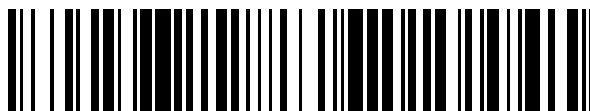


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 703 749**

51 Int. Cl.:

G01L 1/18 (2006.01)

G01L 5/04 (2006.01)

G01L 5/00 (2006.01)

G01N 3/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.03.2010 PCT/US2010/000645**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.09.2010 WO10101633**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.03.2010 E 10749047 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.09.2018 EP 2404148**

54 Título: **Conjuntos de sensores de fuerza de tela elásticamente extensible y procedimientos de fabricación**

30 Prioridad:

05.03.2009 US 380845

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

12.03.2019

73 Titular/es:

**PATIENTECH LLC (100.0%)
13470 Rosehawk Drive
Morning View, KY 41063, US**

72 Inventor/es:

TAYLOR, GEOFFREY L.

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 703 749 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

Conjuntos de sensores de fuerza de tela elásticamente extensible y procedimientos de fabricación

5 **Antecedentes de la invención****A. Campo de la invención**

La presente invención se refiere a transductores o sensores utilizados para medir fuerzas o presiones ejercidas sobre una superficie. Más específicamente, la invención se refiere a conjuntos de sensores de fuerza de tela que utilizan elementos sensores de hilos piezorresistivos elásticamente extensibles y que son suficientemente adaptables a objetos de forma irregular para ser incorporados en prendas de vestir para personas, y procedimientos de fabricación de dichos conjuntos.

15 **B. Descripción de los antecedentes de la técnica**

Siempre que un cuerpo humano se apoya en un objeto tal como una silla o una cama, se transmiten fuerzas normales y cortantes producidas como reacción al peso del individuo desde la superficie de apoyo a través de la piel, tejidos adiposos, músculos, etc. al esqueleto. Las fuerzas ejercidas en partes del cuerpo por las superficies de apoyo, que son iguales y contrarias a las fuerzas del peso corporal pueden, en algunos casos, dañar los tejidos. Las fuerzas sobre las partes del cuerpo pueden comprimir los vasos sanguíneos internos y ocluir nutrientes del tejido, determinando el producto de la magnitud y la duración de estas fuerzas si se producirá daño tisular o morbosidad. Por lo general, la presión alta sola no es suficiente para afectar el tejido de manera perjudicial. Los buceadores de aguas profundas, por ejemplo, se someten a fuerzas normales elevadas pero uniformemente distribuidas y no sufren de daño tisular. No obstante, si existe un gradiente de presión externa suficientemente grande en una parte del cuerpo que resulte, por ejemplo, de una zona de baja presión adyacente a una zona de alta presión, los fluidos corporales internos pueden migrar a la zona de presión más baja. Las fuerzas tangenciales o cortantes ejercidas externamente sobre una parte del cuerpo también pueden colapsar capilares y vasos sanguíneos internos distorsionándolos a lo largo de sus ejes longitudinales. Por lo tanto es de suma importancia conocer tanto el gradiente de fuerza superficial (gradiente de presión) como la fuerza cortante aplicada externamente ejercida sobre el tejido, puesto que es la combinación de estos factores lo que produce deformación tisular y la consiguiente muerte celular. Por consiguiente, incluso fuerzas cortantes y normales externas relativamente pequeñas, que pueden ser independientes entre sí, se pueden combinar para producir tensiones cortantes considerables sobre el tejido interno. Las zonas del cuerpo humano que presentan más riesgo de desarrollar daño tisular tal como llagas por presión son: talón, tuberosidades isquiáticas, trocánter mayor, occipucio y sacro.

Existen a disposición de los usuarios una variedad de sensores de presión/fuerza, sensores de corte y conjuntos de sensores que se pueden utilizar para medir las fuerzas normales y cortantes ejercidas sobre los tejidos humanos. Por ejemplo, la patente de EE.UU. N.º 5.751.973, del 5 de noviembre de 1996, Multi-Directional Piezoresistive Shear And Normal Force Sensors For Hospital Mattresses And Seat Cushions, del autor del presente documento, describe sensores delgados, planos para medir las fuerzas de reacción ejercidas por los colchones o rellenos de asiento de sillas sobre el cuerpo de un paciente recostado o sentado. Una realización de la invención descrita en la memoria descriptiva de la patente '973 incluye un sensor que consiste en un conjunto bidimensional de almohadillas de elementos sensores, cada una de ellas compuesta por una capa delgada y plana formada por una matriz polimérica elastomérica no conductora rellena con partículas eléctricamente conductoras. Una matriz de elementos conductores superiores e inferiores en contacto eléctrico con lados superior e inferior de cada almohadilla de sensor permite llevar a cabo mediciones separadas de la resistencia eléctrica de cada almohadilla. La presión ejercida en cada almohadilla, p. ej., en respuesta a una fuerza normal ejercida sobre la matriz del sensor por el cuerpo de una persona, reduce el grosor de la almohadilla del sensor y, por lo tanto, su resistencia eléctrica mediante un efecto piezorresistivo global o de volumen.

El autor del presente documento también describió un procedimiento y aparato novedosos para medir presiones ejercidas sobre los pies de seres humanos o sobre los cascos de caballos en la patente de EE.UU. N.º 6.216.545, de 17 de abril de 2001, Piezoresistive Foot Pressure Measurement. El aparato novedoso descrito en la patente "545 incluye un conjunto rectangular de elementos sensores de fuerza piezorresistivos encapsulados en un paquete polimérico delgado y flexible. Cada elemento sensor incluye una malla de tela polimérica impregnada con partículas conductoras suspendidas en una matriz elastomérica tal como goma de silicona. La capa de malla piezorresistiva está intercalada entre un conjunto de laminados de tiras conductoras dispuestas en filas y en columnas, preferentemente hechos de una malla de nilón impregnada con vías metálicas impresas. Cada región de material piezorresistivo intercalado entre un conductor de fila y un conductor de columna comprende un sensor de fuerza normal o de presión

direccionable de manera individual en un conjunto rectangular de sensores, cuya resistencia varía inversamente de forma predeterminada como una función de la presión ejercida sobre los sensores y, permitiendo, de este modo, asignar la distribución de fuerza o presión ejercida por un objeto que entra en contacto con el conjunto.

5 En la patente de EE.UU. N.º 6.543.299, del 8 de abril de 2003, Pressure Measurement Sensor With Piezoresistive Thread Lattice, el autor de la presente invención describió un conjunto de sensores transductores para medir las fuerzas o presiones ejercidas sobre una superficie, incluyendo el conjunto una red bidimensional de tipo tela de elementos transductores sensores de fuerza o presión individuales que comprende regiones de intersección de pares de hilos flexibles, alargados, cada uno de ellos compuesto por un alma metálica central eléctricamente conductora
10 cubierta por una capa de material piezorresistivo que tiene una resistividad eléctrica que varía inversamente con la presión ejercida sobre el material.

En la patente de EE.UU. N.º 7.201.063, del 10 de abril de 2007, Normal Force Gradient/Shear Force Sensors And Method Of Measuring Internal Biological Tissue Stress, el autor del presente documento describió un dispositivo sensor
15 de gradiente de fuerza normal/fuerza cortante y un procedimiento de medición para medir las tensiones internas en tejidos de una persona apoyada en una silla o cama. El dispositivo incluye un conjunto de matrices planas de sensores de fuerza normal periféricos espaciados radialmente de los sensores de fuerza cortante centrales, incluyendo cada uno de ellos un disco eléctricamente conductor ubicado dentro de una abertura circular rodeada de electrodos espaciados circunferencialmente. El disco y electrodos están ubicados entre láminas protectoras superior e inferior
20 hechas de un material extensible tal como poliuretano, estando una lámina protectora adherida al disco y estando la otra lámina adherida a una lámina de apoyo para los electrodos. El movimiento entre las láminas protectoras en respuesta a las fuerzas cortantes ejercidas sobre el conjunto hace que el disco presione con mayor o menor intensidad contra los electrodos, variando de este modo la conductancia eléctrica entre el disco y los electrodos de forma proporcional a la magnitud y dirección de la fuerza cortante. Cada sensor de fuerza normal incluye una película
25 eléctricamente conductora presionada entre los conductores de fila y de columna. Las mediciones de los valores de conductancia de pares de sensores, que varían de forma proporcional a las fuerzas normales ejercidas sobre el sensor, se utilizan para calcular un vector de gradiente de fuerzas normales ejercidas por una parte del cuerpo sobre el conjunto de sensores, que se combina con los vectores de fuerza cortante en un algoritmo para calcular las fuerzas cortantes de reacción interna, p. ej., sobre carne cerca de una prominencia ósea.

30 En la solicitud de patente de EE.UU. pendiente de tramitación N.º 12/075.937, presentada el 15 de marzo de 2008, el autor del presente documento describió un procedimiento y aparato de cojín adaptable para minimizar las concentraciones de fuerza en el cuerpo de un ser humano. Dicho aparato incluía un cojín adaptable para colocar en un colchón o silla, teniendo el cojín una matriz de celdas de aire alternante que se pueden presionar individualmente
35 a presiones variables mediante un compresor de aire y válvulas. El aparato descrito en dicha solicitud también incluía un conjunto plano extensible y flexible de transductores sensores de fuerza de construcción novedosa, que se posiciona preferentemente en la superficie superior del cojín, teniendo el conjunto al menos un sensor en alineación vertical con cada celda de aire alternante del cojín.

40 El conjunto de sensores descrito en la solicitud de patente antes mencionada incluía conductores de tela extensible dispuestos en filas y en columnas que tienen intercalada entre las superficies conductoras que miran hacia adentro de los mismos una lámina de tela extensible recubierta con un material piezorresistivo. Construido de esta forma, el conjunto de sensores plano es elásticamente deformable en respuesta a fuerzas ejercidas sobre el conjunto por el peso del cuerpo de un ser humano apoyado en la superficie superior del conjunto de sensores por encima de las
45 celdas de aire alternante. Preferentemente, el conjunto de sensores se ubica en las superficies superiores de las celdas de aire alternante y se mantiene en esa posición mediante una lámina impermeable y ajustada al contorno. Las matrices de tela para conductores tanto de fila como de columna, así como la capa piezorresistiva central, están hechas de un material que es elásticamente deformable en cualquier dirección dentro del plano del material. En una realización preferida, las matrices de tela o la lámina conductora de fila y la lámina conductora de columna están
50 recubiertas con un recubrimiento de base de cobre y un recubrimiento protector de níquel. La lámina piezorresistiva central consiste en una matriz de tela sintética recubierta por un recubrimiento piezorresistivo. El conjunto de sensores también tiene una lámina protectora superior hecha de una tela tal como Lycra que se caracteriza por ser extensible en dos sentidos, es decir, es elásticamente extensible en direcciones ortogonales.

55 Para evitar interferencias entre las mediciones de la resistencia de sensores individuales en el conjunto, mediante las cuales se determinan las fuerzas ejercidas sobre los sensores, los sensores se construyeron de una manera novedosa que les proporcionó características asimétricas de impedancia de corriente versus tensión. Los sensores se modificaron para tener una característica de tipo diodo alterando o bien la superficie superior o inferior de la lámina piezorresistiva central para formar sobre ella una unión PN, de tipo semiconductor, mediante un procedimiento
60 novedoso descrito en detalle en la descripción de dicha aplicación.

Los conjuntos de sensores de fuerza flexibles descritos más arriba han demostrado ser altamente eficaces para llevar a cabo sus funciones previstas. No obstante, existen situaciones en las cuales sería deseable disponer de conjuntos de sensores de fuerza con características relativamente diferentes no ofrecidas por los conjuntos de sensores anteriores.

Por ejemplo, si se utilizan los conjuntos de sensores flexibles típicos existentes para medir presiones ejercidas sobre el cuerpo de un ser humano mediante un cojín de asiento de silla de ruedas adaptable y muy ajustado a su forma o colchón o cojín de cama de presión extremadamente baja, dichos conjuntos de sensores a menudo interfieren con la función de la superficie de apoyo del cojín o cama, y proporcionan mediciones de fuerza erróneas que se utilizan para trazar la forma en la cual la cama o la silla ofrece apoyo a una persona. Dichos errores se producen por un efecto de «hamaca», en el cual un conjunto de sensores flexibles pero no amoldables desplegado entre posiciones de apoyo fijas no puede adaptarse de manera precisa a la forma de un paciente. Este efecto puede producirse, por ejemplo, utilizando conjuntos de sensores que usan elementos de detección de alma metálica que hacen que los conjuntos sean esencialmente no extensibles. La falta de adaptabilidad de un conjunto de sensores altera la forma en la que un cojín o cama ofrece apoyo a un paciente, y también con frecuencia hace que las fuerzas o presiones ejercidas sobre los sensores individuales en el conjunto sean, en realidad, más intensas que las que un paciente experimentaría sin el conjunto de sensores.

Otra situación en la cual los conjuntos de sensores de fuerza actuales para medir y trazar fuerzas ejercidas sobre partes del cuerpo humano son poco satisfactorios se produce cuando se intenta tomar dichas mediciones de una manera no molesta o no invasiva en partes del cuerpo que tienen formas complejas tales como los pies.

Por ejemplo, las personas que sufren de diabetes a menudo pierden sensibilidad en los pies. Puesto que no son capaces de sentir cuando un zapato que no calza bien está ejerciendo presión excesiva en partes del pie, se pueden producir úlceras en los puntos en los cuales se ejerce la presión, lo que a su vez puede requerir la amputación del pie. Por consiguiente, para evitar dichos resultados indeseados, sería deseable disponer de un conjunto de sensores que se podría utilizar para identificar dichos problemas, de modo que las acciones correctivas tales como cambiar la talla o forma del zapato se puedan tomar a tiempo.

El documento GB 2 443 208 se refiere a elementos de detección de presión textiles contruidos a partir de hilados eléctricamente conductores (p. ej., entretejidos o tejidos), como una única lámina de tela. Los elementos incluyen múltiples uniones comprimibles, comprendiendo cada unión dos hilados eléctricamente conductores superpuestos separados por un hueco. El hueco se rellena con un material elástico comprimible. El sensor puede ser un sensor capacitivo donde el hueco se rellena con un material dieléctrico (p. ej., un manguito aislante alrededor del hilado, o aplicado de manera local en zonas separadas sobre el producto textil). Midiendo la capacitancia de los conductores superpuestos se mide el tamaño del hueco y, por ende, la fuerza aplicada a la unión para determinar la presión. Como alternativa, el sensor puede ser un sensor resistivo donde el hueco se rellena con un material conductor comprimible cuya resistencia varía con la compresión, y la resistencia se mide para determinar la fuerza aplicada. El sensor textil se puede utilizar en aplicaciones médicas como, por ejemplo, para medir presión debajo de un vendaje.

La publicación internacional WO 01/75778 se refiere a una tela que incluye dentro de su construcción un primer conductor eléctrico alargado cruzado por un segundo conductor eléctrico alargado, estando los conductores normalmente separados entre sí en un punto de cruce de dichas fibras con un hueco de aire entre ellos, donde la aplicación de presión en una dirección sustancialmente normal a un plano de la tela hace que los conductores entren en contacto. La tela puede ser entretejida, tejida, no entretejida o trenzada. La tela se puede utilizar como sensor de presión, seccionador u otro sensor.

Para abordar el problema de medir y trazar fuerzas ejercidas sobre formas complejas que tienen curvas combinadas, tal como un pie humano, sería deseable disponer de un conjunto de sensores que sea similar a tela de ropa en cuanto a su capacidad para adaptarse fácilmente a objetos complejos y con curvas combinadas tal como un pie humano. Dichos conjuntos de sensores se podrían incorporar en prendas como, por ejemplo, calcetines. La presente invención fue concebida como mínimo parcialmente en respuesta a la no existencia en la actualidad de conjuntos de sensores para cumplir con los requisitos antes mencionados.

Objetos de la invención

Un objeto de la presente invención es proporcionar conjuntos elásticamente extensibles de transductores de detección de fuerza o presión cuya forma se adapte a objetos con formas complejas y con curvas combinadas tales como partes del cuerpo humano, para facilitar la medición y trazado de fuerzas o presiones ejercidas sobre dichos objetos.

Otro objeto de la invención es proporcionar conjuntos de sensores de presión o fuerza de tipo tela elásticamente extensible que sean lo suficientemente ligeros y amoldables a distintas formas como para ser incorporados en una prenda de vestir para seres humanos.

5

Otro objeto de la invención es proporcionar conjuntos de sensores de presión o fuerza que incluyen una matriz de sensores de fuerza individuales flexibles y delgados que se incorporan en una matriz de tela elásticamente extensible.

Otro objeto de la invención es proporcionar conjuntos planos amoldables, elásticamente extensibles y delgados de sensores de fuerza o presión piezorresistivos que se incorporan en un calcetín u otra prenda.

10

Otro objeto de la invención es proporcionar un conjunto amoldable, elásticamente extensible y delgado de sensores de fuerza o presión piezorresistivos y un módulo de control electrónico acoplado eléctricamente al conjunto que sea eficaz para medir la resistencia eléctrica de sensores individuales y, por ende, facilitar el trazado de fuerzas o presiones ejercidas sobre diversas partes del conjunto.

15

Otro objeto de la invención es proporcionar un sistema de medición de fuerza o presión que incluye un conjunto de tipo tela elásticamente extensible de elementos sensores de presión o fuerza piezorresistivos individuales dispuestos en una matriz de filas y columnas y conectados mediante electrodos de fila y de columna a un módulo electrónico de medición de resistencia, incluyendo los trayectos conductores a cada elemento sensor un elemento de circuito de tipo diodo para de esta forma minimizar la interferencia en el direccionamiento de matriz de los sensores individuales.

20

Otro objeto de la invención es proporcionar procedimientos para fabricar conjuntos de sensores de fuerza o presión de tipo tela flexibles y elásticamente extensibles utilizando grupos de hilos eléctricamente conductores dispuestos en filas y columnas.

25

Otro objeto de la invención es proporcionar procedimientos para fabricar sensores de fuerza o presión de tipo tela elásticamente extensibles y flexibles dispuestos en matrices X-Y, incluyendo los sensores una sustancia piezorresistiva con la que entran en contacto hilos conductores cruzados.

30

Otro objeto de la invención es proporcionar procedimientos para fabricar conjuntos de sensores de fuerza o presión de tipo tela que incluyen hilos eléctricamente conductores flexibles y elásticamente extensibles que están recubiertos con un material piezorresistivo.

35

Otro objeto de la invención es proporcionar procedimientos para fabricar conjuntos de sensores de fuerza o presión de tipo tela en los cuales se cosen hilos eléctricamente conductores elásticamente extensibles a una matriz de tela utilizando hilos no conductores.

40

Otro objeto de la invención es proporcionar procedimientos para fabricar hilos eléctricamente conductores elásticamente extensibles que tienen una característica piezorresistiva.

Otro objeto de la invención es proporcionar procedimientos para fabricar hilos conductores piezorresistivos y elásticamente extensibles que tienen una característica de impedancia eléctrica no bilateral de tipo diodo.

45

Otro objeto de la invención es proporcionar conjuntos de sensores de fuerza o presión flexibles y elásticamente extensibles que utilizan hilos eléctricamente conductores que son elásticamente extensibles para potenciar de este modo la extensibilidad de los conjuntos.

50

Otro objeto de la invención es proporcionar conjuntos de sensores de fuerza o presión flexibles y elásticamente extensibles que utilizan hilos eléctricamente conductores que están dispuestos en ondas y sujetos a un sustrato elásticamente extensible para, de este modo, potenciar la extensibilidad elástica del conjunto.

Muchos otros objetos y ventajas de la presente invención, y sus rasgos más novedosos, serán evidentes para los expertos en la materia al leer detenidamente la memoria descriptiva, dibujos y reivindicaciones que la acompañan.

55

Se ha de entender que si bien la invención descrita en el presente documento es plenamente capaz de conseguir los objetos y proporcionar las ventajas descritas, las características de la invención descritas en el presente documento son meramente ilustrativas de las realizaciones preferidas. Por consiguiente, no es mi intención que el alcance de mi derechos y privilegios exclusivos de la invención estén limitados a detalles de las realizaciones descritas. Pretendo que los equivalentes, adaptaciones y modificaciones de la invención razonablemente deducibles de la descripción

60

contenida en el presente documento sean incluidos dentro del alcance de la invención como se define en las reivindicaciones adjuntas.

Resumen de la invención

5 En resumen, la presente invención abarca transductores de detección de presión o fuerza novedosos que incluyen elementos de detección de fuerza individuales que están dispuestos en conjuntos planos sobre o dentro de un sustrato que consiste en una lámina polimérica flexible y delgada o una lámina delgada de tela entretejida o no entretejida. Los conjuntos de sensores de presión o fuerza según la presente invención utilizan hilos eléctricamente conductores
10 elásticamente extensibles que están sujetos a una lámina de sustrato elásticamente flexible y delgada que consiste en una lámina polimérica aislante o lámina de tela que emplea una técnica de fabricación novedosa. Los conjuntos son suficientemente flexibles, amoldables y elásticamente extensibles como para ser incorporados en prendas de vestir tales como calcetines. Esta construcción novedosa permite que los conjuntos de sensores de presión o fuerza amoldables a distintas formas y elásticamente extensibles según la presente invención se utilicen para medir y trazar
15 distribuciones de fuerza o presión en objetos de formas complejas o con curvas combinadas, tales como un pie humano.

Los conjuntos de sensores de presión según la presente invención pueden, por ejemplo, utilizarse de manera ventajosa para medir y trazar concentraciones de presión o fuerza ejercidas por un zapato que calza mal en el pie de
20 un paciente que ha perdido la sensibilidad en el pie debido a la diabetes u otra enfermedad. Utilizar la información proporcionada por los mapas de presión que se obtienen mediante los conjuntos de sensores adaptables según la presente invención permite redimensionar, modificar o reemplazar un zapato que calza mal para reducir las concentraciones de presión en el pie de un paciente con el fin de conseguir valores suficientemente bajos como para evitar la formación de úlceras nocivas para la salud en el pie.

25 Las realizaciones básicas de conjuntos de sensores de fuerza o presión elásticamente extensibles según la presente invención utilizan hilos eléctricamente conductores flexibles que tienen un diámetro relativamente pequeño, p. ej., que oscila entre alrededor de 2 mm y 4 mm. En una versión de sustrato de película polimérica básica de la invención, cada elemento sensor de un conjunto está formado por la intersección de, p. ej., un primer hilo conductor de fila superior
30 sujeto a la superficie inferior de una lámina de sustrato polimérico aislante delgada superior, y un segundo hilo conductor de columna inferior sujeto a la superficie superior de una lámina de sustrato polimérico aislante delgada inferior. Preferentemente, ambas láminas de sustrato polimérico superior e inferior están hechas de un material que es flexible y elásticamente extensible, tal como policloruro de vinilo (PVC) elastomérico de 0,05-0,076 mm de grosor.

35 Según la invención, la intersección de cada par de hilos conductores de un conjunto de sensores, tal como la intersección de un hilo de fila con un hilo de columna incluye intercalados entre los hilos una capa, recubrimiento o punto pequeño hechos de un material piezorresistivo, cuya resistencia eléctrica varía inversamente con la fuerza o la presión ejercidas sobre él. Preferentemente, el material piezorresistivo tiene una característica elástica o elastomérica de modo que las variaciones de presión cíclicas sobre el sensor no produzcan efectos de histéresis excesivos en la
40 resistencia eléctrica contra la función de transferencia de presión del sensor. Un material piezorresistivo apropiado que cumple con los requisitos antes mencionados consiste en una disolución sólida de goma de silicona rellena con partículas conductoras tales como fibras de negro de carbono o carbono.

45 Cuando el material piezorresistivo entre un par de hilos conductores cruzados se comprime como resultado de una fuerza normal que hace que los hilos se unan más entre sí, la resistencia eléctrica medida entre el par de hilos conductores disminuye en proporción a la magnitud de fuerza o presión. Se cree que la disminución de resistencia se debe a una combinación de efectos piezorresistivos de superficie y volumen.

50 En el efecto piezorresistivo de superficie, el tamaño de la zona de contacto de intersección entre un par de hilos conductores y un punto piezorresistivo aumenta cuando los hilos se presionan entre sí, aumentando de este modo la conductancia eléctrica entre los hilos. La compresión del material piezorresistivo elastomérico aparentemente aumenta la conductancia eléctrica por un efecto piezorresistivo de volumen, como resultado de que las partículas conductoras de la matriz elastomérica del punto piezorresistivo se han estimulado para unirse más entre sí, y que el grosor del punto ha disminuido.

55 Según un aspecto de la invención, una realización básica de la invención que utiliza sustratos de lámina polimérica emplea una lámina delgada de material piezorresistivo intercalado entre láminas poliméricas superior e inferior a las cuales se sujetan hilos conductores de fila y de columna, respectivamente. Esta realización de la invención tiene tres capas diferenciadas.

60

En una realización preferida de dos capas de un conjunto de sensores de película polimérica según la presente invención, el material piezorresistivo recubre directamente las superficies exteriores de los hilos conductores de fila, los hilos conductores de columna o, preferentemente, tanto los hilos conductores de fila como de columna, eliminando de este modo el requisito de una tercera lámina de sustrato intermedio que contiene material piezorresistivo.

5

En un conjunto de elementos sensores individuales Q tales como los de cualquiera de las dos realizaciones básicas de la invención descrita más arriba, la medición inequívoca de la resistencia de cada sensor individual requerida para determinar inequívocamente la magnitud de la presión o fuerza ejercidas sobre cada sensor requiere para los elementos sensores Q, $R=Q+1$ conductores de salida. Por lo tanto, cada uno de los elementos sensores Q puede tener un terminal de un elemento sensor conectado a un conductor de salida común, y un conductor de salida separado conectado a un terminal opuesto de cada elemento sensor.

10

Para una matriz cuadrada de $m \times n$ = sensores Q, la cantidad de conductores de salida requeridos para direccionar cada uno de los sensores Q ubicados en los puntos de intersección Q de hilos conductores sensores de fila m y columna n es solo $R = 2\sqrt{Q}$. Por lo tanto, por ejemplo, en un conjunto de 64 elementos sensores, medir individualmente la resistencia de cada uno de los elementos sensores requeriría 65 conductores de salida aislados eléctricamente. Por otra parte, utilizando una disposición de direccionamiento de matriz, únicamente se requeriría un total de 16 conductores de salida, es decir, 8 conductores de fila y 8 conductores de columna. Por consiguiente, sería deseable utilizar direccionamiento de matriz para medir la resistencia de cada elemento sensor.

15

Sin embargo, existe un problema asociado a la medición de la resistencia de elementos sensores en un conjunto utilizando direccionamiento de matriz de los elementos sensores. El problema se produce por el hecho de que las resistencias eléctricas de todos los elementos sensores no direccionados en un conjunto derivan la resistencia de cada elemento sensor direccionado, produciendo imprecisiones de interferencia en las mediciones de las resistencias de elementos sensores individuales, y, por consiguiente, de presiones inferidas de dichas mediciones.

20

Para superar el problema de la interferencia, los sensores según la presente invención se fabrican preferentemente con una función de transferencia de corriente versus tensión de tipo diodo asimétrica. La función de transferencia de tipo diodo se consigue tratando los recubrimientos piezorresistivos sobre la superficie de los hilos conductores para que formen sobre ella una unión PN. Como alternativa, cualquiera de o ambas superficies superior e inferior de una película piezorresistiva entre hilos conductores de fila y de columna se tratan para proporcionarle una característica de unión PN. Como se explica con mayor detalle a continuación, la característica de unión PN se proporciona depositando un recubrimiento no electrolítico que contiene un óxido de cobre u otro metal en una superficie de una capa piezorresistiva que contiene carbono.

25

Las realizaciones preferidas de conjuntos de sensores de presión según la presente invención se fabrican preferentemente utilizando láminas de una tela elástica entretejida en vez de láminas de película polimérica. La tela entretejida da como resultado conjuntos de sensores que son más extensibles y amoldables y, por ende, más fácilmente adaptables a superficies irregularmente curvas.

30

En una realización básica de un conjunto de sensores de fuerza que utilizan un sustrato de tela entretejida según la invención, los hilos conductores dispuestos longitudinalmente y espaciados lateralmente están sujetos a la superficie inferior de una primera lámina de tela superior. Preferentemente, los hilos conductores están sujetos a la lámina de sustrato de tela superior mediante costura en zigzag utilizando hilos no conductores de diámetro más pequeño que los hilos conductores.

35

Una segunda lámina de sustrato de tela inferior se prepara de la misma forma que la lámina superior, con los hilos conductores ubicados en el lado superior de la lámina inferior.

40

Las láminas superior e inferior se pueden fabricar de manera opcional a partir de una lámina de tela de sustrato única que tiene hilos conductores cosidos sobre una superficie de la misma, estando la lámina cortada en dos y una de las mitades invertida y rotada 90 grados de modo que las superficies enfrentadas de las dos mitades de lámina formen una matriz de intersecciones, que consiste en filas de hilos conductores y columnas de hilos conductores. A continuación una capa de película piezorresistiva se posiciona entre las láminas de sustrato de tela superior e inferior y las tres láminas están sujetas entre sí a lo largo de sus bordes periféricos y, por lo tanto, forman un conjunto plano bidimensional que contiene una matriz de elementos sensores individuales.

45

En las realizaciones preferidas de conjuntos de sensores de fuerza que utilizan sustratos de tela según la presente invención, la capa de película piezorresistiva posicionada entre hilos conductores de fila y de columna del sensor consiste en recubrimientos de una sustancia piezorresistiva que se aplican a superficies exteriores de los hilos

50

55

60

conductores. El recubrimiento piezorresistivo se puede aplicar a la superficie exterior de los conductores de fila o de columna mediante un proceso novedoso según la invención, pero preferentemente se aplica a hilos tanto de fila como de columna.

5 Los conjuntos de sensores que tienen la construcción novedosa según la presente invención que usan hilos conductores de fila y de columna elásticamente extensibles y sumamente flexibles cosidos a la superficie que mira hacia adentro de un par de paneles de sustrato enfrentados hechos de una tela amoldable y ligera se adaptan fácilmente a superficies irregulares, facilitando de este modo la medición de fuerzas ejercidas sobre superficies de objetos de forma irregular.

10

Las realizaciones preferidas de conjuntos de sensores de fuerza piezorresistivos de sustrato de tela según la presente invención tienen una extensibilidad, amoldabilidad y adaptabilidad a las formas mejoradas gracias al uso de una tela extensible que contiene Spandex o Lycra como material de sustrato. Preferentemente, los sustratos de tela extensible tienen una característica isotrópica o al menos extensible en dos sentidos, de modo que el conjunto de sensores se pueda extender elásticamente para adaptarse a la forma de un objeto de forma irregular con igual flexibilidad en todas las direcciones, o al menos dos direcciones perpendiculares, respectivamente. Con esta construcción, los hilos conductores en sí mismos pueden limitar la extensibilidad del conjunto de sensores. La extensibilidad y la adaptabilidad a las formas de los conjuntos de sensores según la presente invención preferentemente aumentan mediante cualquiera de los dos procedimientos siguientes.

20

Según un primer procedimiento para potenciar la extensibilidad de los conjuntos de sensores según la presente invención, la extensibilidad de un conjunto aumenta utilizando un hilado conductor extensible en vez de un hilo de monofilamento para los hilos conductores de fila y de columna. El hilado conductor se puede utilizar como un núcleo para o bien los hilos piezorresistivos de fila o de columna, pero preferentemente se utiliza para hilos conductores tanto de fila como de columna, para proporcionar extensibilidad potenciada en dos sentidos.

25

En un segundo procedimiento para potenciar la extensibilidad de los conjuntos de sensores según la presente invención, o bien cualquiera de los hilos piezorresistivos de fila y de columna, o ambos, se disponen en líneas serpenteantes u onduladas respecto de una línea de base recta entre extremos opuestos de un hilo de fila o de columna, en vez de permanecer en las líneas de base. Con esta disposición en ondas, la holgura que se forma por las porciones dispuestas de forma transversal de un hilo conductor permite que la separación longitudinal entre picos y valles del hilo ondulado aumente cuando la tela se extiende en la dirección de la línea de base del hilo, y disminuya cuando la tela se relaja a un estado no extendido. Dicho de otro modo, la longitud de onda espacial del hilo conductor ondulado aumenta cuando el conjunto de sensores se extiende elásticamente, y disminuye cuando las fuerzas de extensión sobre el conjunto se relajan para, por ende, permitir que el conjunto recupere elásticamente su forma no extendida.

De manera opcional, los conjuntos de sensores según la presente invención pueden utilizar tanto hilos conductores elásticos extensibles como disposiciones onduladas de los hilos para maximizar la extensibilidad elástica de los conjuntos.

40

Según otro aspecto de la invención, se proporciona un conjunto de sensores de sustrato de tela de capa única que es ligero y muy adaptable a distintas formas. Esta realización de conjuntos de sensores según la presente invención utiliza un panel de sustrato de tela único que se ha impregnado con sustancias piezorresistivas. Los hilos conductores de fila y columna se cosen a superficies exteriores opuestas del sustrato de tela. La extensibilidad y adaptabilidad a distintas formas potenciadas para esta realización se puede proporcionar, de manera opcional, utilizando o bien hilado extensible o curvas onduladas de los hilos conductores, o ambas opciones, como se describe más arriba.

45

Breve descripción de los dibujos

50

La Figura 1 es una vista en perspectiva parcialmente detallada de una realización básica de un conjunto de sensores de presión de hilos piezorresistivos de tres capas según la presente invención, que utiliza un par de sustratos exteriores de película polimérica y una capa piezorresistiva central.

La Figura 2 es una vista en corte transversal vertical o vista de extremo del conjunto de sensores de la Figura 1 tomada en la dirección 2-2.

55

La Figura 3 es una vista en perspectiva superior parcialmente detallada de una segunda realización de dos capas de un conjunto de sensores de presión de hilos piezorresistivos según la invención, en el cual la capa piezorresistiva central mostrada en la realización básica de las Figuras 1 y 2 se reemplaza por un recubrimiento piezorresistivo en los hilos conductores del conjunto de sensores.

La Figura 4 es una vista en corte transversal vertical o vista de extremo del conjunto de sensores de la Figura 3 tomada

60

en la dirección 4-4.

La Figura 5 es una vista en perspectiva fragmentaria de una modificación del conjunto de sensores de las Figuras 1 y 3 en el cual pares adyacentes de hilos conductores de fila y de columna agrupados más estrechamente están aislados espacial y eléctricamente entre sí mediante hilos no conductores.

5 La Figura 6A es una vista en corte transversal fragmentaria del conjunto de sensores de las Figuras 1 y 2, en una escala aún más ampliada, que muestra la disposición de hilos conductores de fila y de columna cruzados que están en contacto con una capa piezorresistiva central para formar elementos de detección de fuerza, sin fuerza externa aplicada a los elementos.

La Figura 6B es una vista similar a la de la Figura 6A, pero con una fuerza normal moderada aplicada a los elementos
10 sensores.

La Figura 6C muestra los elementos sensores con una fuerza externa mayor aplicada a ellos.

La Figura 7 es un gráfico que muestra resistencia eléctrica trazada como una función de fuerza o presión ejercida sobre elementos sensores de los conjuntos de sensores mostrados en las Figuras 1 y 3.

La Figura 8A es una vista en corte transversal fragmentaria del conjunto de sensores de las Figuras 3 y 4, en una
15 escala aún más ampliada, que muestra la disposición de hilos piezorresistivos de fila y de columna para formar elementos de detección de fuerza, sin fuerza externa aplicada al conjunto.

La Figura 8B es una vista similar a la de la Figura 8A, pero con una fuerza normal moderada aplicada a los elementos sensores.

La Figura 8C muestra el elemento sensor con una fuerza externa mayor aplicada a él.

20 La Figura 9 es una vista en perspectiva parcialmente detallada de una tercera realización de tres capas de un conjunto de sensores de presión de hilos piezorresistivos según la invención, que utiliza un par de sustratos exteriores de tela y una capa piezorresistiva central.

La Figura 10 es una vista fragmentaria del conjunto de sensores de la Figura 9 en una escala ampliada y que muestra una vista en planta inferior de una parte de conductor de fila horizontal superior del conjunto de sensores.

25 La Figura 11 es una vista fragmentaria del conjunto de sensores de la Figura 9, en una escala ampliada y que muestra una vista en planta superior de una parte de conductor de columna vertical inferior del conjunto de sensores.

La Figura 12 es una vista en corte transversal vertical, del conjunto de sensores de la Figura 9, tomada en la dirección 12-12.

La Figura 13A es una vista en perspectiva superior en despiece parcialmente detallada de un cuarto conjunto de
30 sensores de presión de hilos piezorresistivos de dos capas que utilizan sustratos de tela, según la invención, en el cual la capa piezorresistiva central de la realización mostrada en la Figura 9 se reemplaza por un recubrimiento piezorresistivo sobre los hilos conductores del conjunto de sensores.

La Figura 13B es una vista en corte transversal vertical del conjunto de sensores de la Figura 13A, tomada en la dirección 13B-13B.

35 La Figura 14 es una vista en perspectiva superior parcialmente detallada de una quinta realización de capa única de un conjunto de sensores de presión de hilos piezorresistivos según la invención que tiene un único sustrato de tela, en el cual los hilos piezorresistivos tanto de fila como de columna están sujetos al mismo lado de una única lámina de sustrato aislante.

La Figura 15 es una vista en planta superior del conjunto de sensores de la Figura 14.

40 La Figura 16 es una vista en corte transversal vertical del conjunto de sensores de la Figura 14, tomada en la dirección 16-16.

La Figura 17 es una vista en perspectiva superior en despiece parcialmente detallada de una modificación de los conjuntos de sensores de sustrato de tela de las Figuras 9, 13 o 14 en los cuales los hilos conductores de columna inferiores del conjunto de sensores están dispuestos en ondas sobre el panel de sustrato inferior de tela.

45 La Figura 18 es una vista en perspectiva superior de otra modificación del conjunto de sensores de sustrato de tela de capa única de la Figura 14 en el cual los hilos conductores tanto de fila como de columna están dispuestos en ondas y ubicados en caras opuestas de una lámina de sustrato piezorresistiva.

La Figura 19 es una vista en planta superior del conjunto de sensores de la Figura 18.

La Figura 20 es una vista en planta inferior del conjunto de sensores de la Figura 18.

50 La Figura 21 es una vista en corte transversal vertical del conjunto de sensores de la Figura 19.

La Figura 21A es una vista en perspectiva superior fragmentaria de un conjunto de sensores de sustrato de tela de capa única en el cual los hilos piezorresistivos tanto de fila como de columna superiores están dispuestos en ondas y sujetos al mismo lado de una única lámina de sustrato aislante.

55 La Figura 22A es un diagrama esquemático que muestra la cantidad de conductores de salida requeridos para medir la resistencia de elementos sensores individuales en un conjunto lineal.

La Figura 22B muestra elementos sensores que no necesitan estar en una disposición lineal.

La Figura 23 es un diagrama esquemático que muestra un número reducido de conductores de salida requeridos para direccionamiento de matriz de un conjunto de elementos sensores dispuestos en un conjunto de matriz.

60 La Figura 24 es un diagrama esquemático que muestra los elementos sensores del conjunto de la Figura 23 modificado para incluir una unión de diodos.

La Figura 25 es una vista en perspectiva superior de un aparato sensor de medición de fuerza que utiliza conjuntos de sensores de dos capas del tipo mostrado en la Figura 5.

La Figura 26 es un diagrama de bloque que muestra el conjunto de sensores de las Figuras 1 y 3 interconectados con procesamiento de señales y circuitos indicadores para comprender un sistema de medición de fuerza.

5 La Figura 27A es una vista en perspectiva de un calcetín que incorpora el conjunto de sensores de las Figuras 14-16 o 17-20.

La Figura 27B es una vista en corte transversal horizontal del calcetín de la Figura 27A.

La Figura 28 es un diagrama típico de resistencia eléctrica versus fuerza normal para sensores según la presente invención.

10 La Figura 29 es una vista parcialmente esquemática de una modificación preferida de elementos sensores del conjunto de la Figura 1, en la cual los elementos sensores del conjunto se han modificado para proporcionarles uniones PN de tipo diodo.

La Figura 30 es un diagrama de corriente versus tensión para los elementos sensores de la Figura 27.

15 La Figura 31 es una vista en perspectiva en despiece de otra realización de un conjunto de sensores de fuerza según la presente invención.

La Figura 32 es una vista en perspectiva del conjunto de sensores de la Figura 31.

La Figura 33 es una vista en perspectiva en despiece de componentes de otra realización de un conjunto de sensores de fuerza según la presente invención.

20 La Figura 34 es una vista en perspectiva del conjunto de sensores de la Figura 33.

Descripción de las realizaciones preferidas

La descripción entera de la patente de EE.UU. N.º 6.543.299 se incorpora a la presente descripción por referencia.

25 Las Figuras 1-34 ilustran diversos aspectos de conjuntos de sensores de fuerza de tela adaptables a distintas formas y elásticamente extensibles y procedimientos para fabricar los conjuntos según la presente invención.

En primer lugar, con referencia a las Figuras 1 y 2, se muestra una primera realización básica de tres capas de un conjunto de sensores de fuerza según la presente invención.

30

Como se muestra en las Figuras 1 y 2, un conjunto de sensores de fuerza de tres capas 30 según la presente invención incluye una pluralidad m de hilos 31-l a 31-m de fila, conductores, delgados, rectos y alargados y una pluralidad n de hilos 32-l a 32-n de columna, conductores, delgados, rectos y alargados.

35 Según la invención, los hilos de fila 31 y los hilos de columna 32 eléctricamente conductores consisten en un núcleo polimérico entretrejido o de monofilamento elásticamente extensible 31C, 32C, que ha sido tratado para hacer que los hilos sean eléctricamente conductores, sometiendo el núcleo a plateado para formar recubrimientos 31P, 32P sobre los núcleos 31C, 32C, respectivamente.

40 Un tipo de realización ejemplar de un conjunto de sensores 30 según la presente invención utilizó hilos conductores de fila y de columna 31, 32 hechos a partir de hilo de nilón sometido a plateado, 117/172 hebras, catálogo #A264, obtenido en LESS EMF, 809 Madison Avenue, Albany, Nueva York 12208, EE.UU. Ese hilo conductor tenía una resistividad lineal de alrededor de 75 ohmios por pie, y una extensibilidad elástica de alrededor de 1 por ciento, es decir, al menos 10 veces mayor que la de un alambre de acero inoxidable de un diámetro similar.

45

Un segundo tipo de realización ejemplar de un conjunto de sensores según la presente invención utiliza hilos conductores de fila y de columna fabricados a partir de hilado de nilón extensible plateado, teniendo el hilado plateado la designación Shieldex, ©Lycra dtex 20, obtenido en W.Zimmerman, GmbH & Co. K6, Riederstrasse 7, D-88171, Weiter-Simmerberg, Alemania. El hilo conductor tenía una resistividad lineal de alrededor de 500 ohmios por pie. La extensibilidad elástica de dicho hilado conductor es mayor de 30 por ciento, es decir, al menos 300 veces mayor que la de un alambre de acero inoxidable de un diámetro similar.

50

Como se muestra en las figuras 1 y 2, un hilo de fila 31 y un hilo de columna 32 se apoyan en planos paralelos pero están inclinados uno respecto del otro, tal como a un ángulo de noventa grados. En la realización ejemplar 30, los hilos conductores de fila 31 están sujetos a la superficie inferior 34 sobre una lámina de sustrato superior 33, y los hilos conductores de columna 32 están sujetos a la superficie superior 36 de una lámina de sustrato inferior 35.

55

Como se puede observar mejor con referencia a la Figura 2, el conjunto de sensores 30 incluye un laminado central delgado o lámina 37 hecho de un material piezorresistivo. Como se muestra en la Figura 2, las superficies exteriores opuestas que miran hacia adentro 38, 39 de los hilos conductores de fila y de columna entran en contacto tangencial

60

con las superficies superior e inferior 40, 41, respectivamente, de la lámina piezorresistiva central 37. Por lo tanto, como se muestra en las Figuras 1 y 2, cada punto de cruce o intersección de un hilo conductor de fila 31 y de un hilo conductor de columna 32 forma un elemento sensor piezorresistivo 48 que consiste en una pequeña porción de lámina piezorresistiva central 37 que entra en contacto eléctricamente conductor con un hilo conductor de fila y con un hilo conductor de columna.

En realizaciones ejemplares del conjunto de sensores 32, la lámina piezorresistiva 37 se fabricó recubriendo una lámina de tela de tipo Lycra delgada extensible, es decir, elásticamente extensible, con un material piezorresistivo. Una lámina de tela apropiada, que forma una matriz para sujetar el material piezorresistivo, era una tela conocida por la marca Platinum, Milliken, estilo #247579, obtenida del fabricante Milliken & Company, Spartanburg, Carolina del Sur, EE.UU. La tela tenía un contenido de fibra de 69 por ciento de nilón y 31 por ciento de Spandex, un recuento de hebras de alrededor de 88 hebras por pulgada, y un grosor de 0,010 pulgadas.

El material piezorresistivo utilizado para recubrir la matriz de tela se fabrica de la siguiente manera:

Una disolución de grafito, polvo de carbono, polvo de níquel y aglutinante acrílico se mezcla en proporciones según lo requerido para obtener la resistencia y propiedades piezorresistivas deseadas. Se utiliza escama de níquel revestida en plata para conseguir respuesta de fuerza en el intervalo de fuerza bajo de 0 a 1 psi, se utiliza grafito para el intervalo intermedio de 1 a 5 psi y se utiliza negro de humo de carbón vegetal para el intervalo de fuerza alto de 5 a 1.000 psi. A continuación se incluye una descripción de las sustancias que componen el material piezorresistivo:

Escama de níquel revestida en plata:

Plaquetas de aproximadamente un micrómetro de grosor y 5 micrómetros de diámetro.

Granulometría (Malla -325) 95 %.

Densidad aparente 2,8.

Microtrac d50/micrómetros 12-17.

Disponible en: Novamet Specialty Products Corporation,
681 Lawlins Road, Wyckoff, NJ 07481

Polvo de grafito:

Grafito sintético, AC-4722T

Disponible en: Anachemia Science

4-214 DeBaets Street

Winnipeg, MB R2J 3W6

Polvo de negro de humo de carbón vegetal:

Número de pieza Anachemia AC-2155

Disponible en: Anachemia Science

4-214 DeBaets Street

Winnipeg, MB R2J 3W6

Aglutinante acrílico:

Producto de acabado de suelo de alto rendimiento Staticide Acrylic

P/N 4000-1 Ph 8,4 a 9,0

Disponible en: Static Specialties Co. Ltd.

1371-4 Church Street

Bohemia, Nueva York 11716

A continuación se incluyen ejemplos de mezclas utilizadas para fabricar materiales piezorresistivos que tienen distintas sensibilidades:

Ejemplo I para fuerzas dentro del intervalo de 0 a 30 psi:

- 200 ml de aglutinante acrílico
- 10 ml de polvo de escamas de níquel
- 10 ml de polvo de grafito
- 20 ml de negro de carbono

Ejemplo II para fuerzas dentro del intervalo de 0-100 psi

- 200 ml de aglutinante acrílico
- 5 ml de polvo de escamas de níquel
- 5 ml de polvo de grafito

- 30 ml de negro de carbono

Ejemplo III para fuerzas dentro del intervalo de 0-1.000 psi

- 5 • 200 ml de aglutinante acrílico
 - 1 ml de polvo de escamas de níquel
 - 1 ml de polvo de grafito
 - 40 ml de negro de carbono
- 10 La matriz de tela para la lámina piezorresistiva 37 se sumerge en la mezcla de recubrimiento piezorresistiva. El material excedente se retira enrollando y la lámina se cuelga y se deja secar al aire.

Según la invención, las láminas de sustrato superior e inferior 33, 34 están hechas de un material aislante delgado y flexible, tal como poliuretano o policloruro de vinilo (PVC) de 0,002 pulgadas de grosor. Preferentemente, las láminas de sustrato 33, 34 están hechas de un material elastomérico que tiene un grado relativamente elevado de extensibilidad elástica, de modo que el conjunto de sensores 30 se extienda y se adapte con facilidad a la forma de la superficie de un objeto de forma irregular. No obstante, es posible apreciar que los hilos conductores 31, 32 también deberían ser elásticamente extensibles para facilitar la extensibilidad del conjunto de sensores 30. Esto se debe a que los hilos conductores 31, 32 se fijan a la lámina de sustrato 33, 34, respectivamente, mediante gotas de adhesivo 42, como se muestra en la Figura 2. La lámina piezorresistiva 37 también se fija a las láminas de sustrato superior e inferior 33, 34 mediante gotas de cola 42.

Las Figuras 6A-6C ilustran cómo la disposición de hilos conductores de fila y de columna 31, 32, en combinación con la capa piezorresistiva central 37 del conjunto de sensores 30 mostrada en las Figuras 1 y 2, forman elementos de detección de fuerza individuales 48. Cada elemento sensor de fuerza 48 está ubicado en el punto de cruce o intersección 49 de un hilo conductor de fila, p. ej., 31-1, 31-2, ... 31-m, con un hilo conductor de columna, p. ej., 32-1, 32-2, ... 32-n, para una matriz MXN de elementos sensores. Por lo tanto, los elementos sensores individuales se pueden identificar mediante la nomenclatura 48-XXX-YYY, donde XXX denota el número de filas e YYY denota el número de columnas.

30 Como se muestra en las Figuras 2 y 6A, sin fuerza externa aplicada en el conjunto de sensores 30, en cada punto de cruce 49 de un hilo conductor de fila 31 y un hilo conductor de columna 32 del conjunto de sensores 30, hay una región de contacto tangencial superior eléctricamente conductora 43 entre la capa piezorresistiva central 37 y el hilo de fila conductor superior, y una región de contacto tangencial inferior eléctricamente conductora 44 entre la capa piezorresistiva y el hilo conductor de columna inferior.

Sin fuerza externa aplicada al conjunto de sensores 30, la resistencia eléctrica entre un hilo conductor de fila 31 y un hilo conductor de columna 32, que consiste en la resistencia en serie de la región de contacto superior 43, la región de contacto inferior 44, y la resistencia efectiva del material piezorresistivo 45 de la capa piezorresistiva 37 entre las regiones de contacto superior e inferior es relativamente elevada. La resistencia relativamente elevada se produce por el hecho de que en este caso, las regiones de contacto tangencial 43 y 44 son relativamente pequeñas, y el grosor del volumen piezorresistivo no comprimido 45 está en su valor máximo. Sin embargo, como se muestra en las Figuras 6B y 6C, cuando el conjunto de sensores 30 está ubicado en una superficie de apoyo S y se aplica una fuerza normal N de magnitud creciente a la superficie superior 47 del conjunto de sensores 30, la resistencia eléctrica entre un hilo conductor de fila 31 y un hilo conductor de columna 32 disminuye, como se describirá a continuación.

Todavía con referencia a las Figuras 2 y 6A, es posible observar que sin fuerza externa aplicada al conjunto de sensores 30, las regiones de contacto tangencial 43, 44 entre los hilos conductores de fila y de columna 31, 32 y la capa piezorresistiva central 37 son relativamente pequeñas, puesto que los hilos tienen una forma transversal exterior circular, que entra en contacto tangencial con las superficies planas de la capa piezorresistiva. En estas circunstancias, los tamaños reducidos de las regiones de contacto 43, 44 producen una resistencia eléctrica relativamente elevada entre la capa piezorresistiva central 37 y los hilos conductores de fila y de columna 31, 32. Asimismo, con la capa piezorresistiva central 37 no comprimida, su grosor y, por ende, su resistencia están en un valor máximo.

55 Las Figuras 6B y 6C ilustran los efectos de las fuerzas normales externas o presiones crecientes ejercidas sobre el conjunto de sensores 30. Como se muestra en las Figuras 6B y 6C, el conjunto de sensores 30 está ubicado con su superficie inferior 46 apoyada sobre una superficie S y una fuerza N se ejerce perpendicularmente hacia abajo sobre la superficie superior 47 del conjunto, dando esto como resultado que la superficie de apoyo S ejerza una fuerza de reacción U hacia arriba sobre la superficie inferior 46 del conjunto. Puesto que la capa piezorresistiva central 37 es flexiblemente deformable, la fuerza compresora sobre ella disminuye el grosor T de la parte de la capa entre un hilo

conductor de fila 31 y un hilo conductor de columna 32. Esta reducción en la longitud de trayecto a través de la capa piezorresistiva 37 entre un hilo conductor de fila 31 y un hilo conductor de columna 32 hace que el valor de la resistencia eléctrica R entre los hilos disminuya.

- 5 Para valores moderados de fuerza normal N, como se muestra en la Figura 6B, la deformación flexible de la capa piezorresistiva central 37 es relativamente pequeña, produciendo una reducción relativa pequeña en la resistencia eléctrica R entre los hilos. Las fuerzas N mayores sobre el conjunto de sensores 30 producen una mayor deformación de la capa piezorresistiva central, como se muestra en la Figura 6C, dando como resultado un mayor porcentaje de reducción en la resistencia R. La Figura 7 ilustra de manera general la reducción de resistencia eléctrica cuantificable
10 entre un hilo conductor de fila 31 y un hilo conductor de columna 32, como una función de fuerza normal o presión ejercidas sobre el conjunto 30 en estos puntos.

Las Figuras 3 y 4 ilustran otra realización 50 de un conjunto de sensores de presión de hilos piezorresistivos según la presente invención, en el cual la capa piezorresistiva central mostrada en las Figuras 1 y 2 y descrita anteriormente
15 se reemplaza por un recubrimiento piezorresistivo en cualquiera de los hilos conductores de fila 51 o hilos conductores de columna 52, o preferentemente en ambos. El conjunto de sensores 50 es aparentemente similar al conjunto de sensores 20 descrito y mostrado en las Figuras 1 y 2 de la patente de EE.UU. N.º 6.543.299, pero difiere de dicho conjunto de sensores en rasgos importantes. Por ende, los hilos piezorresistivos de fila y de columna 51, 52 del conjunto de sensores 50 están hechos de núcleos poliméricos elásticamente extensibles 51C, 52C que se han tratado
20 con plateado para formar sobre los hilos recubrimientos eléctricamente conductores 51P, 52P, respectivamente. Los recubrimientos de cualquiera de los núcleos 51C, 52C o de ambos están revestidos por una capa 51R, 52R, respectivamente, de un material que tiene una característica piezorresistiva. Según la invención, el material piezorresistivo utilizado para formar las capas de revestimiento 51R, 52R sobre las superficies plateadas 51P, 52P de los núcleos 51C, 52C de los hilos conductores piezorresistivos 51, 52 pueden tener una composición similar a la
25 descrita anteriormente para fabricar la capa de lámina piezorresistiva 37.

Un procedimiento para fabricar los hilos de los sensores piezorresistivos revistiendo los hilos conductores con una capa de material piezorresistivo según la presente invención incluye preparar una suspensión de material piezorresistivo con una composición descrita en los ejemplos 1, 2 y 3 citados anteriormente. A continuación, un hilo
30 polimérico altamente conductor, tal como hilo de nilón plateado 117/172 hebras, Cat #124 disponible en LESS EMF Inc., 804 Madison Avenue, Albany, Nueva York 12208, se sumerge en un recipiente que contiene la suspensión, durante un periodo de alrededor de 10 segundos. El extremo de un hilo que se ha sumergido se retira del recipiente y, mientras está aún húmedo, se extrae a través de una abertura circular mediante una placa de raspar.

- 35 En una realización ejemplar, un hilo conductor que tiene un diámetro de núcleo de 0,25 mm y un diámetro recubierto-húmedo que oscila entre alrededor de 0,4 mm y 0,5 mm se extrajo mediante un raspador #360 con un diámetro de 0,45 mm, dando como resultado un diámetro raspado en húmedo de alrededor de 0,45 mm. A continuación, el hilo raspado se alimentó mediante una corriente de aire calentado a una temperatura de 70 grados C a una velocidad de desplazamiento lineal de 100 mm/minuto durante un periodo de 5 minutos, para de este modo formar un recubrimiento
40 solidificado que tiene un diámetro de alrededor de 0,4 mm.

Como se muestra en las Figuras 3 y 4, los hilos de fila y de columna piezorresistivos 51, 52 están sujetos a las láminas de sustrato superior e inferior 63, 65, mediante medios apropiados tales como gotas de adhesivo 74. Las láminas de sustrato 63, 64 están hechas de un material flexible y delgado tal como poliuretano elastomérico o policloruro de vinilo
45 (PVC) de 0,003 pulgadas de grosor que tiene un grado de elasticidad relativamente elevado.

Las Figuras 3 y 8A-8C ilustran cómo la disposición de hilos piezorresistivos de fila y de columna 51, 52 del conjunto de sensores 50 forma los elementos de detección de fuerza 69 individuales. En respuesta a fuerzas normales compresivas progresivamente mayores, las capas de revestimiento piezorresistivas 51R, 52R sobre los hilos de núcleo
50 conductores de fila y de columna 51C, 52C se comprimen progresivamente en formas transversales ovaladas de diámetro inferior. Por lo tanto, como se muestra en las Figuras 8A-8C, la resistencia eléctrica de cada elemento sensor 70 disminuye en proporción inversa a la presión aplicada, como se muestra en la Figura 7.

La Figura 5 ilustra una modificación 70 de los conjuntos de sensores mostrados en las Figuras 1 y 3 y descritos
55 anteriormente. El conjunto de sensores modificado 70 puede emplear, como alternativa, la construcción de tres capas del conjunto de sensores 30 mostrado en la Figura 1, o la construcción de dos capas del conjunto de sensores 50 mostrado en la Figura 3. La modificación consiste en fabricar el conjunto de sensores 70 con material eléctricamente aislante entre las filas y/o columnas adyacentes de los hilos conductores. Por lo tanto, por ejemplo, la modificación 70 del sensor de dos capas 50 mostrado en la Figura 3 incluye hilos aislantes alargados 71, hechos por ejemplo de
60 poliéster de 0,012 pulgadas de diámetro dispuestos entre cada par de hilos conductores de fila adyacentes 51 y cada

par de hilos conductores de columna adyacentes 52.

Los hilos aislantes 71 se aseguran en su sitio mediante cualquier medio apropiado, tal como la unión con adhesivo de los hilos a las láminas de sustrato 63, 65 (véanse las Figuras 2 y 4). Esta construcción permite que el conjunto de sensores 70 esté sustancialmente arrugado o deformado de otro modo para adaptarse a la forma de una superficie de forma irregular, sin la posibilidad de que los pares de hilos conductores de fila o de columna adyacentes 51 o 52 entren en contacto entre sí para, de este modo, producir un cortocircuito eléctrico, lo cual daría como resultado mediciones de resistencia y determinaciones de fuerza de elementos sensores erróneas. Como opción, el aislamiento entre los pares adyacentes de hilos conductores de fila y de columna se podría aplicar pulverizando suavemente una pintura acrílica aislante en aerosol para mantener los hilos conductores en su sitio.

Las Figuras 9-12 ilustran una realización de tres capas 80 de un conjunto de sensores de fuerza de hilos piezorresistivos según la presente invención. El conjunto de sensores 80 es similar a la realización básica 30 del conjunto de sensores mostrado en las Figuras 1-2 y descrito anteriormente. Sin embargo, el conjunto de sensores 80 utiliza láminas de sustrato superior e inferior 83, 85 que están hechas de tela entretejida en vez de películas poliméricas. Esta construcción, en conjunto con el uso de los hilos conductores extensibles de fila y de columna 81, 82 hechos de núcleos plateados de nilón o Lycra da como resultado un conjunto de sensores que es incluso más flexible, elásticamente extensible y amoldable que el conjunto de sensores 30.

Como se puede observar mejor con referencia a la Figura 10, el conjunto de sensores 80 incluye una pluralidad de hilos conductores de fila 81 espaciados lateralmente que se sujetan a la superficie inferior 84 de la lámina de sustrato de tela superior 83. Los hilos conductores de fila 81 están sujetos a la superficie inferior 84 de la lámina de sustrato superior 83 mediante cualquier medio apropiado. En una realización preferida, como se muestra en la Figura 10, cada hilo conductor de fila 81 está sujeto a una lámina de sustrato cosiendo el hilo a la lámina de sustrato de tela 83 con un hilo no conductor 90 de diámetro inferior formando un patrón de costura de zigzag alargado. En una realización ejemplar, los hilos 90 consistían en un hilo entretejido de poliéster 100 % de 0,005-0,010 pulgadas de diámetro. Para conseguir una fuerza mayor requerida para conjuntos de sensores utilizados para medir fuerzas mayores, opcionalmente los hilos 90 pueden ser monofilamentos.

En una realización ejemplar de un conjunto de sensores 80 según la presente invención, las láminas de sustrato superior e inferior 83, 85 estaban hechas de una tela elásticamente extensible ligera, las dos telas que se indican a continuación se analizaron y se determinaron apropiadas para las láminas de sustrato 83, 85. (1) Milliken marca «Millglass», estilo #247579, compuesta de nilón 69 %, spandex 31 %, y con un peso de 1,8 oz/yd². (2) Milliken marca «Interlude», producto #247211, compuesta por nilón 82 %, Lycra 18 %, y con un peso de 3,2-3,4 oz/yd². Las dos telas antes mencionadas están disponibles en Milliken & Company, 23 Fiddler's Way, Lafayette, NJ 07848.

Como se muestra en la Figura 11, los hilos conductores de columna inferiores 82 están sujetos a la superficie superior 86 de la lámina de sustrato de tela inferior 85 mediante hilos no conductores 91 del mismo tipo que los hilos no conductores 90 y con el mismo patrón de costura en zigzag.

Como se muestra en las Figuras 9 y 12, el conjunto de sensores 80 de sustrato de tela de tres capas incluye una lámina piezorresistiva central 87, que puede tener una composición y construcción similar a la de la lámina piezorresistiva central 37 del conjunto de sensores 30 descrito anteriormente.

Como se puede observar mejor con referencia a la Figura 13B, los hilos piezorresistivos 101 de fila superiores están sujetos a la superficie inferior 114 de la lámina de sustrato de tela superior 113 aislando hilos cosidos 90 dispuestos en puntadas con un patrón de zigzag. De manera similar, los hilos piezorresistivos de columna 102 están sujetos a la superficie superior 116 de la lámina de sustrato inferior 115 mediante hilos cosidos 91 dispuestos en puntadas con un patrón de zigzag.

Las Figuras 13A y 13B ilustran otra realización de dos capas 100 de un conjunto de sensores de fuerza de hilos piezorresistivos según la presente invención. El conjunto de sensores 100 es similar al conjunto de sensores 80. Sin embargo, en un conjunto de sensores 100, los hilos conductores de fila y de columna 81, 82 son reemplazados por hilos piezorresistivos 101, 102 que tienen las mismas características que los hilos piezorresistivos 51, 52 del conjunto de sensores 50 de sustrato de película polimérica de dos capas mostrado en las Figuras 3 y 4 y descrito anteriormente. Esta construcción elimina el requisito de la lámina piezorresistiva central 87 del conjunto de sensores 80 de tela de tres capas descrito anteriormente.

Las Figuras 14-16 ilustran una quinta realización de capa única 120 de un conjunto de sensores de fuerza en el cual los hilos piezorresistivos de fila y de columna están sujetos a un único lado de una única lámina de sustrato 127 de

tela aislante.

- Como se muestra en las Figuras 14-16, el conjunto de sensores de fuerza 120 de tela de capa única tiene una única lámina de sustrato 127 que está hecha de una tela elásticamente extensible y ligera. Las dos telas que se mencionan a continuación se incluyeron y se encontraron apropiadas para fabricar la lámina de sustrato 127. (1) Milliken marca «Millglass», estilo #247579, compuesta de nilón 69 %, spandex 31 %, y con un peso de 1,8 oz/yd², y (2) Milliken marca «Interlude», producto #247211, compuesta por nilón 82 %, Lycra 18 %, y con un peso de 3,2-3,4 oz/yd². Las dos telas antes mencionadas están disponibles en Milliken & Company.
- 10 Una pluralidad de hilos piezorresistivos de columna 122 espaciados lateralmente y paralelos están sujetos a la superficie superior 130 de la lámina de sustrato. Los hilos piezorresistivos de columna están hechos de hilo de nilón plateado catálogo #A-264 obtenido en LESS EMF, o preferentemente de hilado de nilón extensible plateado, ambos descritos en detalle anteriormente junto con la descripción del conjunto de sensores 30.
- 15 En una realización preferida del conjunto de sensores 120 de lámina de sustrato de tela única, cada hilo piezorresistivo de columna 122 está sujeto a la lámina de sustrato 127 mediante un hilo no conductor 91 de diámetro inferior formando un patrón de costura en zigzag alargado. En una realización ejemplar, los hilos 91 consistían en poliéster 100 % de 0,005-0,010 pulgadas de diámetro. Como se muestra en las Figuras 14, 15 y 16, el conjunto de sensores 120 incluye una pluralidad de hilos de fila piezorresistivos 121 espaciados lateralmente que también están sujetos a la superficie superior 130 de la lámina de sustrato 127. Como se muestra en la Figura 16, los hilos piezorresistivos de fila m 121 están sujetos a la lámina de sustrato 127 mediante hilos no conductores 90 del mismo tipo que los hilos 91 y con el mismo patrón de costura en zigzag.

- Como se muestra en la Figura 16, la superficie exterior opuesta que mira hacia adentro 128, 129 de los hilos piezorresistivos de fila y de columna 121, 122 entran en contacto tangencial entre sí. Por lo tanto, como se muestra en las Figuras 14-16, cada cruce de un hilo piezorresistivo de fila 121 con un hilo piezorresistivo de columna 122 forma un elemento sensor piezorresistivo 138 que consiste en una pequeña porción de recubrimientos piezorresistivos de un hilo piezorresistivo de fila y de columna que están en contacto tangencial entre sí.
- 30 La Figura 17 ilustra una modificación de los conjuntos de sensores de fuerza que utiliza láminas de sustrato de tela mostradas en las Figuras 9, 13 o 14 y descritas anteriormente. Como se muestra en la Figura 17, una lámina de sustrato 145 de tela inferior del conjunto de sensores de fuerza modificado 140 tiene sujetos a ella hilos piezorresistivos 142 conductores de columna inferiores dispuestos en ondas respecto de líneas de base rectas paralelas entre extremos opuestos de cada hilo, en vez de estar apoyados directamente sobre las líneas de base, como lo están los hilos conductores de columna 82 del conjunto de sensores 80 mostrado en la Figura 11. Con esta disposición, la lámina de sustrato de tela inferior 145 es incluso más fácilmente extensible de manera elástica en direcciones paralelas a las líneas de base del hilo de columna puesto que los puntos espaciados longitudinalmente sobre la lámina de sustrato de tela no están limitados con longitudes máximas por los hilos conductores menos elásticamente extensibles. Por lo tanto, la extensibilidad de la lámina de sustrato de columna 145 únicamente está limitada por su extensibilidad intrínseca puesto que la disposición de los hilos conductores de columna 142 les permite adaptarse fácilmente al tamaño de la lámina de sustrato variando la separación entre picos y valles de los hilos conductores ondulados, es decir, alterando las longitudes de onda espaciales de las ondas formadas por los hilos.

- De manera opcional, los hilos piezorresistivos de fila superiores 141 también pueden estar dispuestos en ondas del mismo modo que los hilos piezorresistivos de columna inferiores mostrados en la Figura 17, para de esta forma potenciar la flexibilidad elástica, o la extensibilidad del conjunto de sensores 140 es en dirección paralela a los hilos conductores de fila así como en dirección paralela a los hilos piezorresistivos de columna. Asimismo, cualquiera de los hilos conductores de fila y de columna de los conjuntos de sensores de tres capas, o ambos, tales como los del tipo que se muestra en la Figura 1 pueden estar dispuestos en ondas para proporcionar extensibilidad uniaxial o biaxial potenciada.

- Las Figuras 18-21 ilustran otra modificación 180 del conjunto de sensores 120 de lámina de sustrato de tela única de la Figura 14. El conjunto de sensores 180 tiene hilos conductores de fila superiores 181 e hilos conductores de columna inferiores 182 que están dispuestos en ondas en lados opuestos de una lámina de sustrato central piezorresistiva 187. Esta construcción proporciona al conjunto 180 mayor elasticidad en direcciones paralelas a los hilos conductores de columna 182 así como en direcciones paralelas a los hilos conductores de fila 181.

- La Figura 21A ilustra otra modificación 200, donde los hilos piezorresistivos de fila y de columna 201, 202 están dispuestos en ondas y sujetos a la superficie superior 211 de una lámina de sustrato aislante 210, de la manera que se muestra en la Figura 16.

- La Figura 22A ilustra la cantidad de conexiones conductoras requeridas para medir la resistencia de elementos individuales de un conjunto lineal de elementos sensores para, de este modo, determinar valores numéricos de fuerza o presión ejercidas sobre cada elemento sensor. Como se muestra en la Figura 22A un conductor de salida común único C se conecta a un conjunto lineal de conductores de salida L_1 a L_n que lo cruzan para formar una pluralidad de elementos sensores S_1 a S_n , mediante material piezorresistivo en cada punto de intersección. Por lo tanto, para un total de n sensores S , se requieren un total R igual a $n + 1$ conductores de salida para medir la resistencia individual de cada elemento sensor S_1 a S_n y por ende determinar las fuerzas F_1 a F_n ejercidas sobre cada elemento sensor individual.
- La Figura 22B muestra una pluralidad de elementos sensores S_{n+1} , S_{n+2} , S_{n+3} que no están necesariamente dispuestos en un conjunto lineal, estando ubicados, por ejemplo, en puntas de dedo individuales. Como se muestra en la Figura 22B, también se requieren $n+1$ conductores de salida para esta configuración.
- La Figura 7 ilustra la resistencia eléctrica de un elemento sensor de fuerza piezorresistivo de una pulgada cuadrada 48 utilizando una lámina piezorresistiva 37 que tiene la formulación expresada para un conjunto de sensores ejemplar 30 mostrado en las Figuras 1 y 2, y fabricado como se describe anteriormente, como una función de fuerza normal o presión ejercidas sobre la superficie superior 47 de la lámina de sustrato superior 33 del conjunto de sensores 30. Como se muestra en la Figura 7, la resistencia varía inversamente como una función de fuerza normal.
- Como se muestra en la Figura 1, los hilos conductores de fila 31-l a 31-m, en alineación vertical con los hilos conductores de columna 32-l a 32-n forman con la lámina de capa piezorresistiva 37 entre los hilos conductores de columna y de fila un conjunto de matriz rectangular $m \times n$ de elementos de fuerza 48 $m \times n$.
- Si las conexiones eléctricas superiores e inferiores a cada elemento sensor 48 estuvieran aisladas eléctricamente de las conexiones con cada uno de los otros elementos sensores, se requeriría un par separado de conductores de salida para cada uno de los sensores, es decir, un total de conductores de salida $2Q$ para elementos sensores Q o, si se utilizara un conductor de salida común único como se muestra en la Figura 22, se requeriría un total de $Q + 1$ conductores de salida.
- Preferentemente, como se muestra en la Figura 1, el conjunto de sensores 30 está dispuesto en una matriz de filas m y columnas n , requiriendo, de este modo, únicamente $R = m \times n$ conductores de salida. Sin embargo, como se muestra en la Figura 23, si el direccionamiento de matriz del conjunto de sensores 30 se utiliza para medir la resistencia de los sensores individuales 48 para, de este modo, determinar las fuerzas normales ejercidas sobre los sensores, existe una cantidad sustancial de interferencia entre la resistencia sobre un sensor direccionado 48 y sensores no seleccionados debido a trayectos de corriente paralelos a sensores no direccionados. Para superar este problema de interferencia, el autor de la presente invención ha desarrollado un procedimiento para modificar los sensores 48 para proporcionarles una característica de tipo diodo. Como se puede confirmar refiriéndose a la Figura 24, la interferencia entre los elementos sensores 40 que tienen una función de transferencia sensible a la polaridad, no bilateral mitiga el problema de interferencia presente en la matriz de los sensores simétricamente conductores 48 mostrados en la Figura 23.
- Los elementos sensores 48 están modificados para tener una característica de tipo diodo modificando la preparación de la lámina de capa piezorresistiva 37, de la siguiente forma: En primer lugar, una lámina de capa piezorresistiva 37 se prepara mediante el proceso descrito anteriormente. A continuación, o bien la superficie superior 40 o la superficie inferior 41 del recubrimiento piezorresistivo 37A de la lámina piezorresistiva 37 se modifica para formar sobre ellas una unión PN de tipo semiconductor.
- La modificación del recubrimiento piezorresistivo 37A para formar una unión PN se lleva a cabo, en primer lugar, preparando una suspensión que tiene la composición de una de las tres mezclas ejemplares descritas anteriormente, pero modificadas por la adición a cada una de 5 ml de óxido de cobre (CuO) en forma de polvo fino de tamaño de partícula de 50 micrómetros, y 5 ml de óxido cuproso (Cu_2O) en forma de polvo fino de tamaño de partícula de 50 micrómetros y mezclando por agitación y por completo los ingredientes mencionados. A continuación, la disolución resultante se reduce utilizando aproximadamente 30 mg de disolución de borohidruro de sodio, también conocido como tetrahidrobato de sodio ($NaBH_4$) o fosfato de amonio, para formar una disolución que tiene un pH de alrededor de 5,5. Seguidamente, la disolución se esparce sobre la superficie superior 40 o superficie inferior 41 del recubrimiento piezorresistivo 37B sobre la lámina piezorresistiva 37. Este proceso de recubrimiento se lleva a cabo mediante un proceso de recubrimiento con rodillo que da como resultado una aplicación de alrededor de 0,5 ml de disolución por centímetro cuadrado. A continuación, el recubrimiento superficial se deja secar al aire a temperatura ambiente y a una humedad relativa de menos de 20 % durante 4 horas. Después de que la superficie recubierta se ha secado, funciona

como un semiconductor de tipo P, mientras que el lado no recubierto del recubrimiento 37B funciona como un semiconductor de tipo N del diodo de la unión PN.

La Figura 29 ilustra un elemento sensor 48 que ha sido preparado como se describe anteriormente para proporcionar al sensor una característica de tipo diodo, y un circuito para obtener la función de transferencia I-V (corriente versus tensión) del sensor. La Figura 30 muestra una curva típica I-V para los elementos sensores 48 de la Figura 29.

Como se indica más arriba, la ventaja de modificar los elementos sensores 48 del conjunto de sensores 30 añadiendo una capa semiconductor que actúa como un diodo es que reduce la interferencia entre los sensores. Como se muestra en la Figura 23, esta interferencia se produce por el fenómeno denominado «completar el cuadrado», en el cual se hacen tres conexiones en un conjunto de matriz cuadrada de tres resistores no direccionados que forman las tres esquinas de un cuadrado. Por lo tanto, cualquiera de dos conexiones en una columna vertical y una tercera conexión en la misma función de fila como cualquier conexión en una matriz X-Y de conductores. El resistor en la cuarta esquina del cuadrado aparece translúcido en paralelo con un resistor direccionado puesto que la corriente puede viajar hacia atrás a través de ese resistor y hacia adelante a través de los otros resistores. Se han de tener en cuenta el cuidado y el coste adicional en términos de electrónica para eliminar el aporte de este resistor translúcido. Por ejemplo, si, como se muestra en la Figura 23, se aplica una V potencial entre los conductores de fila y de columna X_1Y_1 , para de este modo determinar la resistencia de la resistencia del sensor piezorresistivo R_{11} , el flujo de corriente inversa a través del resistor «translúcido» R_{22} haría que la suma de resistencias $R_{12} + R_{22} + R_{21}$ derivara R_{11} , dando como resultado los trayectos de flujo de corriente paralelos indicados por las flechas de la Figura 23, lo cual a su vez produciría el siguiente valor de resistencia incorrecto: $R_{x_1y_1} = R_{11} / ((R_{12} + [R_{22}] + R_{21}))$, $R_{x_1y_1} = R_{11}(R_{12} + [R_{22}] + R_{21}) / (R_{11} + R_{12} + [R_{22}] + R_{21})$,

donde los paréntesis que encierran un valor de resistencia indican flujo de corriente en una dirección contraria a las agujas del reloj a través de dicho resistor, en vez de en el sentido de las agujas del reloj, es decir, diagonalmente hacia abajo y hacia la izquierda. Por lo tanto, por ejemplo, si cada una de las cuatro resistencias mencionadas anteriormente tuvieran un valor de 10 ohmios, el valor medido de R_{11} sería: $R_{11} = 10(10+10+10)/(10+10+10+10) = 300/40 = 7,5$ ohmios,

es decir, 25 % por debajo del valor real, 10 ohmios, de R_{11} . Si los valores de resistencia de R_{12} , R_{22} y R_{21} de los tres elementos sensores piezorresistivos no direccionados 48 fueran inferiores, p. ej., 1 ohmio, debido a fuerzas mayores concentradas en dichos elementos sensores 48, el valor medido de R_{11} sería: $R_{11} = 10(1+1+1)/(10+1+1+1) = 30/13 = 2,31$ ohmios,

es decir, un valor de alrededor de 77 por ciento por debajo del valor real de R_{11} .

Por otra parte, colocando un diodo en serie con cada elemento sensor piezorresistivo 48, como se muestra en la Figura 24, la resistencia eléctrica de un elemento medida en una dirección inversa, contraria a las agujas del reloj un flujo de corriente de prueba a través del elemento sensor, p. ej., R_{22} , sería con fines prácticos arbitrariamente grande, o infinita en comparación con los trayectos de corriente hacia adelante en sentido de las agujas del reloj a través de las otras resistencias mostradas en las Figuras 23 y 24. En este caso, el valor de resistencia medido para una matriz 2X2 de cuatro resistencias cada una con un valor de 10 ohmios sería: $R_{x_1y_1} = 10(1+\infty+1)/(10+1+\infty+1) = 10$ ohmios,

el valor correcto.

Por lo tanto, modificar cada elemento sensor 48 para incluir una unión PN y, de este modo, proporcionar al elemento sensor una característica de tipo diodo aísla eléctricamente, es decir, evita el flujo de corriente hacia atrás, a través de cada elemento sensor 48. Esto permite que el valor correcto de resistencia eléctrica de cada elemento sensor 48 y, por ende, las fuerzas ejercidas sobre ellos se midan con precisión $R_{x_1y_1}$ utilizando direccionamiento de matriz de fila y de columna en vez de requiriendo un par separado de conductores para cada elemento sensor.

La Figura 25 ilustra un aparato medidor de fuerza 150 según la presente invención. El aparato puede utilizar cualquiera de los tipos de conjuntos de sensores descritos anteriormente, pero en un ejemplo particular mostrado en la Figura 25 utiliza un conjunto de sensores 70 del tipo mostrado en la Figura 5.

Como se muestra en la Figura 25, el aparato medidor de fuerza 150 utilizó cuatro conjuntos de sensores 70-1, 70-2,

70-3 y 70-4, teniendo cada uno una matriz de 16 hilos conductores de fila por 16 hilos conductores de columna. Los cuatro conjuntos están dispuestos en una matriz cuadrada, para de este modo formar un conjunto de sensores compuesto 70-C que consiste en 32 filas X 32 columnas de hilos conductores que formaron en su intersección $32 \times 32 = 1.024$ elementos sensores 88. Como se muestra en la Figura 25, cada uno de los 32 cables de salida de hilo conductor de fila y cada una de las 32 conexiones de salida de hilo conductor de columna están conectados a una clavija de conexión separada eléctricamente conductora de una pluralidad de clavijas de conexión 154-1 a 154-64 de un par de conectores de interfaz eléctrica 153-1, 153-2.

La Figura 26 ilustra un sistema de medición de fuerza 160 que utiliza el aparato sensor de fuerza 150 descrito anteriormente.

Como se muestra en la Figura 26, el sistema de medición de fuerza 160 incluye un ordenador 161 que está acoplado bidireccionalmente al conjunto de sensores de fuerza 70 del aparato sensor de fuerza 160 a través de un módulo de interfaz 162 de sensor de fuerza. El módulo de interfaz 162 de sensor incluye un convertor de señal digital a analógica (DAC) 163 para generar en respuesta a señales de control desde el ordenador 161 tensiones o corrientes de prueba que se dirigen a sensores de fuerza 88 individuales direccionados a matriz.

Como se muestra en la Figura 26, los elementos sensores de fuerza individuales 88 se direccionan conectando un terminal de una fuente de corriente o tensión controlada por el DAC 163 a un conductor de fila X seleccionado de 51-l a 51-m mediante un multiplexor X 164, y conectando el otro terminal de la fuente a un conductor de columna Y seleccionado de 52-l a 52-m mediante un multiplexor Y 165. El módulo de interfaz 162 de sensor también incluía un convertor de señal analógica a digital (ADC) 166 que mide la caída de tensión o corriente mediante un elemento sensor 88 que resulta de la aplicación de una corriente o tensión de prueba, e introduce el valor medido en el ordenador 161. Utilizando los factores de escala predeterminados, el ordenador 161 calcula el valor instantáneo de resistencia eléctrica de un elemento sensor direccionado seleccionado 88, y a partir de dicho valor de resistencia, una fuerza normal correspondiente ejercida de manera instantánea sobre el sensor direccionado.

En respuesta a las señales de control emitidas cíclicamente por el ordenador 161, el multiplexor X 164 y el multiplexor Y 165 se utilizan para medir cíclicamente la resistencia de cada elemento sensor de fuerza 88, a una velocidad relativamente elevada de, por ejemplo, 3.000 muestras por segundo, permitiendo que el ordenador 161 calcule la fuerza ejercida sobre cada elemento sensor de fuerza 88 a dicha velocidad de muestreo.

El sistema de medición 160 incluye un bloque de interfaz de operador 167 que permite que los valores de fuerza o presiones medidos por los elementos sensores 88 se muestren como valores numéricos y/o un gráfico o mapa de presión/fuerza en la pantalla de un monitor de ordenador 168, o que se exporten a un dispositivo periférico tal como una impresora, o una red tal como Internet, mediante un bloque I/O 169.

Las Figuras 27A y 27B ilustran un calcetín 170 que incluye uno de los conjuntos de sensores novedosos que emplean hilos conductores descritos anteriormente, tal como el conjunto de sensores de hilos piezorresistivos de sustrato de tela de capa única mostrado en las Figuras 14-16 o 17-20. Como se muestra en la Figura 17, el calcetín 170 que incluye un conjunto de sensores de fuerza 180 de tela de capa única que es una modificación del conjunto de sensores de fuerza plano 120 mostrado en las Figuras 14-16 y descrito anteriormente. La modificación del conjunto de sensores de fuerza 120 para formar el conjunto de sensores de fuerza 180 se puede visualizar mejor teniendo en cuenta que los bordes del lado izquierdo y derecho del conjunto 120 se proyectan hacia arriba desde el plano de la página para encontrarse y formar un tubo cilíndrico hueco.

A continuación, los hilos conductores de fila 121 que sobresalen de los bordes alineados del conjunto se sujetan de manera eléctricamente conductora a un primer cable plano 181 conductor de fila. Los hilos conductores de columna que sobresalen de un borde del conjunto enrollado se sujetan de manera eléctricamente conductora a un segundo cable plano 182 conductor de columna. Los extremos exteriores 183, 184 que sobresalen de un borde del conjunto 120 están eléctricamente conectados a un circuito de medición de resistencia como se muestra en la Figura 26 y se describe anteriormente.

Las Figuras 31-34 ilustran las modificaciones de los conjuntos de sensores de fuerza de sustrato de tela que utilizan hilos conductores según la presente invención, en los cuales los hilos conductores se fijan a una lámina de sustrato de tela sin el uso de costuras mediante adhesivo aplicado directamente a un hilo conductor. Por lo tanto, un primer conjunto de sensores 190 de tela de tres capas incluye una pluralidad de hilos elásticos conductores de fila espaciados y paralelos 191 que se unen mediante adhesivo a la superficie inferior 194 de una lámina de sustrato 193 de tela extensible superior hecha de poliéster de 3 mil de grosor de cualquiera de las dos telas Milliken descritas anteriormente. El conjunto de sensores 190 también incluye una pluralidad de hilos elásticos conductores de columna

espaciados y paralelos 192 que se unen mediante adhesivo a una superficie superior 196 de una lámina de sustrato 195 de tela extensible inferior. Una lámina delgada de tela extensible preparada para proporcionarle una propiedad piezorresistiva de la manera descrita más arriba comprende una capa piezorresistiva central 197 que se posiciona entre los hilos conductores de fila y de columna 191, 192. A continuación, las tres capas mencionadas se apilan una encima de la otra y se inyectan puntos de cola a través de las aberturas de la malla del sustrato de tela de las tres capas para adherirlas entre sí y, por ende, formar un conjunto de sensores completo 190.

El conjunto de sensores 200, mostrado en la Figura 33, utiliza una lámina de sustrato única 207. Los hilos conductores de fila y de columna 191, 192, separados por los hilos aislantes 210, 211, se adhieren a la superficie superior 212 y a la superficie inferior 213 de la lámina 207 mediante tiras de cinta de doble cara 213, 214.

REIVINDICACIONES

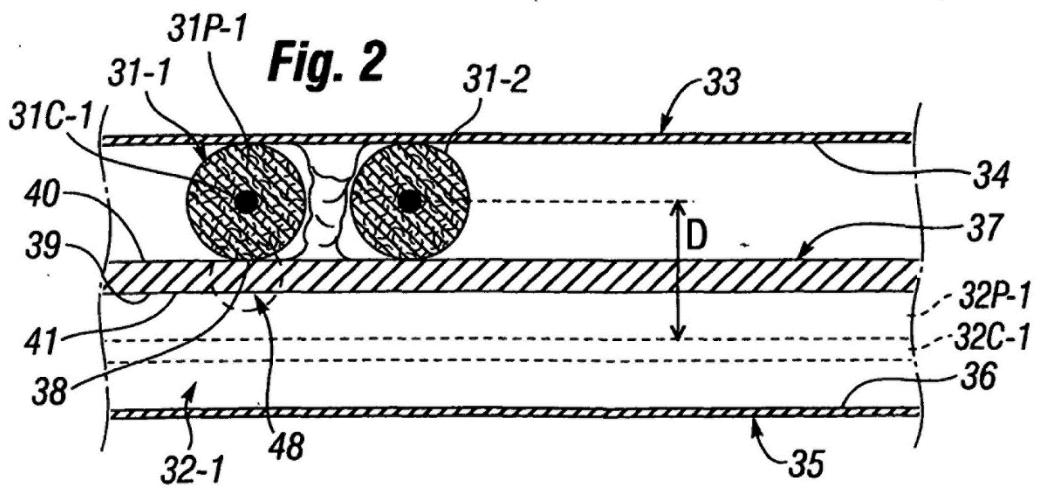
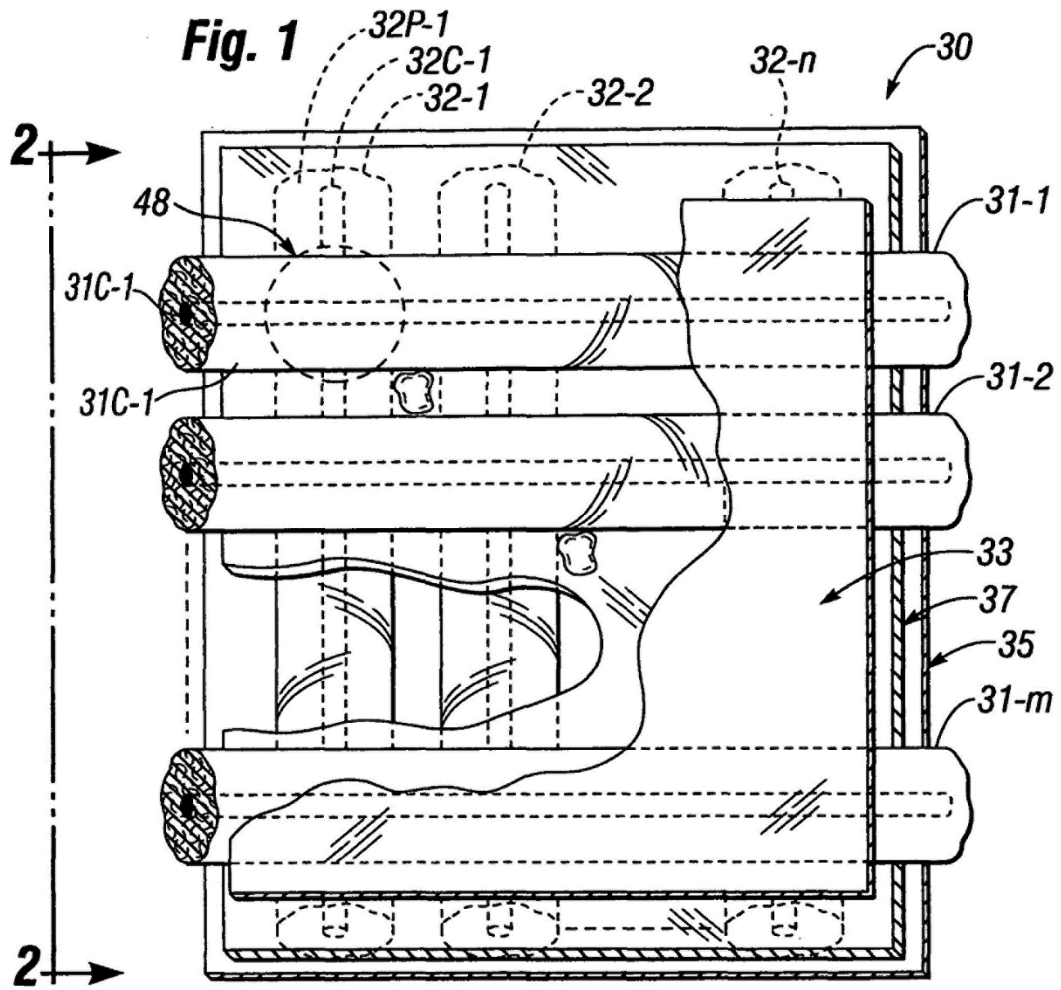
1. Un transductor de detección de fuerza (30, 50, 70, 80, 120, 140, 180, 190, 200) para medir fuerza ejercida sobre él, comprendiendo dicho transductor:
- 5
- a. un hilo de fila eléctricamente conductor, elásticamente extensible y alargado,
 - b. un hilo de columna eléctricamente conductor, elásticamente extensible y alargado,
 - c. un material piezorresistivo ubicado entre, y en contacto eléctricamente conductor con, dichos hilos de fila y de columna; **caracterizado porque**
- 10 d. estando dicho material piezorresistivo contenido en una lámina de sustrato de centro piezorresistivo elásticamente deformable (37, 87, 197) ubicado entre dicho hilo de fila conductor y dicho hilo de columna conductor y puesto en contacto con dicho hilo de fila conductor, y puesto en contacto con dicho hilo de columna conductor.
2. El transductor de detección de fuerza (30, 50, 70, 80, 120, 140, 180, 190, 200) de la reivindicación 1
- 15 donde al menos uno de dichos hilos conductores de fila y de columna tiene sobre sí un centro piezorresistivo elásticamente deformable.
3. El transductor de detección de fuerza de la reivindicación 1 donde dicha lámina de sustrato de centro elásticamente deformable (37, 87, 197) está hecha de una tela entretejida impregnada con una sustancia
- 20 piezorresistiva.
4. El transductor de detección de fuerza (30, 50, 70, 80, 120, 140, 180, 190, 200) de la reivindicación 1 donde la extensibilidad elástica de al menos cualquiera de dichos hilos conductores de fila y de columna es al menos
- 25 alrededor de 1 por ciento.
5. El transductor de detección de fuerza (30, 50, 70, 80, 120, 140, 180, 190, 200) de la reivindicación 4 donde al menos cualquiera de dichos hilos conductores de fila y de columna tiene un núcleo polimérico, y dicho núcleo polimérico tiene forma de o bien un hilo o un hilado.
- 30 6. El transductor de detección de fuerza (30, 50, 70, 80, 120, 140, 180, 190, 200) de la reivindicación 5 donde dicho núcleo polimérico ha formado sobre sí un recubrimiento eléctricamente conductor, y dicho recubrimiento eléctricamente conductor ha formado sobre sí un recubrimiento piezorresistivo.
7. El transductor de detección de fuerza (30, 50, 70, 80, 120, 140, 180, 190, 200) de la reivindicación 5
- 35 donde dicho núcleo polimérico ha formado sobre sí un recubrimiento piezorresistivo.
8. El transductor de detección de fuerza (30, 50, 70, 80, 120, 140, 180, 190, 200) de la reivindicación 1 donde la extensibilidad elástica de al menos cualquiera de dichos hilos conductores de fila y de columna es al menos
- 40 alrededor de 10 por ciento.
9. El transductor de detección de fuerza (30, 50, 70, 80, 120, 140, 180, 190, 200) de la reivindicación 1 donde la extensibilidad elástica de al menos cualquiera de dichos hilos conductores de fila y de columna es al menos
- 45 alrededor de 30 por ciento.
10. El transductor de detección de fuerza (30, 50, 70, 80, 120, 140, 180, 190, 200) de la reivindicación 2 donde dichos hilos de fila y de columna están sujetos a lados que miran hacia adentro de un par de láminas de sustrato exterior elásticamente deformables.
11. El transductor de detección de fuerza (30, 50, 70, 80, 120, 140, 180, 190, 200) de la reivindicación 10
- 50 donde al menos una de dichas láminas exteriores de sustrato está hecha de una tela entretejida, y donde al menos uno de dichos hilos conductores de fila y de columna está sujeto a al menos una de dichas láminas de sustrato mediante un hilo aislante cosido.
12. El transductor de detección (30, 50, 70, 80, 120, 140, 180, 190, 200) de la reivindicación 2 donde dichos
- 55 hilos conductores de fila y de columna están sujetos a una cara de una lámina de sustrato exterior elásticamente deformable y aislante hecha de tela entretejida, donde al menos uno de dichos hilos conductores de fila y de columna está sujeto a dicha lámina de sustrato exterior mediante un hilo aislante cosido.
13. El transductor de detección de fuerza (30, 50, 70, 80, 120, 140, 180, 190, 200) de la reivindicación 3
- 60 donde dichos hilos de fila y de columna están sujetos a superficies planas opuestas de dicha lámina de sustrato de

centro piezorresistivo (37, 87, 197).

14. El transductor de detección de fuerza (30, 50, 70, 80, 120, 140, 180, 190, 200) de la reivindicación 1 donde al menos cualquiera de dichos hilos conductores de fila y de columna está colocado en una vía que está dispuesta en ondas respecto de una línea que une el primer y segundo extremo de dicho hilo.

15. El transductor de detección de fuerza (30, 50, 70, 80, 120, 140, 180, 190, 200) de la reivindicación 1 donde al menos cualquiera de dichos hilos conductores de fila y de columna está hecho a partir de un polímero seleccionado de entre el grupo que consiste en hilo de monofilamento, hilo entretejido e hilado entretejido.

10



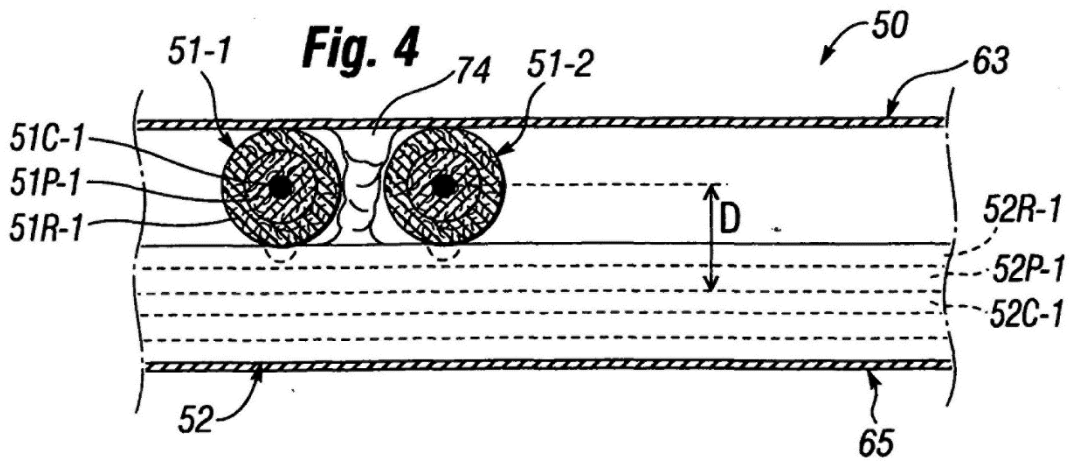
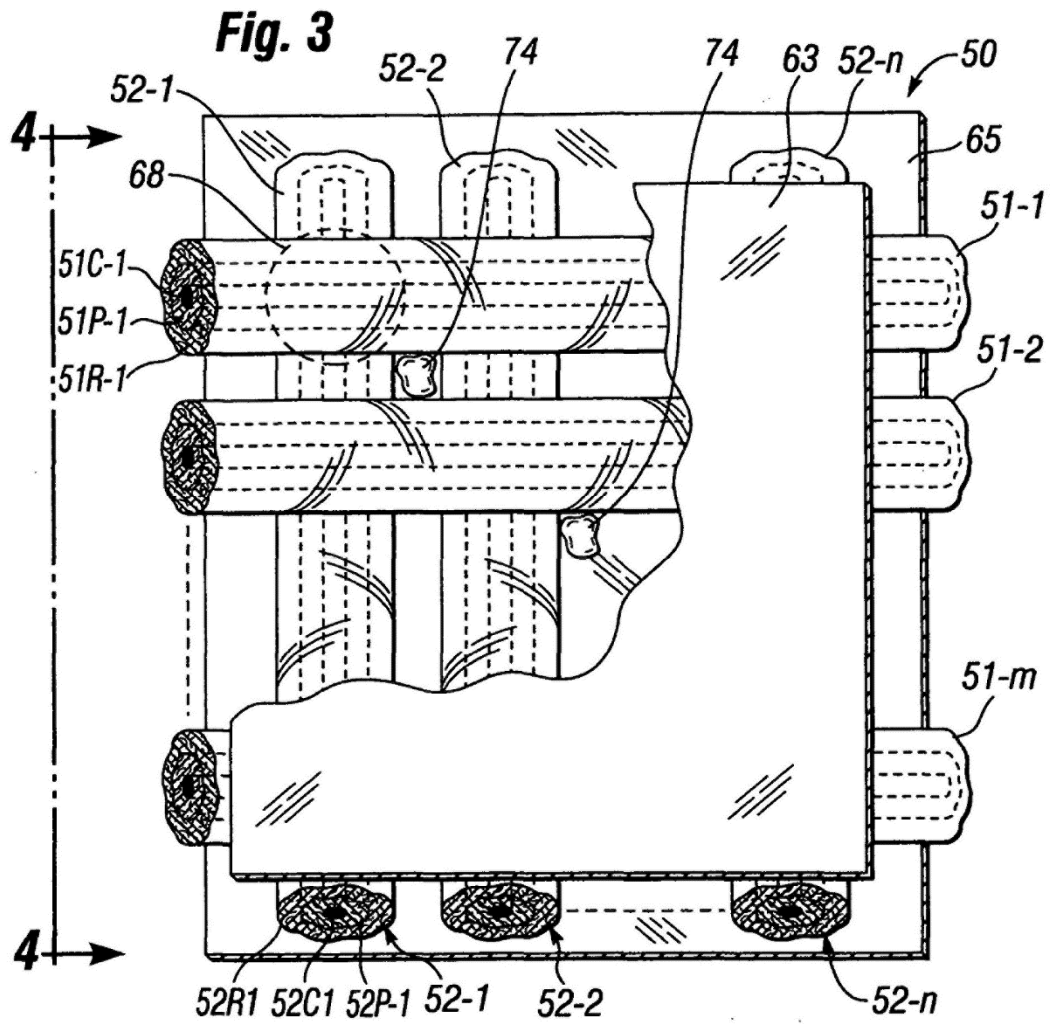
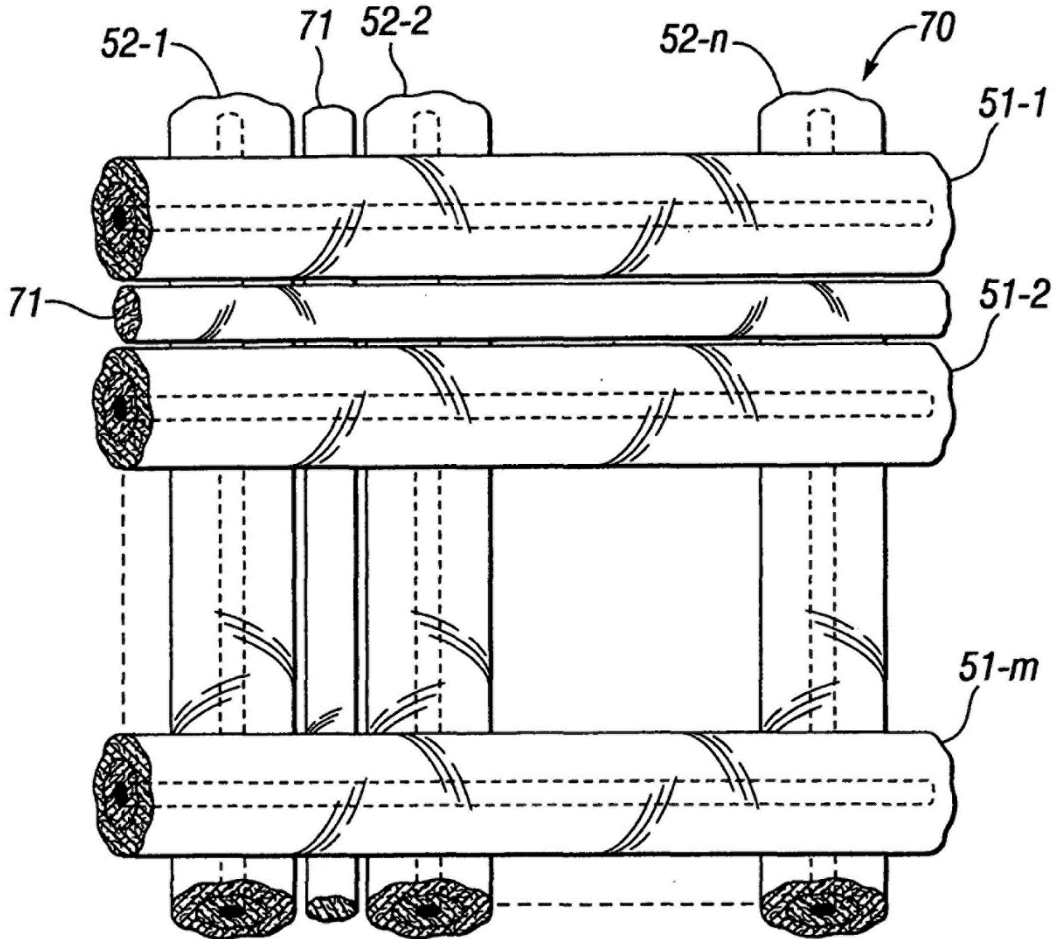


Fig. 5



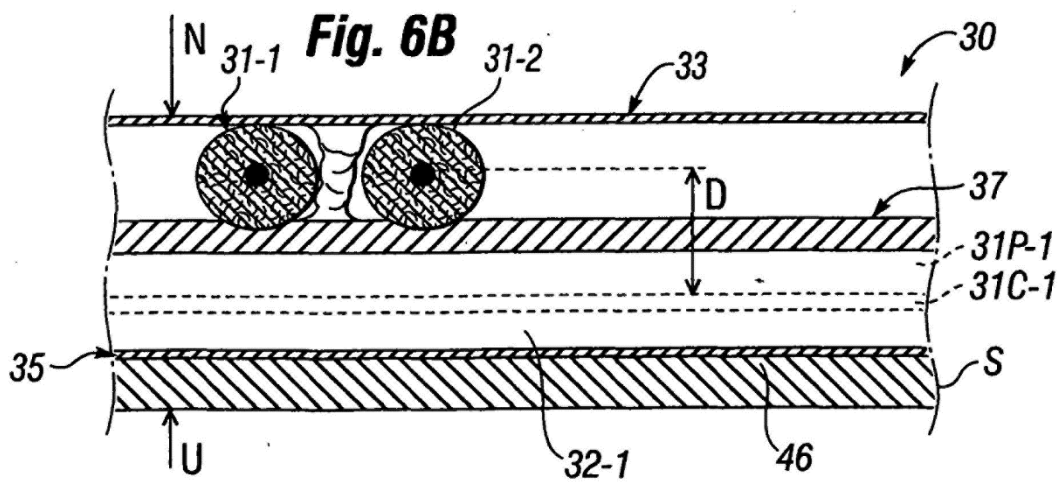
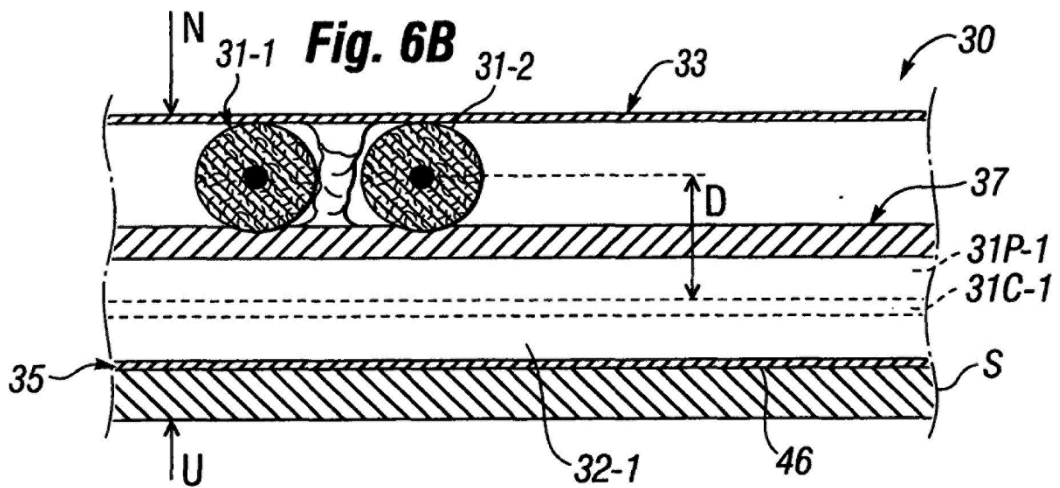
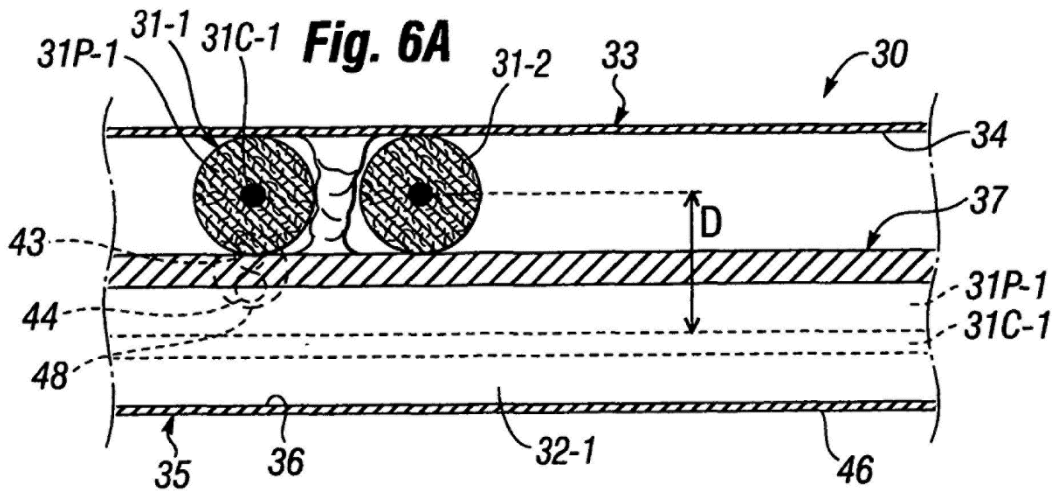
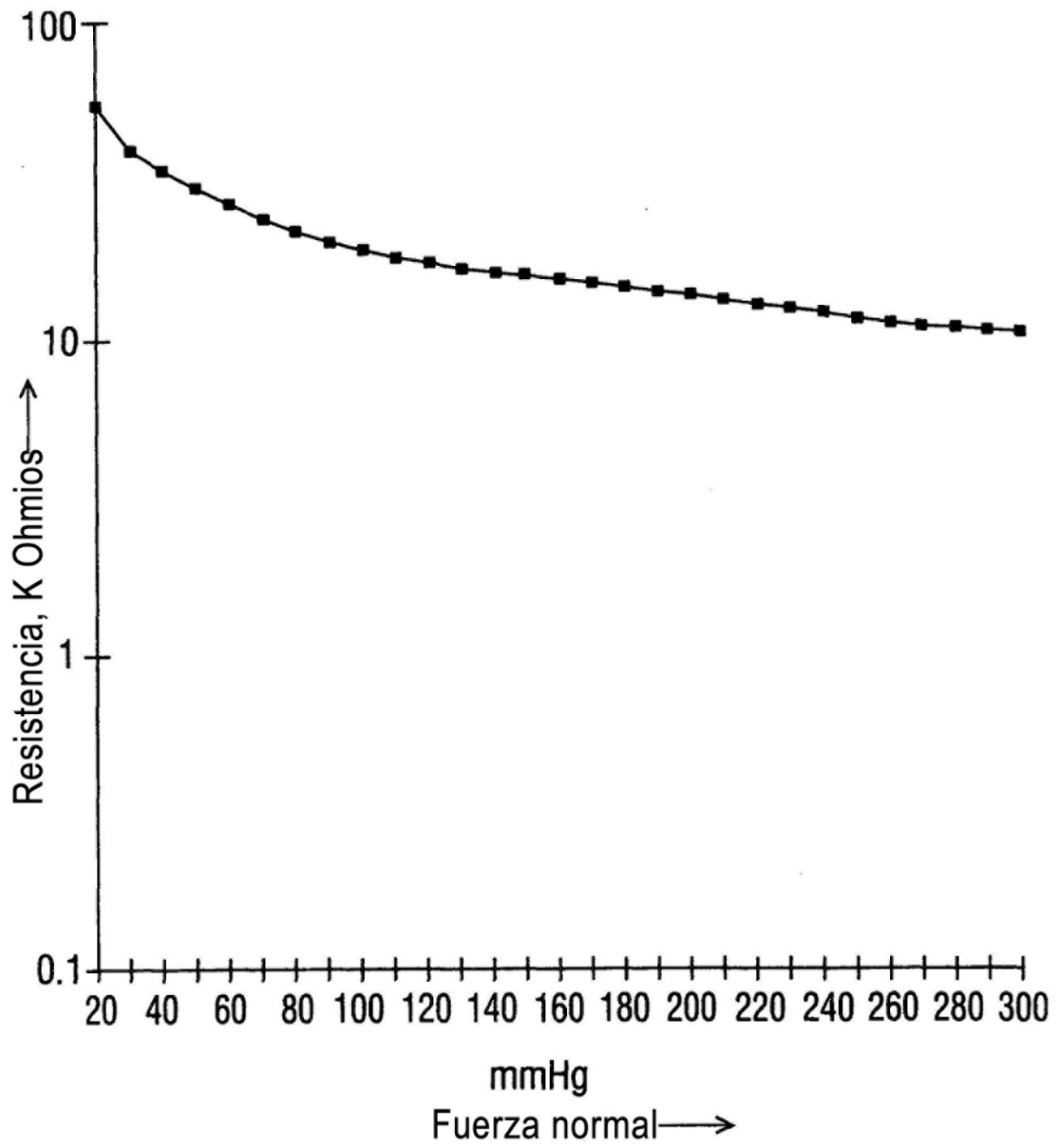
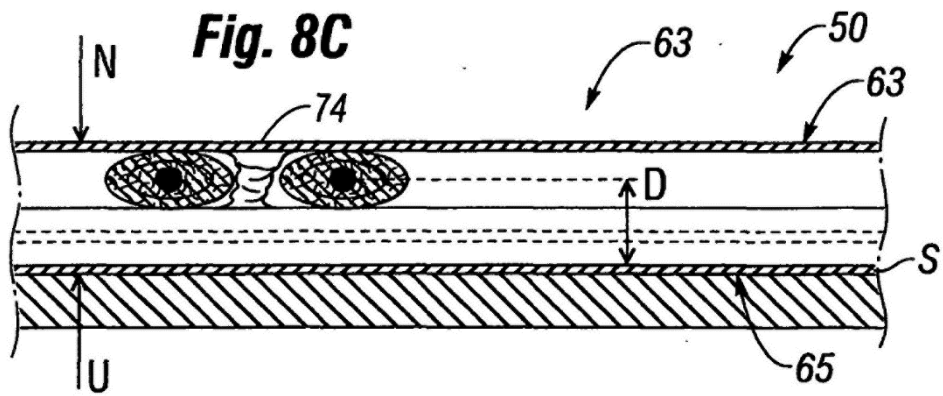
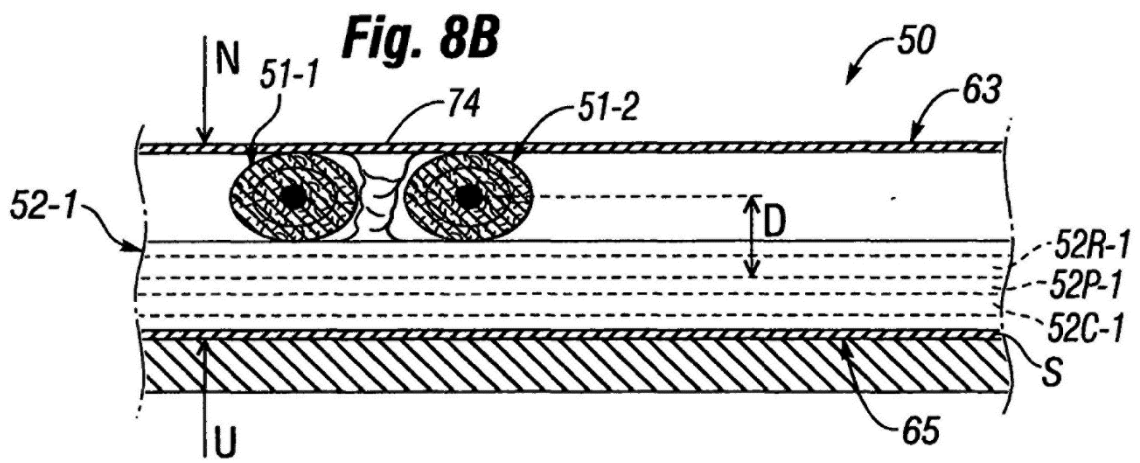
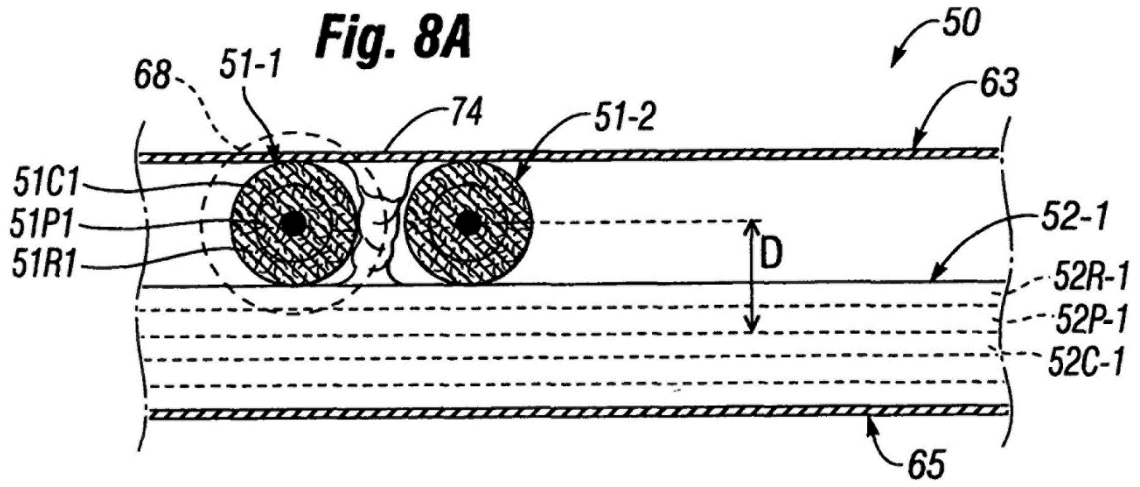
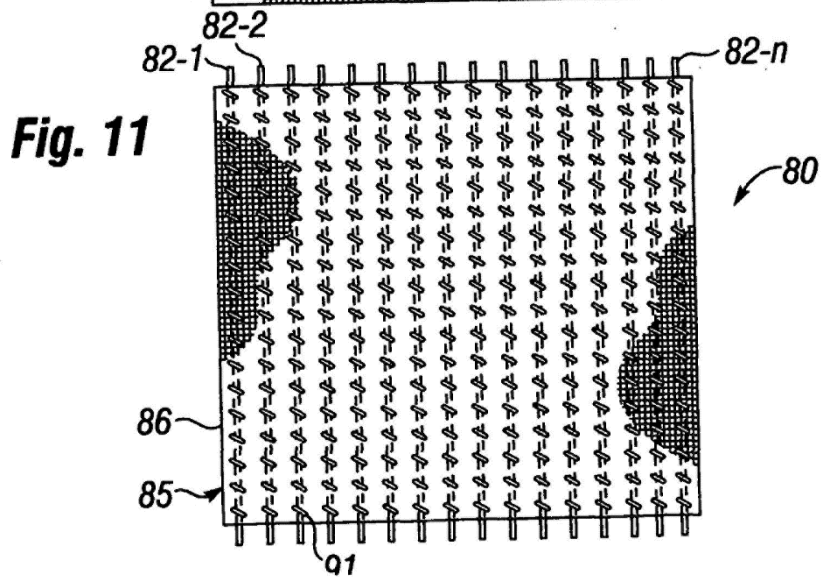
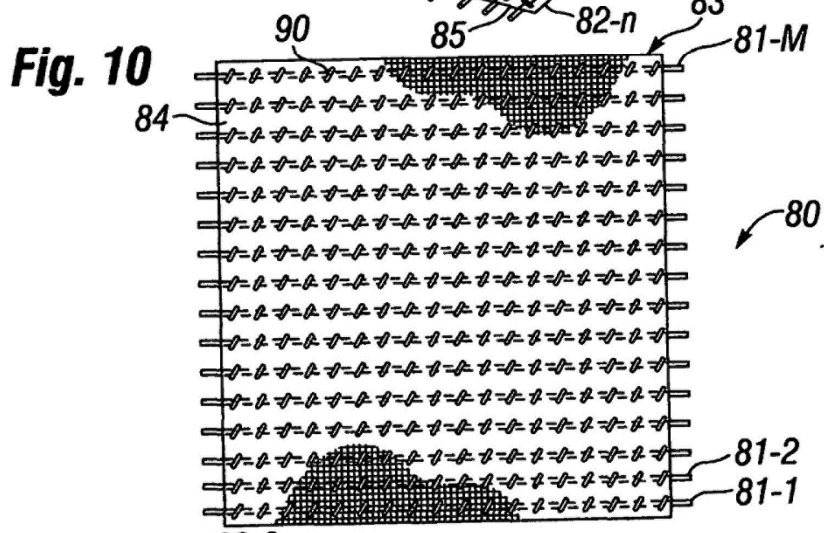
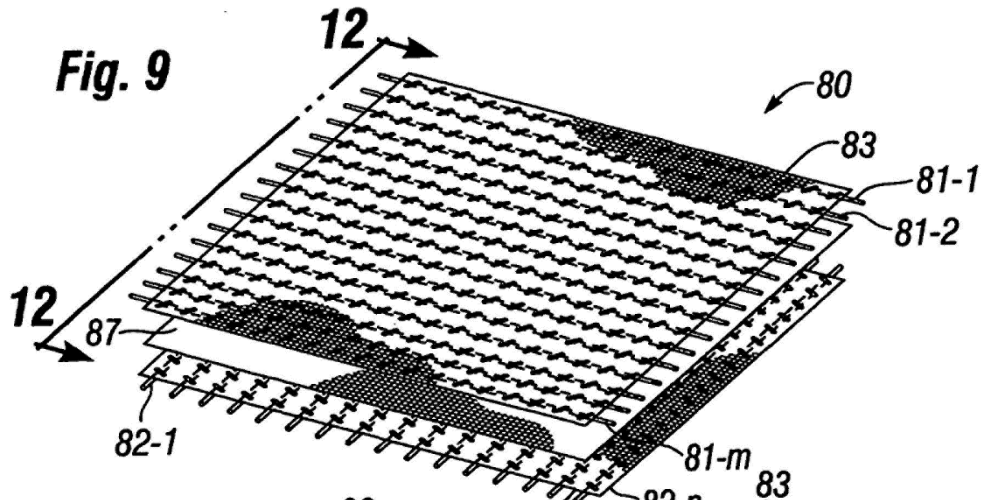


Fig. 7







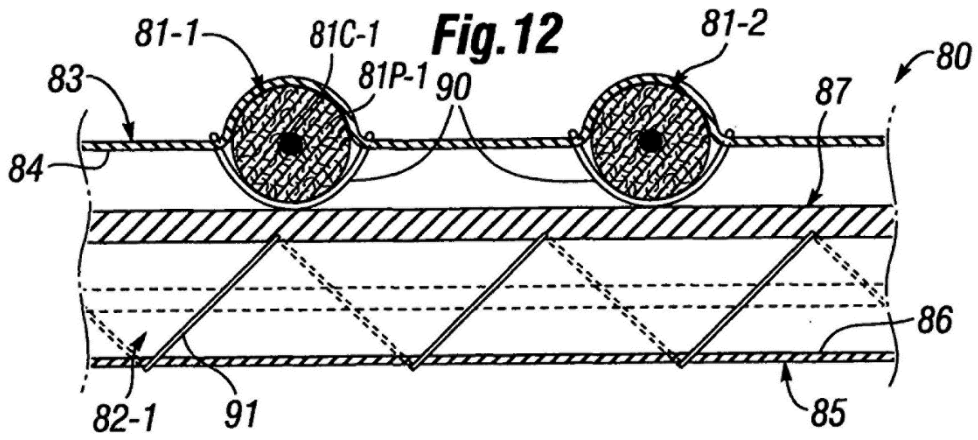


Fig. 12

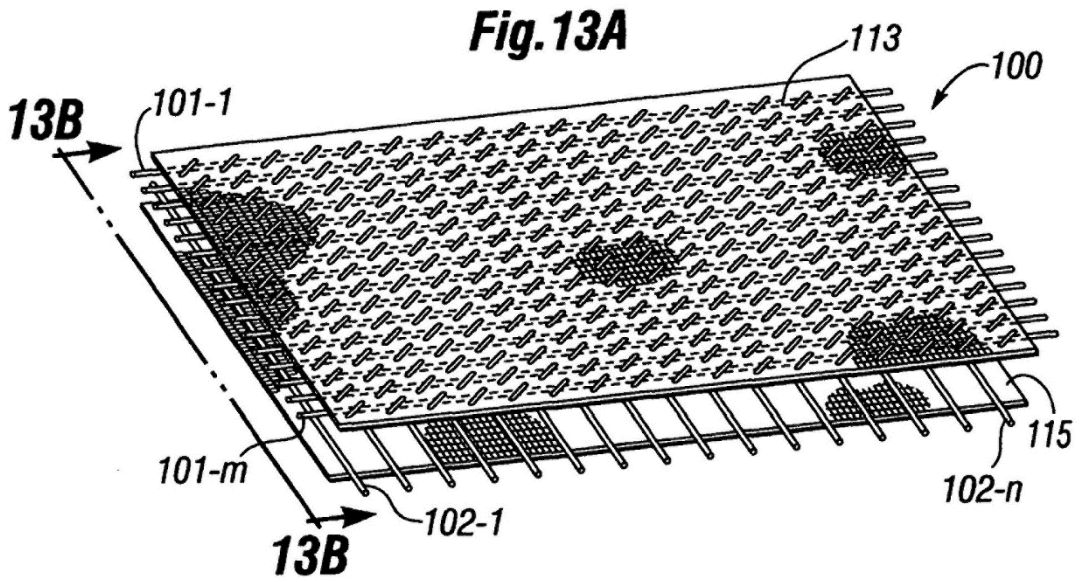


Fig. 13A

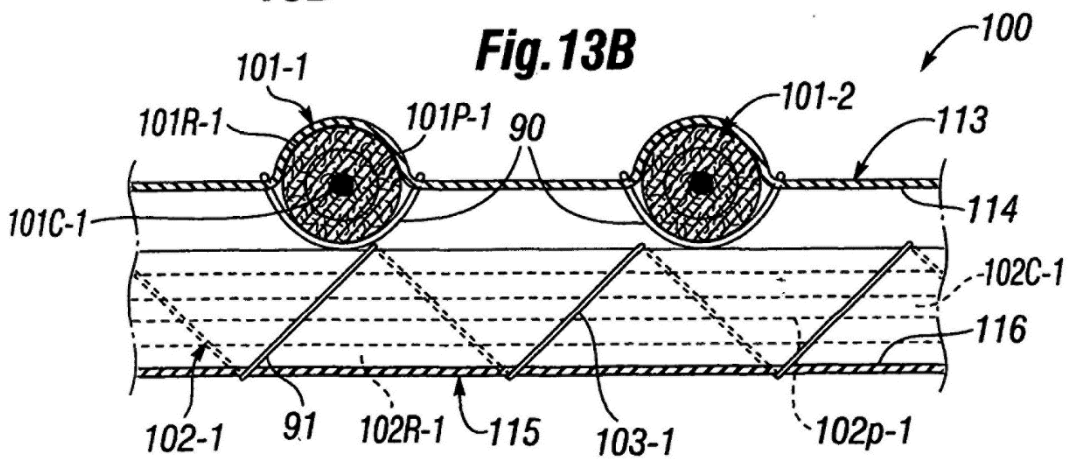


Fig. 13B

Fig. 14

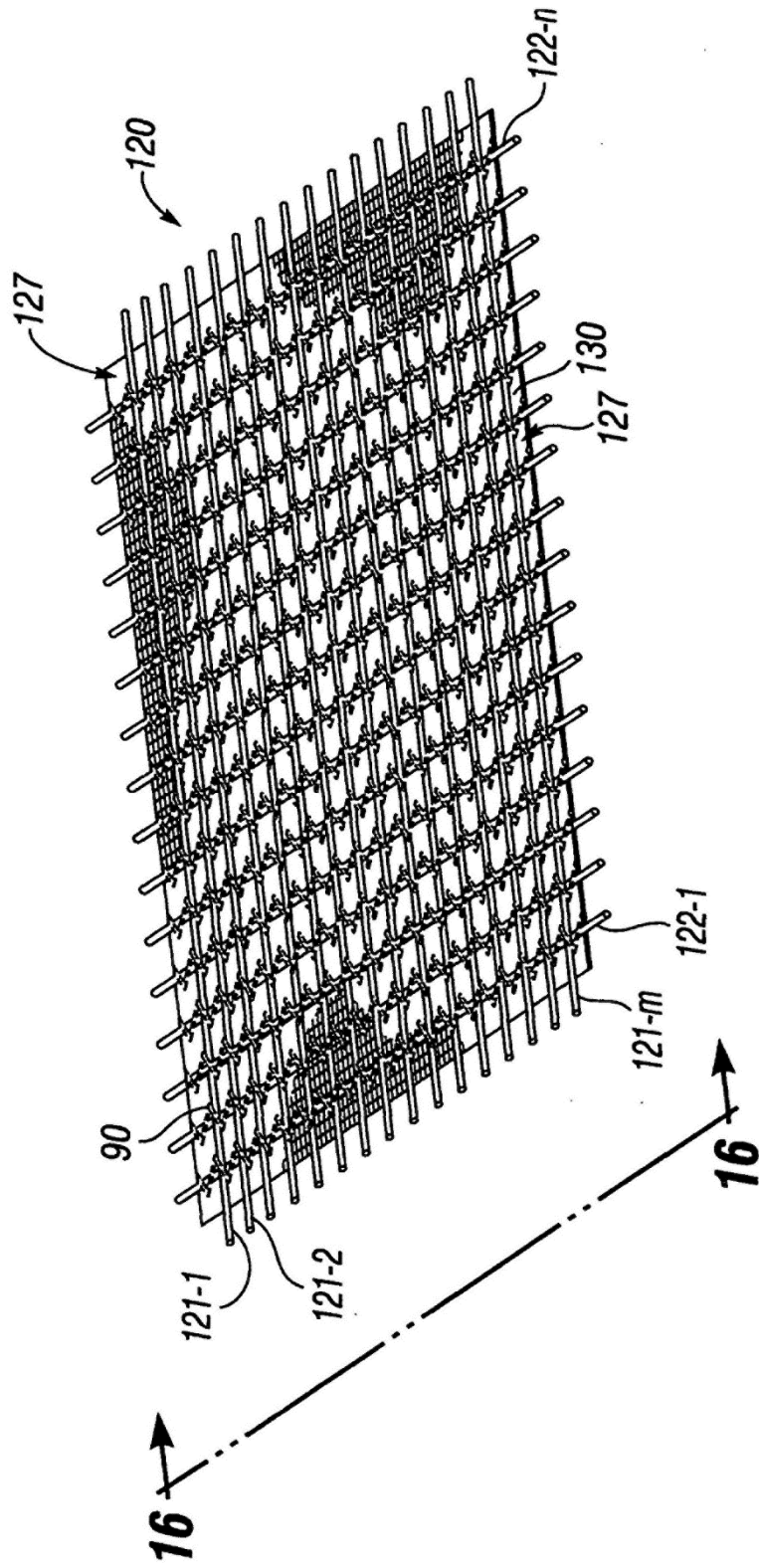
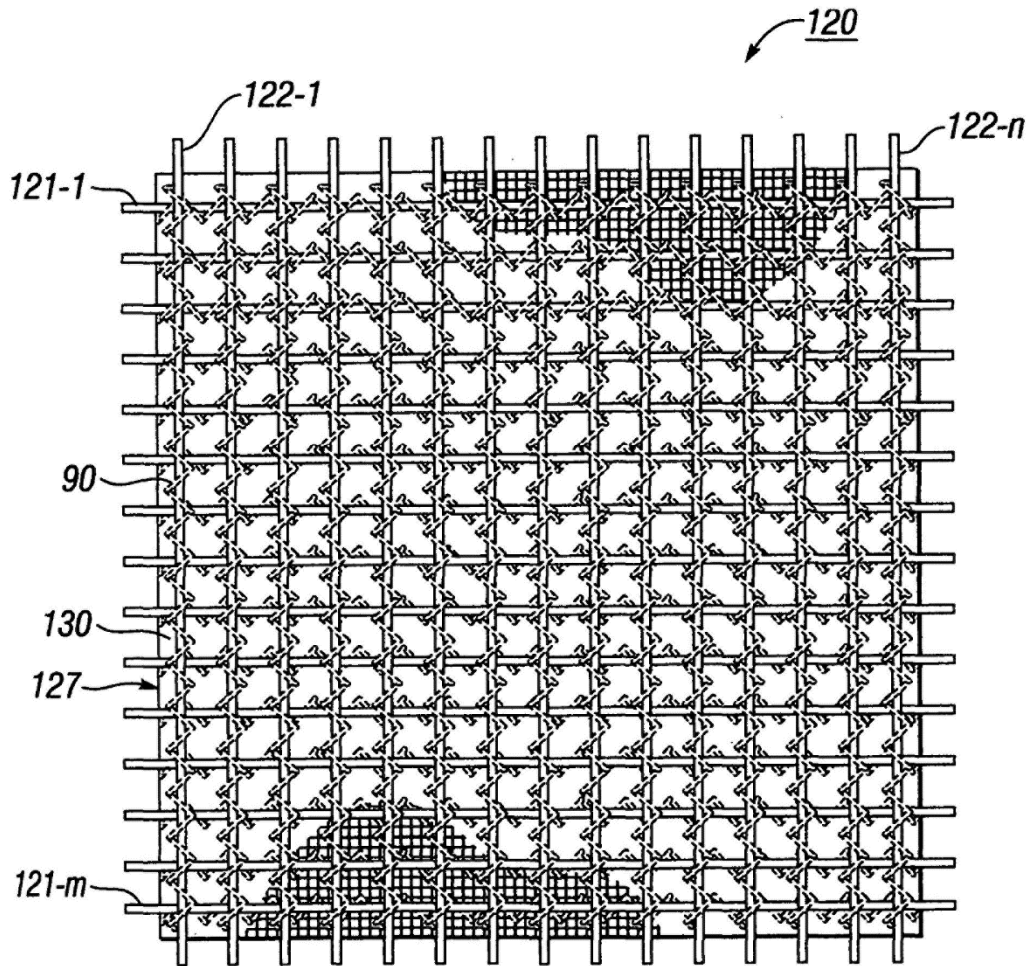


Fig. 15



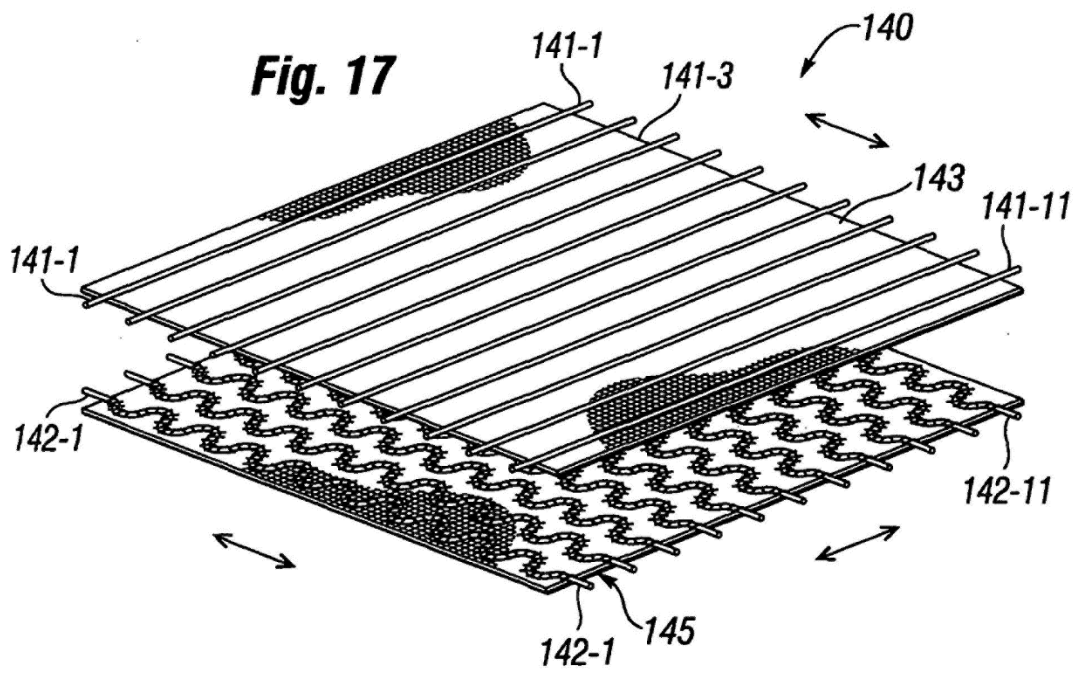
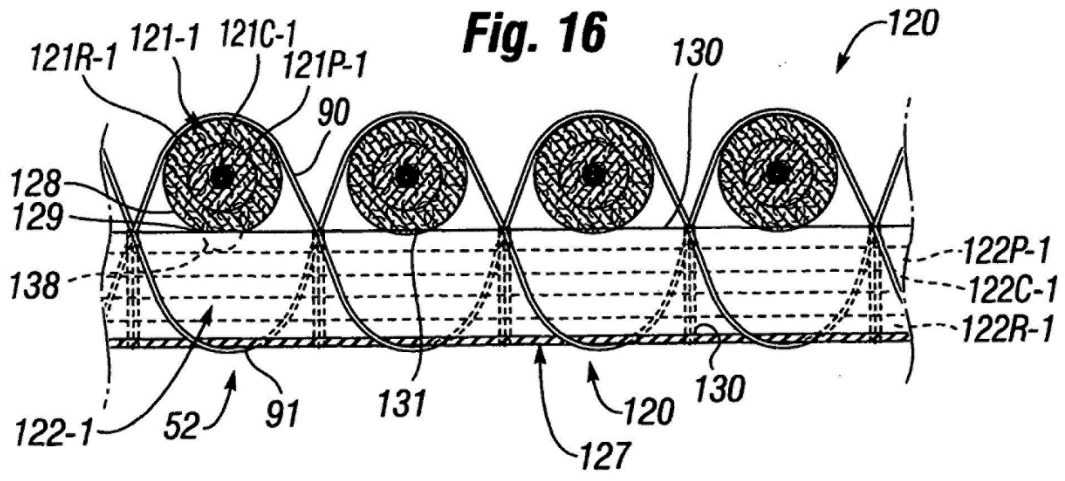


Fig. 18

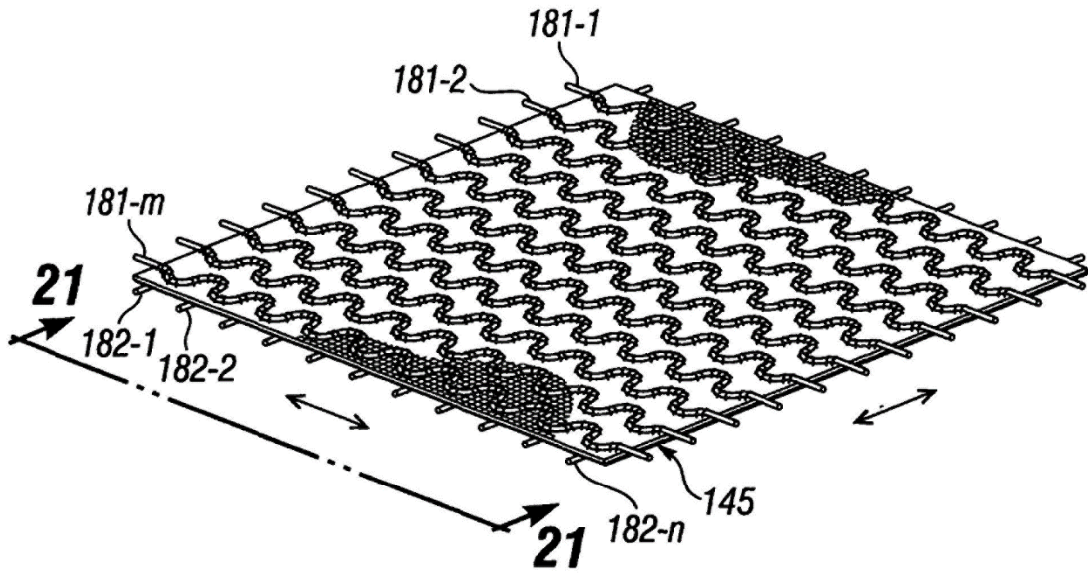
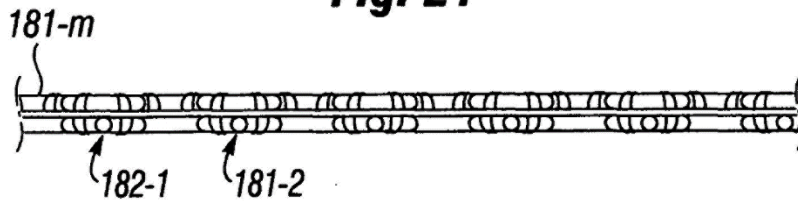


Fig. 21



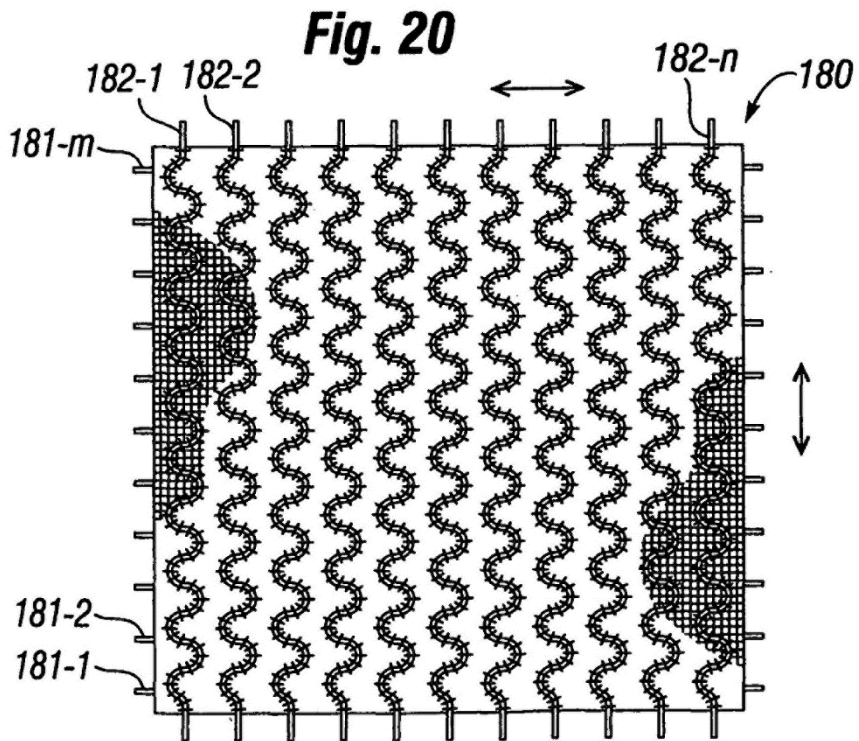
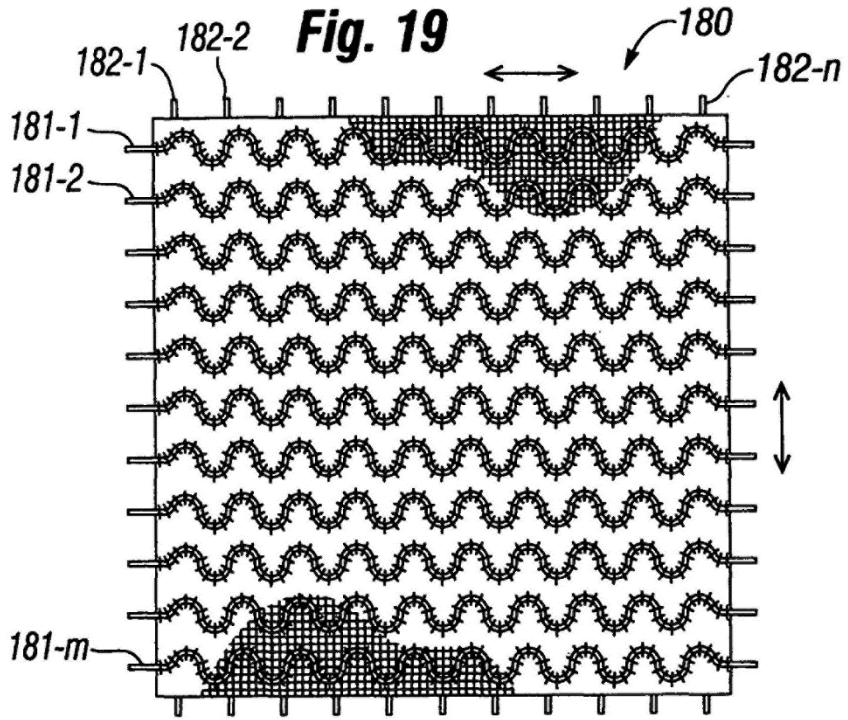


Fig. 21A

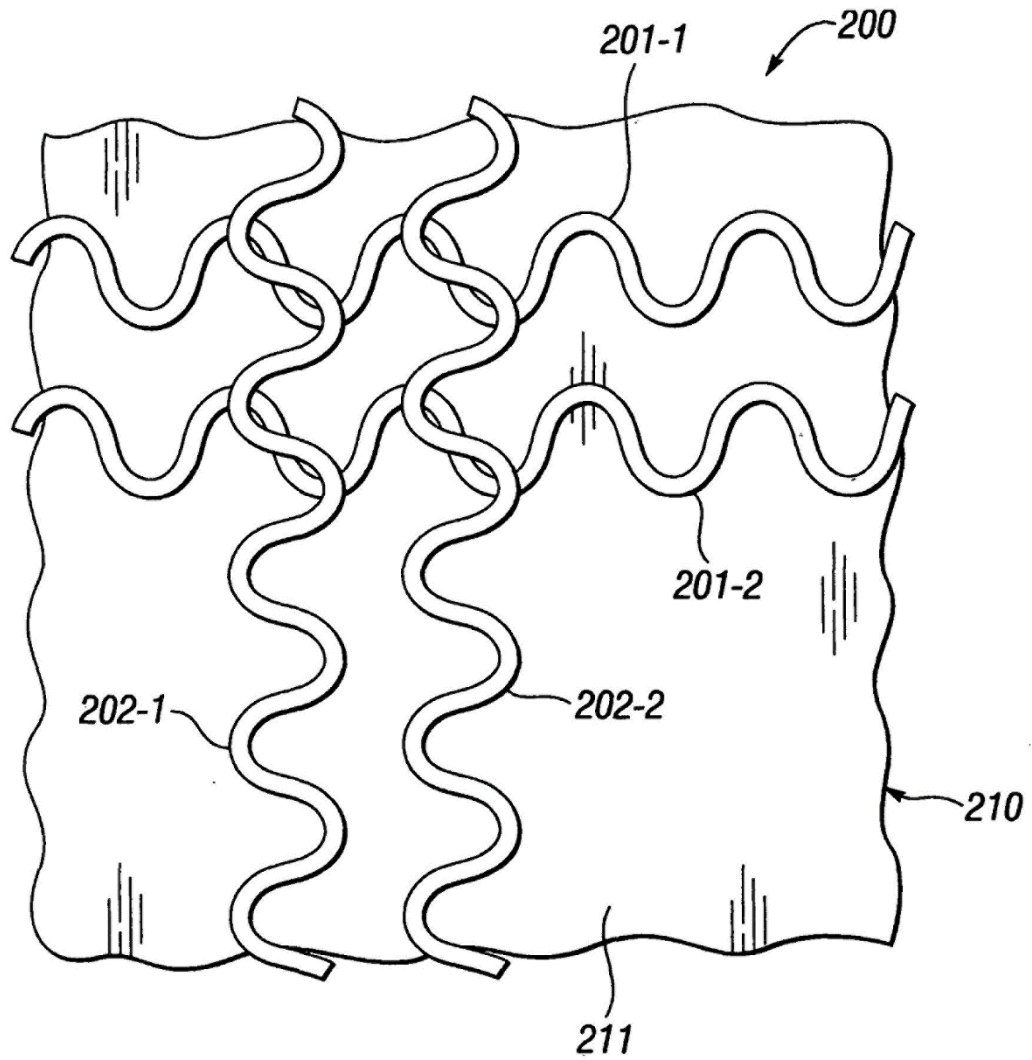


Fig. 22A

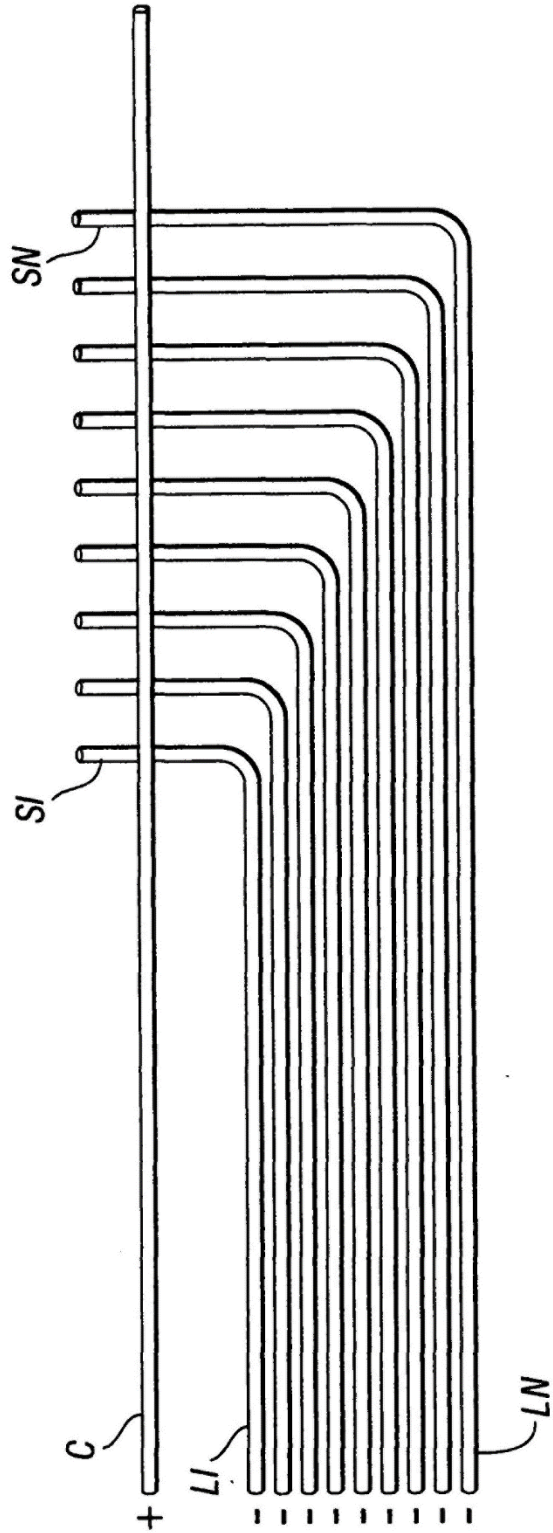


Fig. 22B

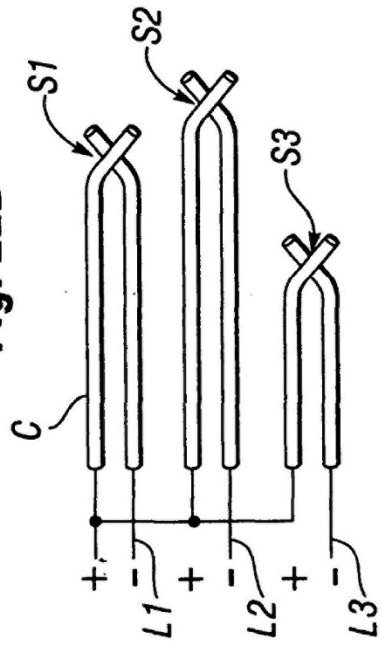


Fig. 23

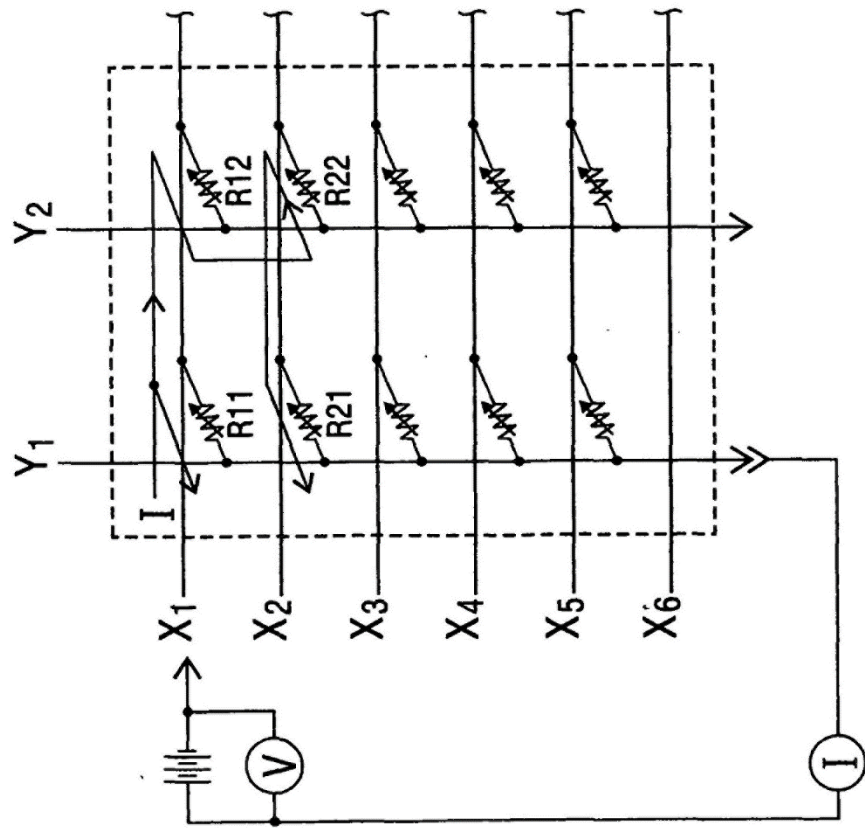


Fig. 24

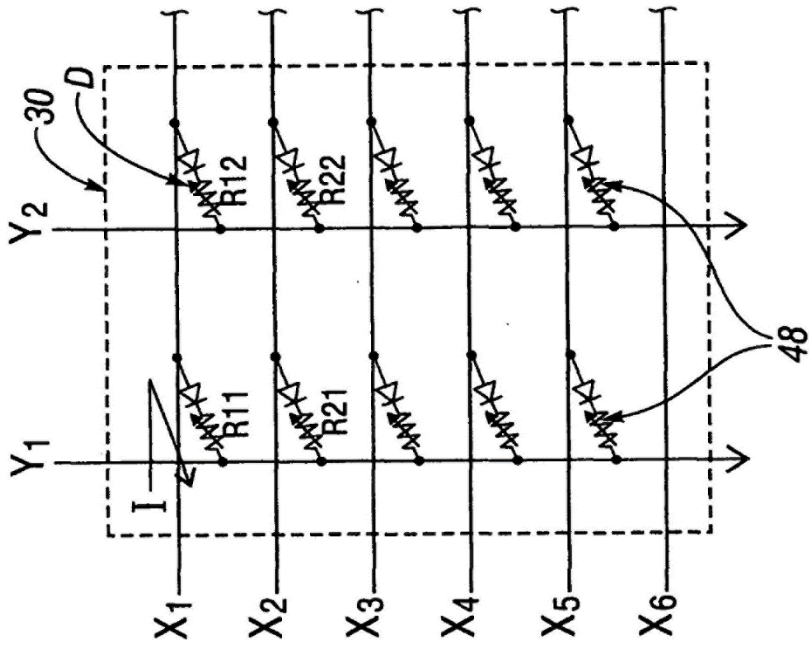


Fig. 25

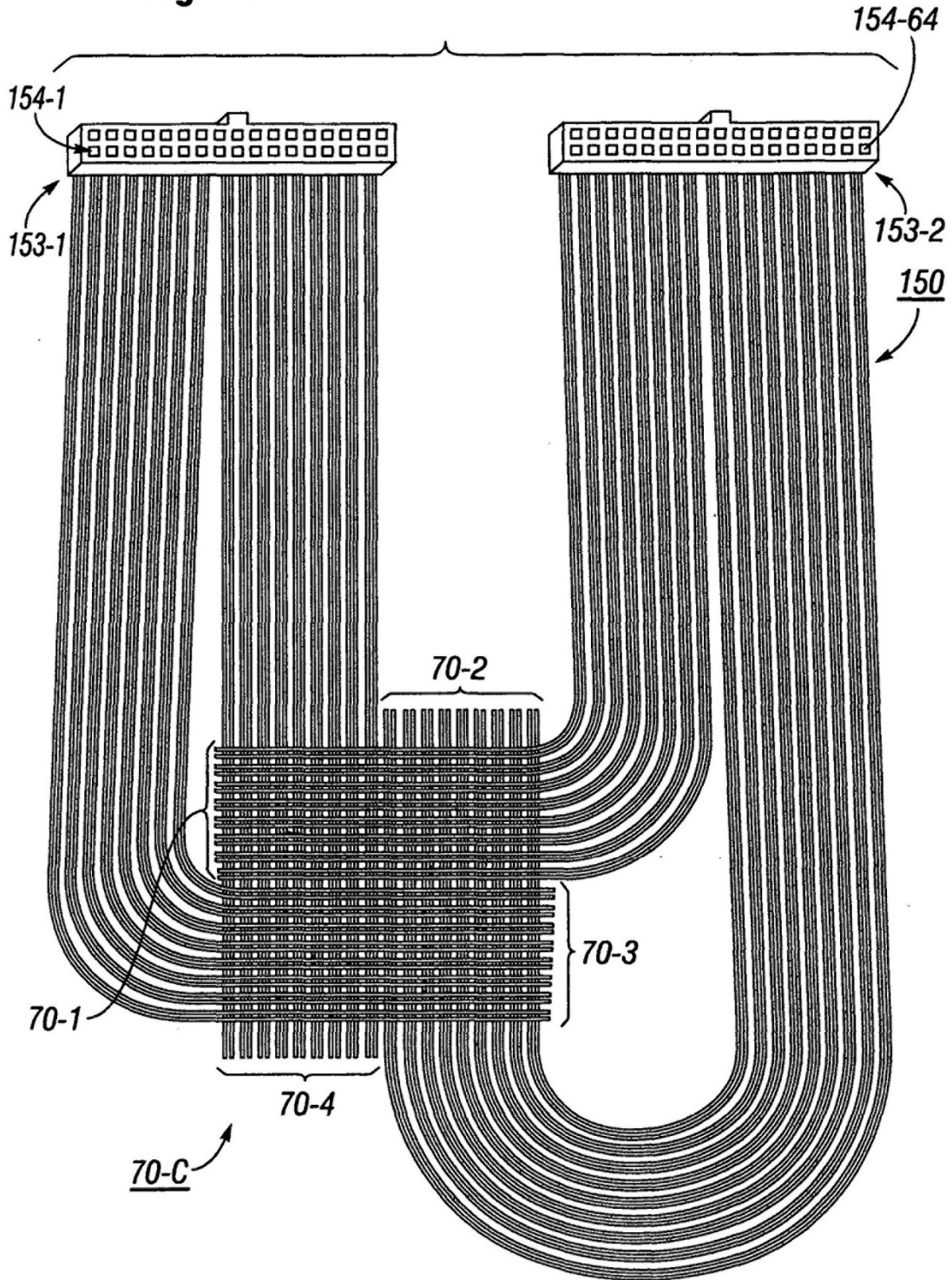
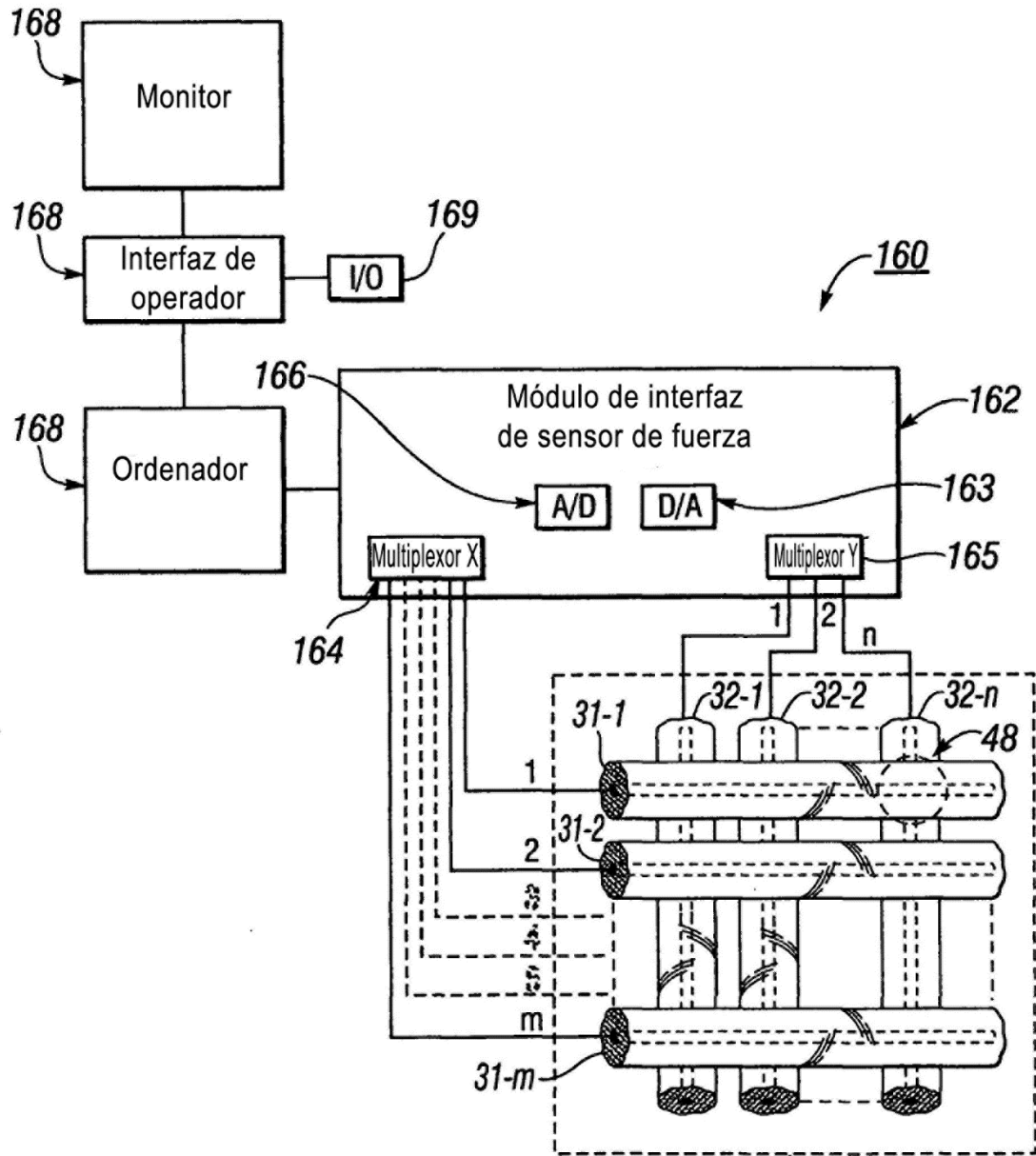
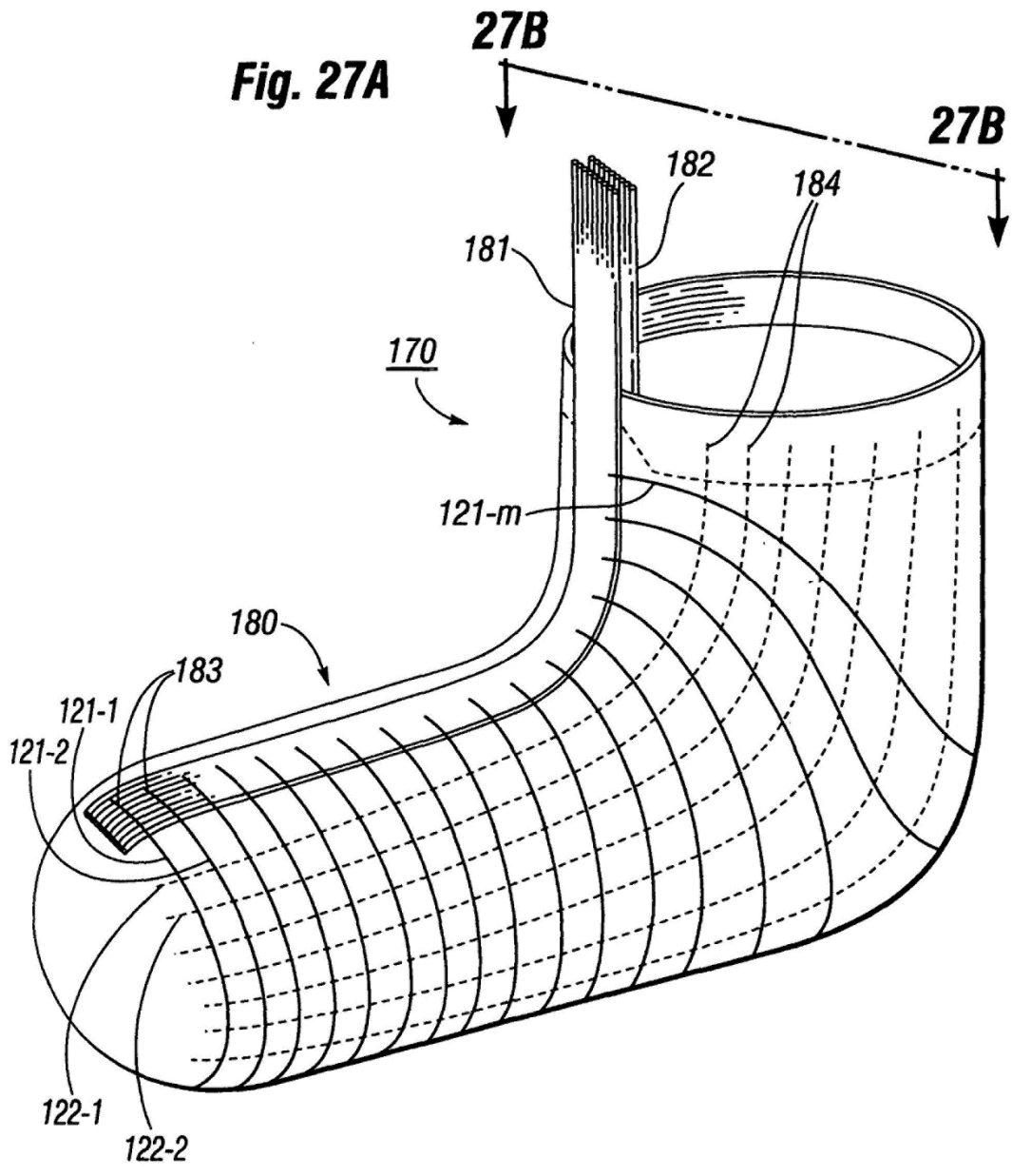


Fig. 26





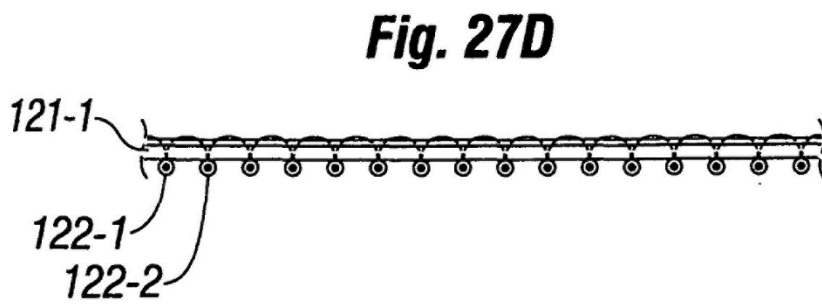
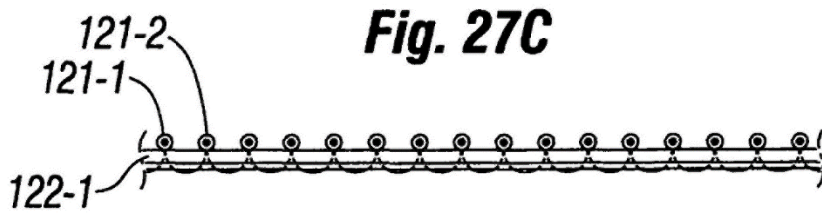
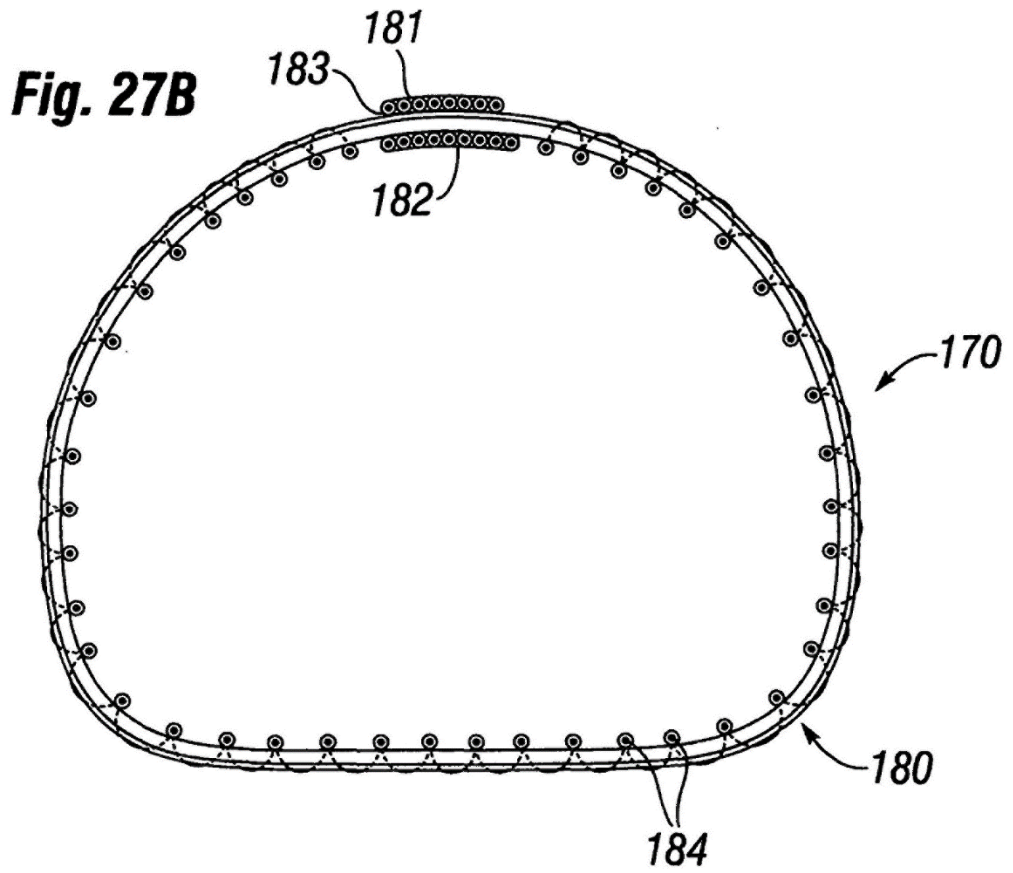


Fig. 28

Resistencia vs Carga

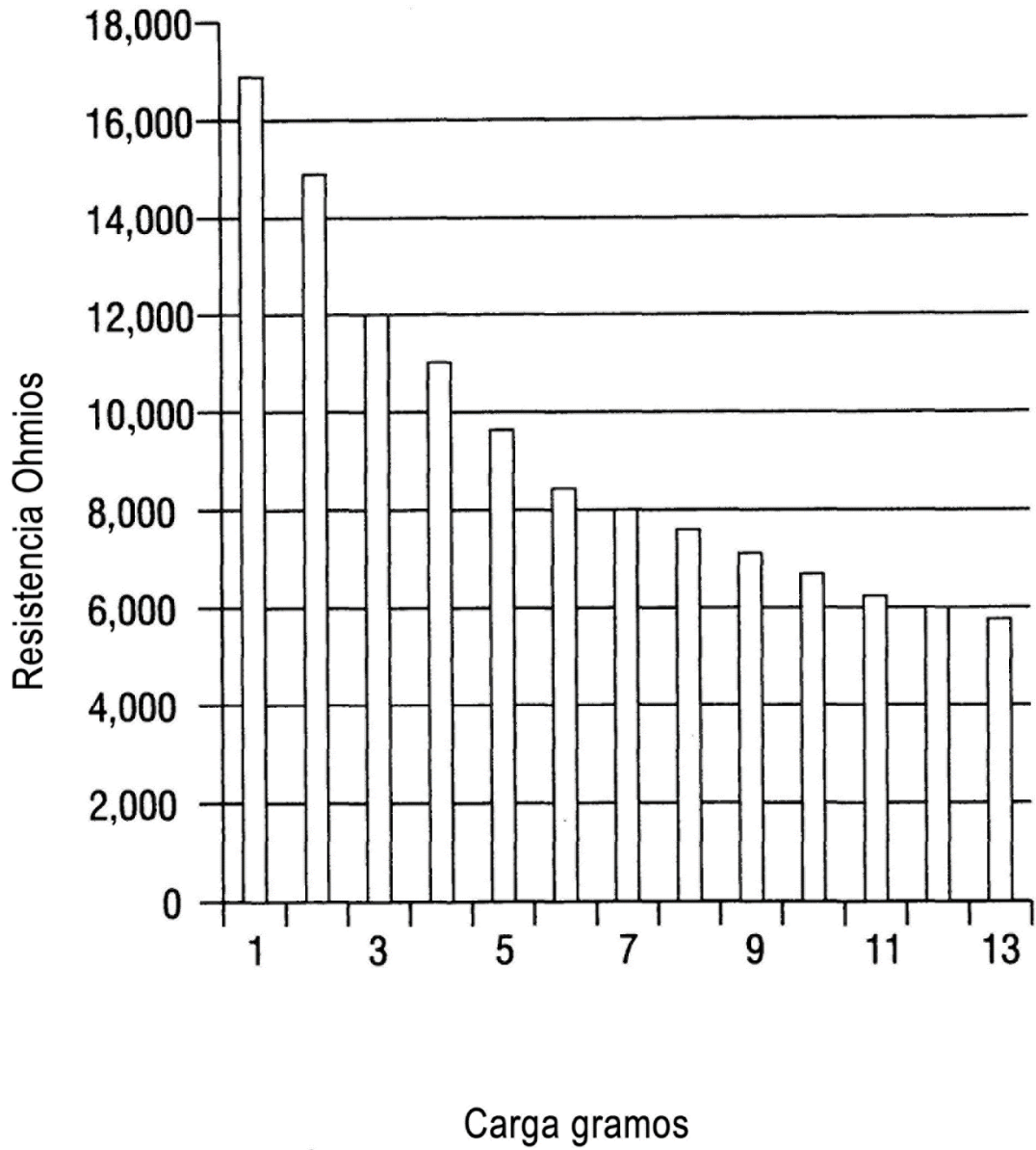


Fig. 29

