objeto y accionado de manera que proporcione un coeficiente de fricción variable a través de la porción inferior del objeto. El coeficiente de fricción variable puede ser usado para generar la dirección de rozamiento. Una aplicación en la que se

puede aplicar el control de fricción es en la porción inferior de los esquís o tablas de snowboard. El control de la fricción se puede utilizar para ayudar en el frenado o en el giro de los esquís o snowboards.

La figura 5B ilustra los transductores de polímero electroactivo de deformación de superficie 340 y 342 montados en una superficie de un ala 343 y de un alerón 345, respectivamente, de acuerdo con una realización específica de la presente invención. El accionamiento de los transductores 340 y 342 cambia una propiedad del flujo de aire sobre el ala 343 y el alerón 345. Por ejemplo, las zonas activas en el transductor 340 pueden ser accionadas para aumentar o disminuir la elevación y el arrastre en el ala en función de las condiciones de funcionamiento del ala, por ejemplo, accionados para aumentar la rugosidad de la superficie y la turbulencia del flujo de aire que pasa sobre la misma. En otras realizaciones, el accionamiento de los transductores 340 y 342 puede ser usado para cambiar las propiedades de sección transversal al radar de la superficie del ala.

Otras aplicaciones ejemplares para deformar transductores de polímero electroactivo de deformación de superficie incluyen: 1) los dispositivos Braille, 2) los dispositivos sensibles al tacto, tales como los teclados u otras interfaces, con las que se accionan los transductores de deformación de superficie para proporcionar retroalimentación táctil, 3) dispositivos de masaje, 4) dispositivos de vibración, 5) bombas y 6) actuadores lineales. En el dispositivo Braille, los transductores de deformación de superficie se pueden utilizar para crear una textura superficial que sea legible por el tacto, como el Braille. En otra aplicación relacionada, los transductores de deformación de superficie se pueden usar en una pantalla de topografía en 3 dimensiones en la que la textura de la superficie es representativa de la topografía de la superficie de una región geográfica.

En una realización específica, un transductor con una capa pasiva sobre cada superficie opuesta se intercala entre dos capas rígidas conductoras, tales como dos capas de metal, para generar un condensador de capacitancia variable. Al accionar el polímero y las capas pasivas para variar la distancia entre las dos capas de metal, la capacidad del condensador se puede variar cuando las capas de metal están cargadas.

El cambio de la textura de una superficie es también deseable en aplicaciones militares, tales como materiales de camuflaje militar "activos" que alteran su reflectancia.

En una realización, los actuadores y transductores de la presente invención se emplean para realizar un trabajo termodinámico en un fluido en un sistema fluido o controlar un fluido. Los sistemas de fluidos son omnipresentes. La industria del automóvil, industria de fontanería, industria de procesos químicos y la industria aeroespacial son unos pocos ejemplos en los que los sistemas de fluidos se utilizan ampliamente. En los sistemas de fluidos, a menudo es deseable controlar las propiedades de un flujo de fluido en el sistema de fluidos para mejorar un rendimiento o eficiencia del sistema de fluido o para controlar el líquido en el sistema de fluido, de manera que permita que el sistema de fluido opere para un propósito determinado. Un procedimiento de control de un fluido es por medio del control de una interfaz de superficie de fluido. La presente invención puede incluir entonces dispositivos y procedimientos para controlar una interfaz de superficie del fluido usando uno o más dispositivos de actuador de polímero electroactivo y las interfaces de superficie. En una realización específica, los transductores de deformación de superficie están montados en una superficie interior de un conducto de fluido. Los transductores de deformación de superficie pueden ser accionados para generar patrones de onda en el conducto. Por ejemplo, los patrones de onda se pueden usar para promover el mezclado. Alternativamente, los transductores de deformación de superficie pueden ser accionados para reducir la fricción en el conducto.

En otra realización específica, una capa pasiva se conecta a una salida mecánica o articulación de manera que los desplazamientos de grosor generados por un polímero se transfieren a la articulación. La deformación del polímero controla entonces un estado de la salida mecánica, es decir, la potencia mecánica tiene un primer estado antes de la deformación y un segundo estado después de la deformación. Por ejemplo, un transductor de deformación de superficie (o porción del mismo) se puede utilizar para controlar una posición de la salida mecánica o un objeto que está conectado a la articulación mecánica. Alternativamente, un transductor de deformación de superficie (o porción del mismo) se puede utilizar para controlar la forma de la salida mecánica. Por ejemplo, la salida mecánica puede incluir una superficie de espejo que está dispuesta sobre la capa pasiva y la deformación del polímero se utiliza para cambiar la forma o la posición del espejo para que haga variar la luz reflejada por el espejo.

REIVINDICACIONES

1. Un transductor de polímero electroactivo, comprendiendo el transductor:
un polímero electroactivo (12) que incluye un grosor no deformado (22) de una región de la superficie en una primera superficie del polímero;
5 un primer electrodo (14) dispuesto en una porción de la primera superficie del polímero electroactivo; un segundo electrodo (16) dispuesto en una porción de una segunda superficie del polímero electroactivo; y
en el que el polímero electroactivo está configurado para incluir una característica de superficie (17a - 17d) del polímero por encima del grosor no deformado (22) después de la deformación de una zona activa y el primer electrodo (14) está configurado para incluir una característica de superficie (19a) del electrodo por
10 debajo del grosor no deformado después de la deformación de la zona activa, en la que la característica de superficie del polímero está fuera del primer electrodo (14) sobre la primera superficie.
2. El transductor de la reivindicación 1, que comprende, además, un tercer electrodo (152) dispuesto sobre la superficie primera o segunda.
3. El transductor de la reivindicación 1, en el que el primer electrodo o el segundo electrodo es un electrodo
15 común.
4. El transductor de la reivindicación 1, en el que el primer electrodo o el segundo electrodo comprende un electrodo no conformable.
5. El transductor de la reivindicación 4, en el que el primer electrodo o el segundo electrodo comprende un metal.
6. El transductor de la reivindicación 4, en el que el primer electrodo o el segundo electrodo comprende un electrodo
20 rígido o semiflexible.
7. El transductor de la reivindicación 1, en el que el primer electrodo o el segundo electrodo comprende un electrodo conformable.
8. El transductor de la reivindicación 1, en el que el primer electrodo o el segundo electrodo está configurado en el área de superficie para afectar a la forma de superficie para la característica de superficie del polímero o la característica de superficie del electrodo.
25
9. El transductor de la reivindicación 1, en el que la primera superficie es sustancialmente plana antes de la deformación.
10. El transductor de la reivindicación 1, en el que la característica de superficie del polímero o la característica de superficie del electrodo se parecen a una forma geométrica.
- 30 11. El transductor de la reivindicación 1, en el que la característica de superficie del polímero o la característica de superficie del electrodo se parecen a una letra.
12. El transductor de la reivindicación 11, en el que el primer electrodo incluye una forma en la primera superficie que se parece a la forma de la superficie de la letra.
13. El transductor de la reivindicación 1, en el que el transductor está incluido en un actuador o en un sensor.
- 35 14. El transductor de la reivindicación 1, en el que la zona activa está dispuesta de una manera que hace que una porción del polímero electroactivo se deforme en respuesta a un cambio en el campo eléctrico proporcionado por los electrodos primero y segundo.
15. El transductor de la reivindicación 1, en el que la zona activa está dispuesta de una manera que produce un cambio en el campo eléctrico en una porción del polímero electroactivo en respuesta a una deformación aplicada a la porción.
40
16. El transductor de la reivindicación 1, que comprende, además, una capa rígida unida a la segunda superficie.
17. El transductor de la reivindicación 1, en el que el grosor no deformado se mide desde la segunda superficie a la primera superficie.
- 45 18. Un procedimiento de accionamiento de un transductor de polímero electroactivo, comprendiendo el procedimiento:
accionar una primera porción (151a) del polímero electroactivo, teniendo la primera porción (151a) un grosor no deformado en una primera región de la superficie de una primera superficie del polímero antes de su accionamiento, para crear una primera característica de superficie sobre la primera superficie, en el que la

característica de la primera superficie está fuera de un electrodo (152) utilizado en el accionamiento de la primera porción (151a) del polímero electroactivo; y

accionar una segunda porción (151b) del polímero electroactivo, teniendo la segunda porción un grosor no deformado en una segunda región de la superficie de la primera superficie del polímero antes de su accionamiento, para crear una segunda característica de superficie sobre la primera superficie.

- 5
19. El procedimiento de la reivindicación 18, en el que el transductor de polímero electroactivo comprende una característica de superficie del electrodo por debajo del grosor no deformado para la primera región de la superficie después de la deformación.
- 10
20. El procedimiento de la reivindicación 18, en el que la segunda porción es accionada después de que la primera porción finalice el accionamiento.
21. El procedimiento de la reivindicación 18 en el que la primera característica de superficie comprende una característica de superficie del polímero por encima del grosor no deformado después del accionamiento.

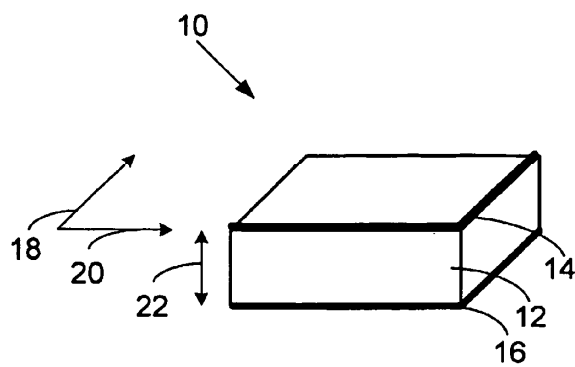


FIG. 1A

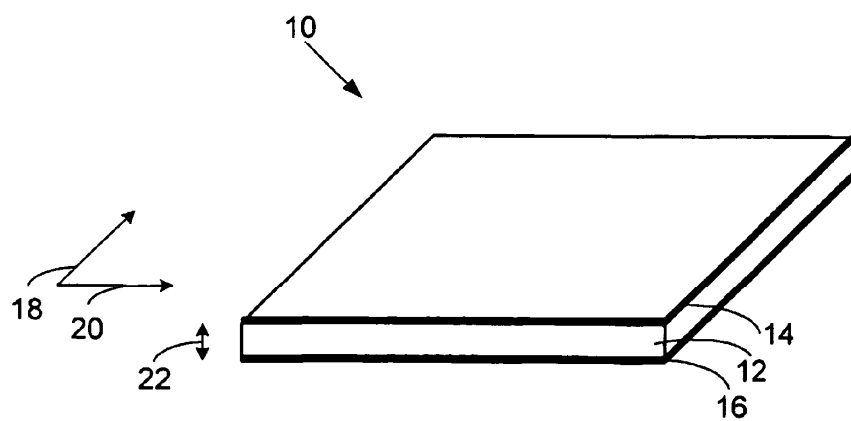


FIG. 1B

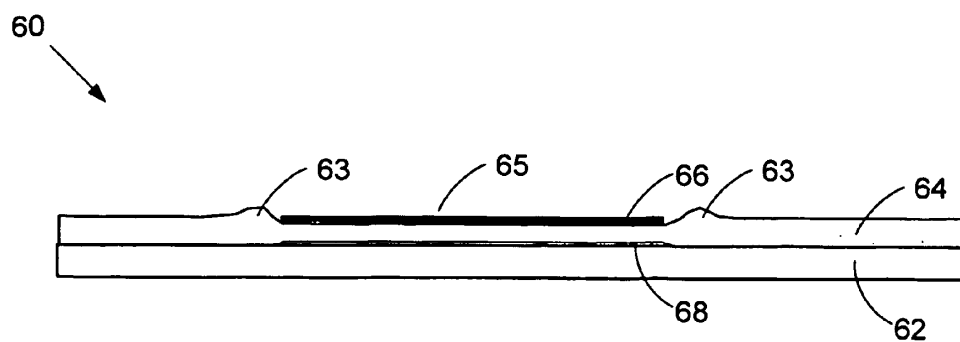


FIG. 1E

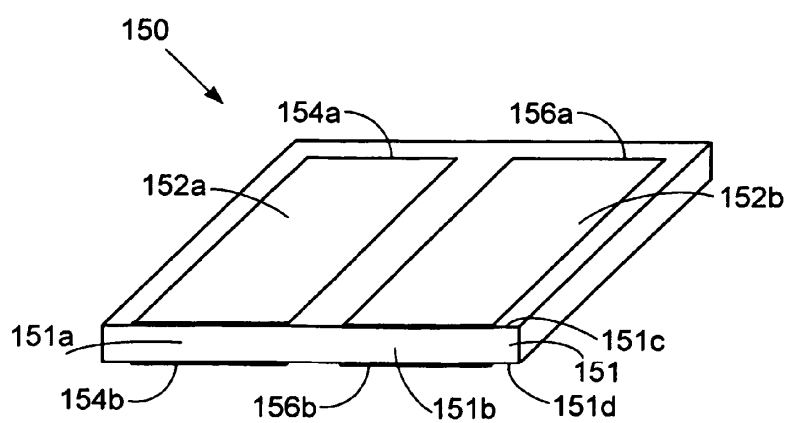


FIG. 1F

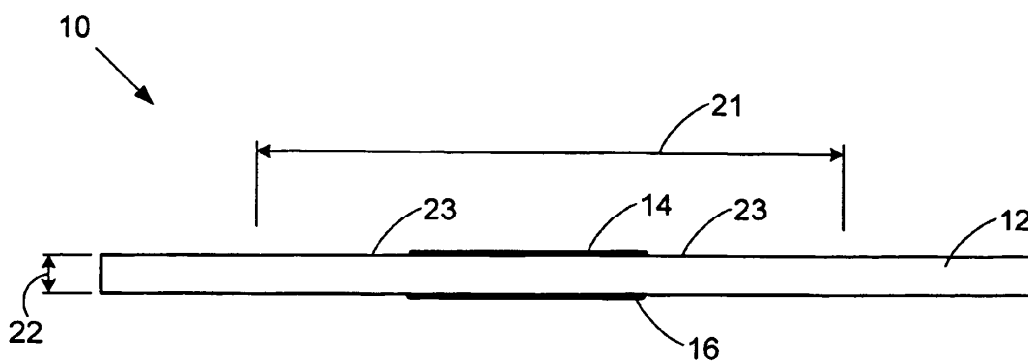


FIG. 1C

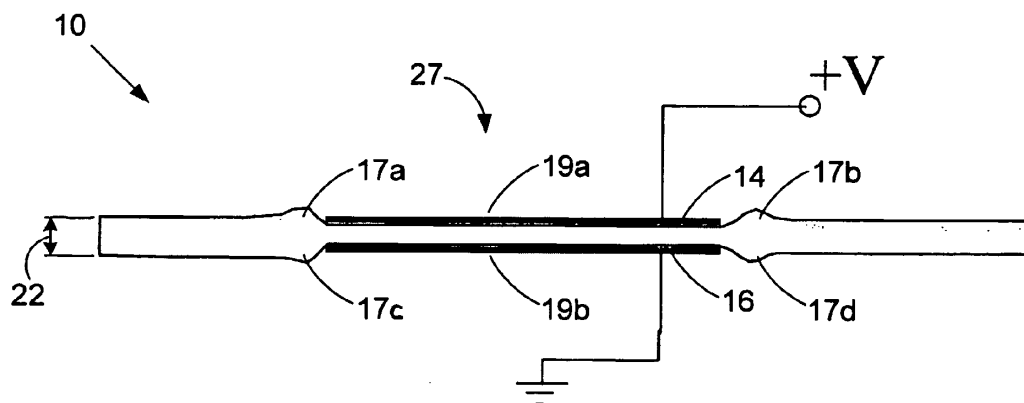


FIG. 1D

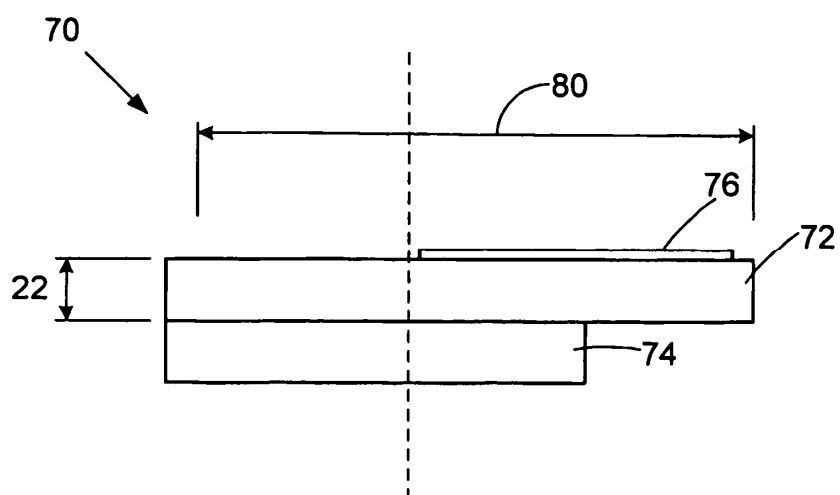


FIG. 1G

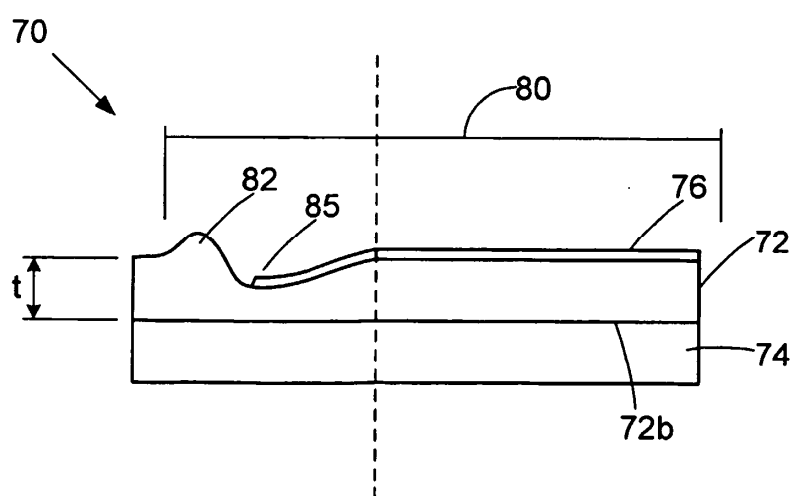


FIG. 1H

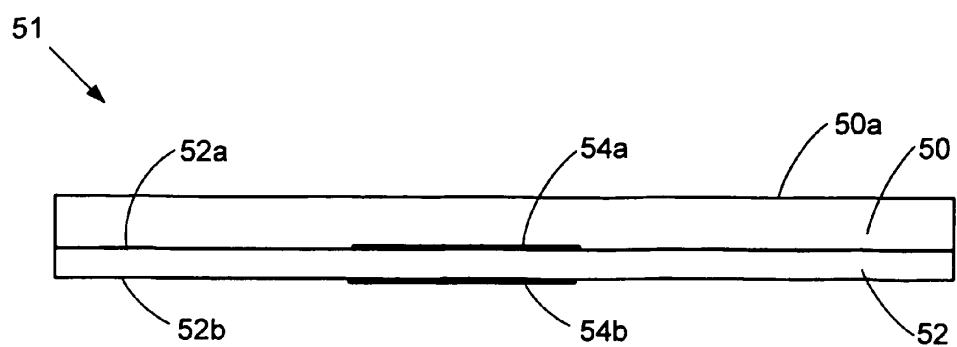


FIG. 2A

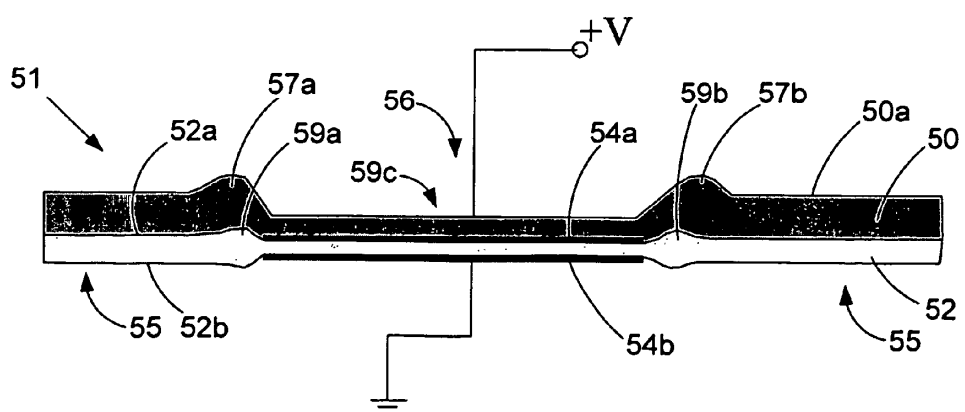


FIG. 2B

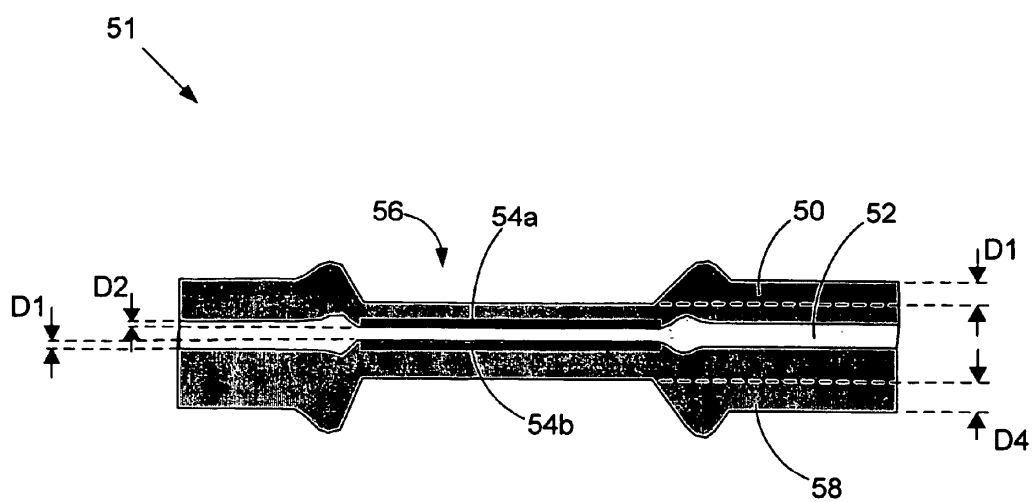


FIG. 2C

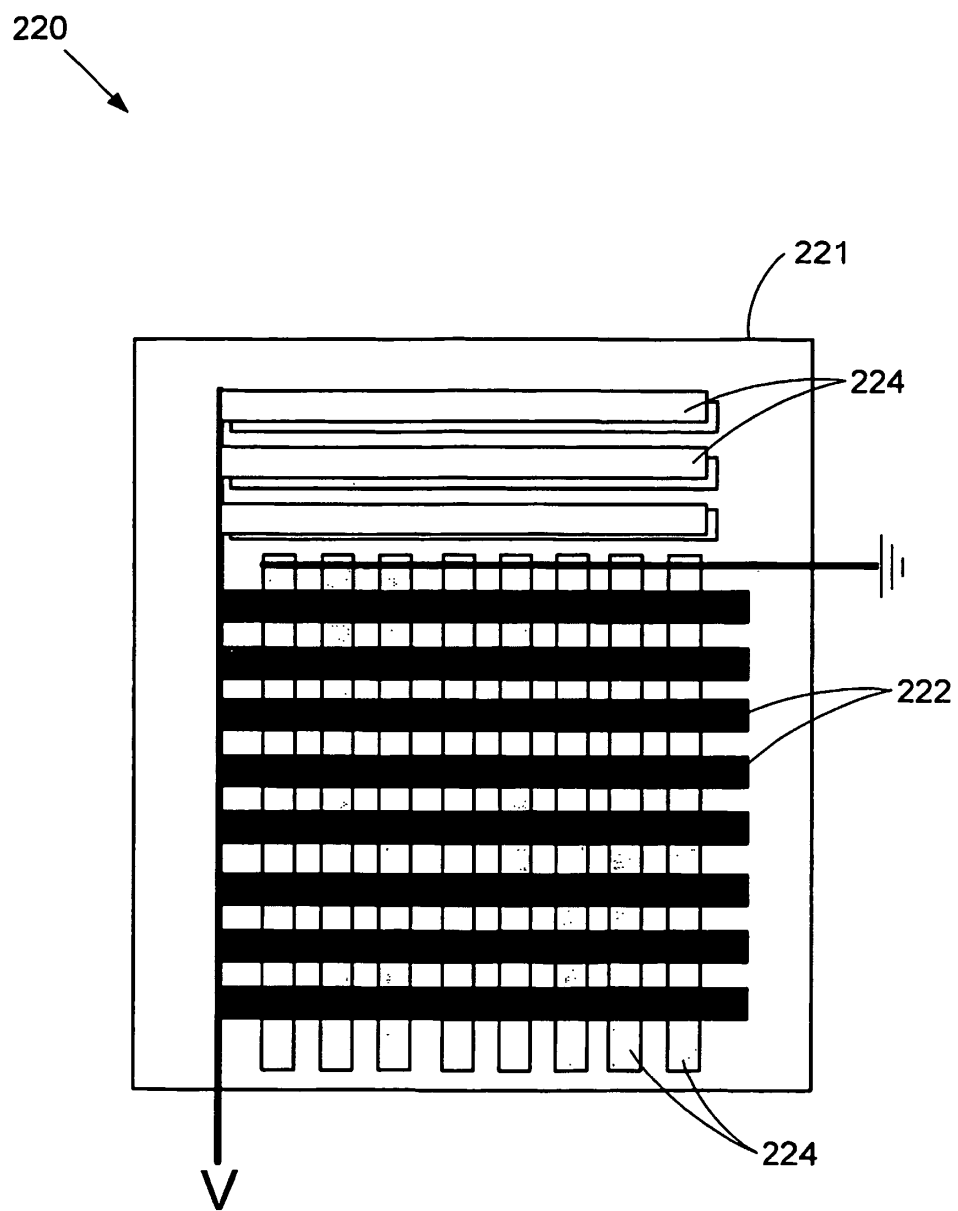


FIG. 3A

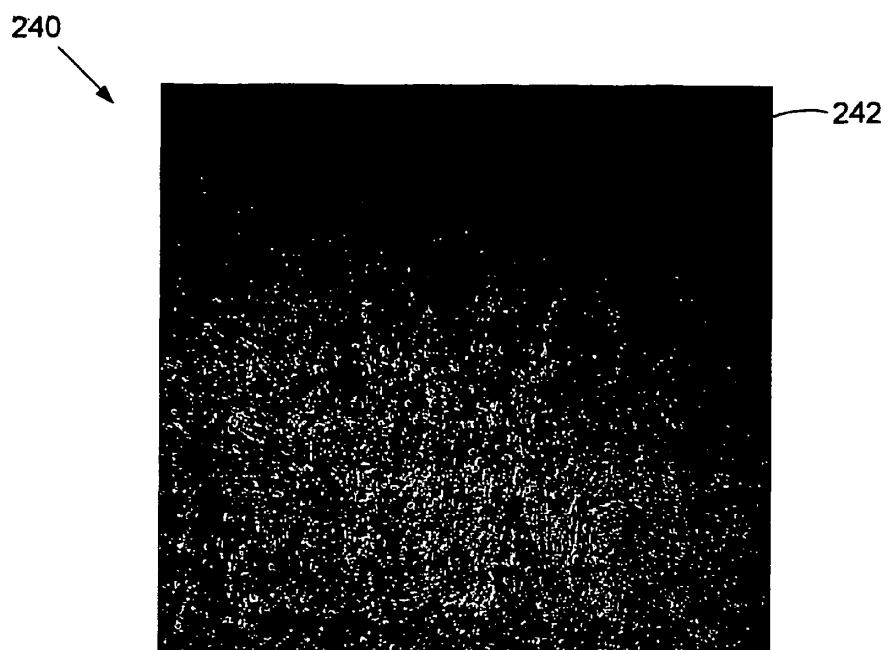


FIG. 3B

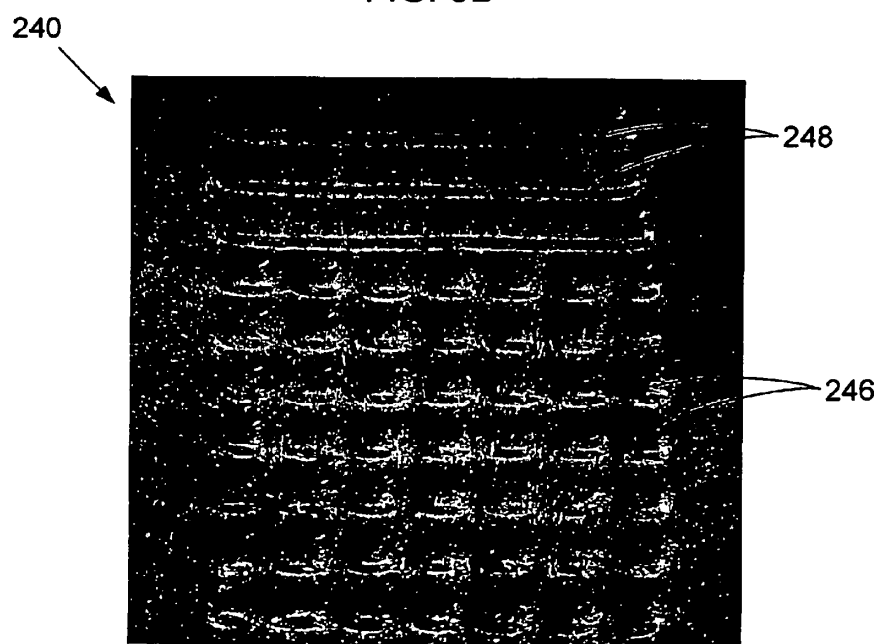


FIG. 3C

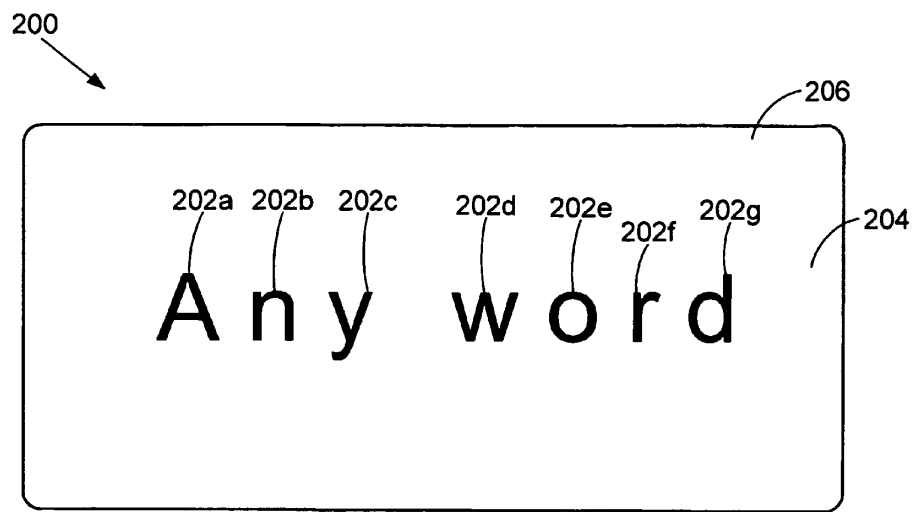


FIG. 3D

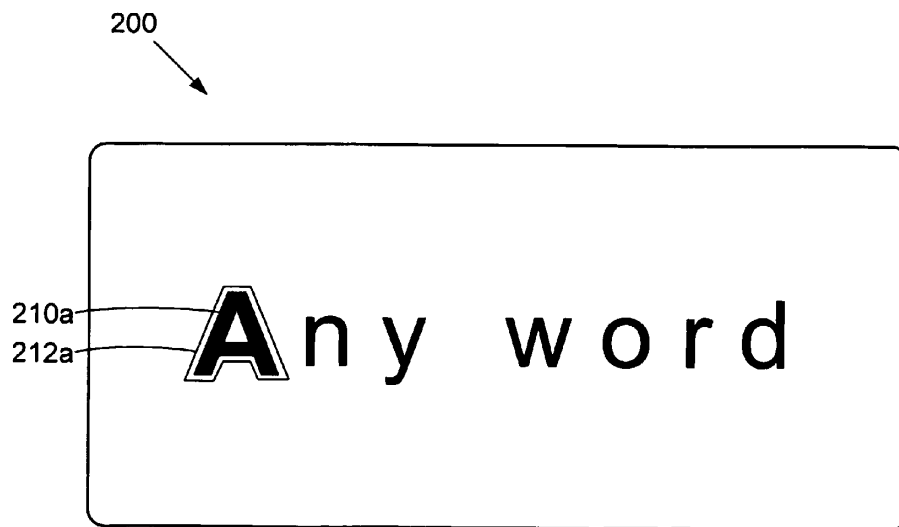


FIG. 3E

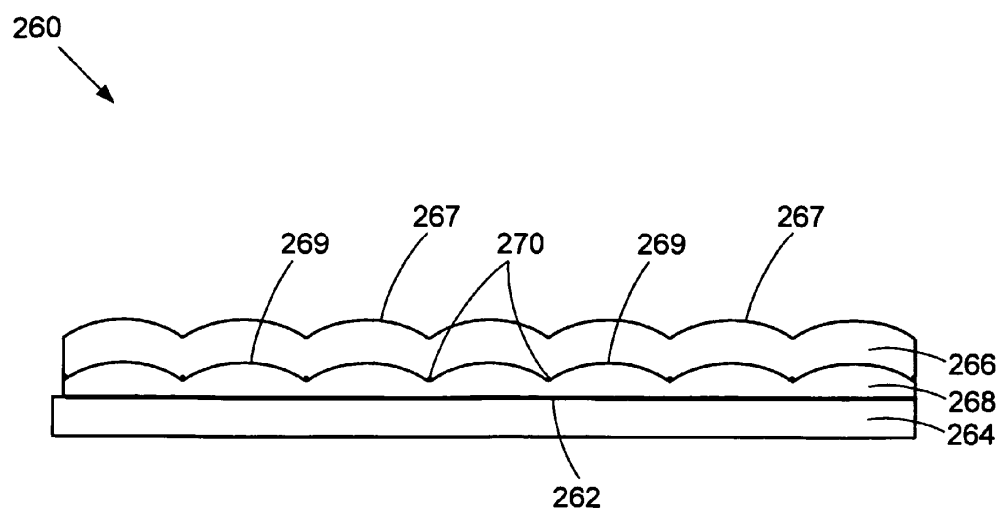


FIG. 3F

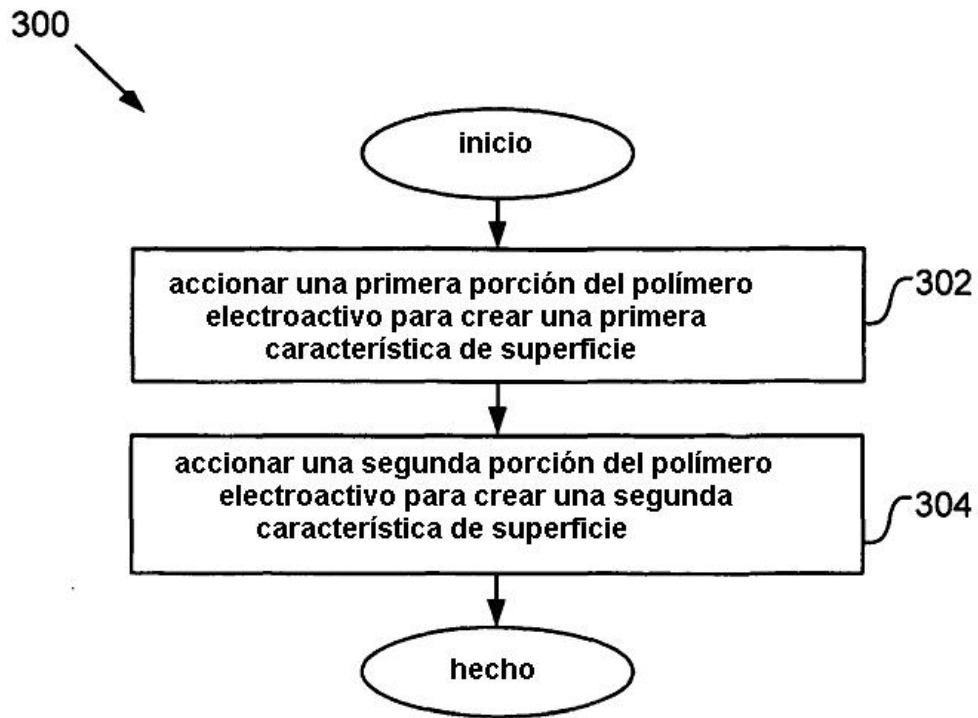


FIG. 4

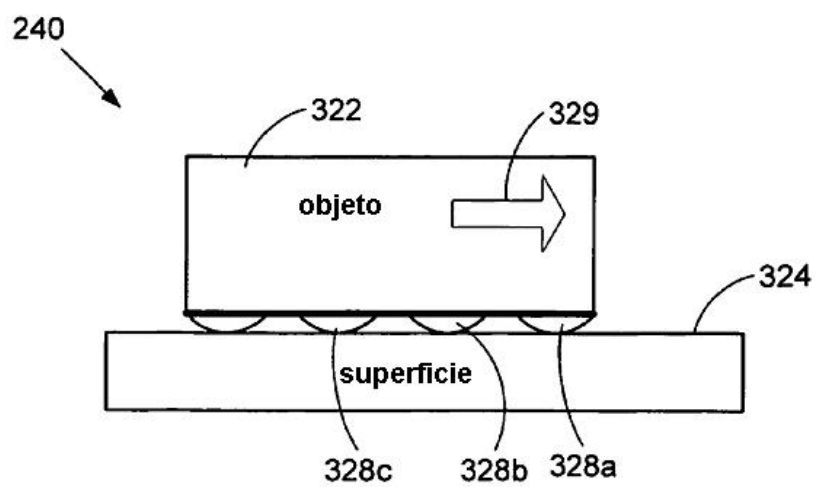


FIG. 5A

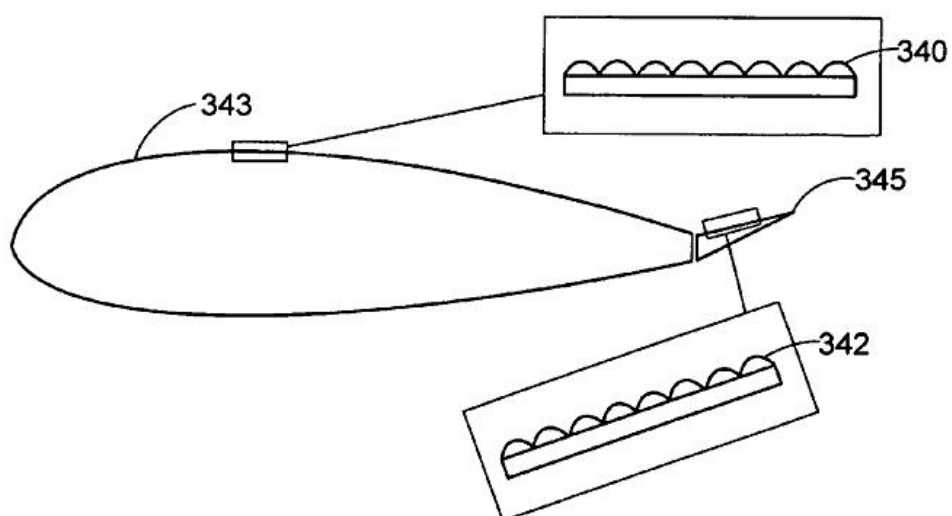


FIG. 5B