

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 799 827**

51 Int. Cl.:

**G01L 1/14** (2006.01)

**A61B 5/103** (2006.01)

**G01L 5/16** (2010.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.07.2015 PCT/FR2015/051947**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.01.2016 WO16009151**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.07.2015 E 15753106 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.02.2020 EP 3169983**

54 Título: **Sistema con red de celdas de sensores capacitivos de presión y de cizallamiento y procedimiento de fabricación**

30 Prioridad:

**18.07.2014 FR 1456955**

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

**21.12.2020**

73 Titular/es:

**FEETME (100.0%)  
23 rue des Réservoirs  
78000 Versailles, FR**

72 Inventor/es:

**MATHIEU, ALEXIS y  
MERCIER, JULIEN**

74 Agente/Representante:

**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

**ES 2 799 827 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**

Sistema con red de celdas de sensores capacitivos de presión y de cizallamiento y procedimiento de fabricación

**5 Campo técnico**

La presente invención se refiere a un sistema con red de sensores para medir fuerzas de presión con una alta resolución espacial. Una fuerza de presión se descompone generalmente, por un lado, en una fuerza de compresión que se aplica perpendicularmente a la superficie del sensor de presión, y, por otro lado, en una fuerza de cizallamiento que se aplica según una dirección oblicua con respecto a la superficie del sensor de presión.

De forma más precisa, la invención se refiere a una plantilla de sensores de presión destinada a medir fuerzas de compresión y de cizallamiento con una alta resolución espacial.

**15 Antecedentes tecnológicos**

En el campo médico o en el campo deportivo, es deseable conocer el reparto de las fuerzas de presión ejercidas por los pies de una persona, en posición estática o dinámica. En el campo médico, una plantilla de sensores de presión encuentra aplicaciones como plantilla de diagnóstico en podología o en ortopedia. Usada a diario por un paciente diabético que sufre de neuropatía, una plantilla con sensores de presión puede permitir mejorar la prevención de lesiones en el pie. En el campo deportivo, una plantilla con sensores de presión usada por un deportista y conectada a un teléfono inteligente permite al deportista cuantificar su carrera. El análisis del reparto de fuerzas de presión que se aplican en particular a nivel de la planta del pie durante la marcha, la carrera o el salto puede permitir al deportista corregir conscientemente un desequilibrio postural con el fin de evitar la aparición de dolores o de heridas.

Existen dispositivos con sensores de presión basados en tecnologías ópticas, magnéticas o eléctricas y en particular sensores resistivos, sensores inductivos (véase el documento EP 20607876) o sensores capacitivos (véanse los documentos US 7 343 813, US 2014/076066, US2006/247140, FR2878956).

Una ventaja de los sensores capacitivos de presión es que son poco sensibles a las variaciones de temperatura.

Un sensor capacitivo de presión comprende al menos dos electrodos separados por un material dieléctrico. La capacidad eléctrica de un sensor capacitivo es dada por la fórmula de un condensador entre dos placas:

$$C = \frac{\epsilon \cdot S}{L} \quad (I)$$

donde  $C$  representa la capacidad eléctrica del sensor capacitivo, de tipo condensador,  $S$  la superficie de los electrodos enfrentados,  $L$  la distancia entre los dos electrodos y  $\epsilon$  la constante dieléctrica del material entre los electrodos.

Bajo el efecto de una fuerza de presión normal, la variación de grosor  $L$  del material dieléctrico produce una variación inversamente proporcional a la capacidad  $C$  eléctrica del sensor.

Se conoce, por ejemplo, del documento US 5449002 un sensor capacitivo de presión basado en un dieléctrico de poliuretano resistente colocado intercalado entre dos conductores eléctricos. La variación de la capacidad eléctrica de este sensor es casi lineal en función del peso aplicado, lo que permite una detección fácil. Este sensor puede utilizarse en forma de plantilla de calzado, de mango de agarre o de soporte para medir fuerzas de compresión en diferentes aparatos médicos tales como una muleta, una silla de ruedas, una cinta de correr. Sin embargo, dicho sensor no proporciona medidas de presión exactas espacialmente sobre la superficie del sensor. Además, el sensor capacitivo de presión no permite discriminar una presión normal y una presión inducida por una fuerza de cizallamiento.

Sin embargo, por aplicación de la fórmula (I), bajo el efecto de una fuerza de cizallamiento, una variación de la superficie  $S$  de los electrodos enfrentados, produce una variación proporcional de la capacidad eléctrica del sensor.

En el caso de un material dieléctrico elásticamente deformable, la variación de superficie  $S$  inducida por la fuerza de cizallamiento es acompañada generalmente de una variación del grosor  $L$ . Es por tanto necesario medir independiente mente la variación de grosor para extraer de la medida de variación de capacidad, una medida de la variación de superficie  $S$ , con el fin de deducir una medida de la fuerza de cizallamiento.

Recientemente, diferentes ejemplos de sensores múltiples capacitivos han permitido discriminar la medida de presión normal de la medida de fuerza de cizallamiento (véanse los documentos US 2013/0093437, US 8250926). Los sensores capacitivos de presión y de cizallamiento se utilizan, en especial, en el campo de pantallas táctiles, de interfaces hápticas, de textiles que integran sensores.

Sin embargo, la integración de un gran número de sensores capacitivos de presión para fabricar una red de sensores de alta resolución espacial tiene por inconveniente el necesitar un número aún más grande de conexiones eléctricas que conectan la red de sensores al sistema de medida.

5 El documento *R. Supraneni, Q. Guo, Y. Xie, D.J. Young and C.H. Mastrangelo "A three-axis high-resolution capacitive tactile imager system based on floating comb electrodes", Journal of Micromechanics and Microengineering, 23 (2013) 075004*, describe el diseño y la fabricación de un procesador de imagen táctil de alta resolución espacial para la medida de fuerzas de compresión y de cizallamiento. El procesador de imagen táctil comprende un dieléctrico formado de una hoja de polímero siliconado y un circuito impreso flexible (FPCB). Cada celda del procesador de imagen táctil comprende dos capacidades sensibles a desplazamiento según una dirección X y dos capacidades sensibles a desplazamiento según una dirección Y. Las cuatro capacidades de una celda comprenden, sobre una cara del dieléctrico, electrodos flotantes, y, sobre la otra cara del dieléctrico, un FPCB que soporta electrodos, en forma de peine, conectados a dos pistas eléctricas verticales y dos pistas eléctricas horizontales. La medida eléctrica de las cuatro capacidades de una celda requiere el direccionamiento multiplexado de las pistas eléctricas verticales y horizontales, para proporcionar medidas de presión normal, según la dirección Z, y de cizallamiento, según las direcciones X e Y. No obstante, las pistas eléctricas horizontales y verticales están dispuestas sobre un mismo circuito impreso, el procedimiento de fabricación de circuito impreso requiere la superposición de al menos dos niveles de pistas eléctricas conectadas por interconexiones o vías. Un inconveniente del procedimiento de fabricación de circuito impreso de doble nivel es que requiere un gran número de etapas de fabricación. Además, este procedimiento necesita un sustrato de circuito impreso rígido, que puede convenir para aplicaciones táctiles, pero que no conviene, generalmente, para una aplicación en una plantilla de sensores de presión. Finalmente, las interconexiones entre dos niveles de electrodos depositados sobre un sustrato deformable son frágiles y pueden crear fallos eléctricos.

25 Contrariamente a las aplicaciones táctiles en las que el sustrato es generalmente rígido y puede ser grueso, una plantilla con sensores de presión debe presentar a la vez un grosor reducido, inferior a algunos milímetros, y una flexibilidad muy grande. Una plantilla con sensores de presión debe soportar una dinámica de presión que se ha de 0 a 15 kg/cm<sup>2</sup>.

30 Por otro lado, un inconveniente de los sensores capacitivos a base de materiales dieléctricos deformables es que su deformación presenta generalmente histéresis, susceptible de inducir a errores de medida.

Además, los sensores capacitivos de fuerza de cizallamiento presentan una sensibilidad inferior a los sensores de presión normal. Un sensor capacitivo de fuerza de cizallamiento debe, en general, extenderse sobre una cara más extensa que un sensor capacitivo de presión normal.

40 Existe por tanto una necesidad de un sistema y de un método que permitan fabricar un sistema de red de sensores para medir fuerzas de presión con una alta resolución espacial, a la vez que tenga un grosor reducido y una gran flexibilidad, en especial para la aplicación a una suela de sensores de presión.

Uno de los objetivos de la invención es proponer un sistema con red de sensores para medir fuerzas de presión con una alta resolución espacial, que presenta un grosor reducido y un número de conexiones eléctricas limitado. Otro objetivo de la invención es proporcionar no solamente medidas de fuerza de compresión, sino también medidas de fuerzas de cizallamiento.

Otro objetivo de la invención es proponer un sistema con red de sensores que sea conveniente para plantillas en el campo médico, deportivo o recreativo.

### Objeto de la invención

50 La presente invención tiene por objetivo remediar los inconvenientes de las técnicas anteriores y se refiere a un sistema con red de sensores según la reivindicación 1.

55 El sistema con red de sensores permite por tanto medir con una alta resolución espacial el reparto espacial de los vectores de fuerza aplicados a la red de sensor. La arquitectura del sistema permite proporcionar medidas de un gran número de sensores a través de un número de conexiones eléctricas extremadamente reducido.

60 Las ventajas de este sistema con red de sensores son su grosor reducido, la densidad espacial de las medidas, así como la capacidad del sistema de medir fuerzas de rozamiento.

Además, los sensores capacitivos son poco sensibles a las variaciones de temperatura y esencialmente sensibles a los efectos mecánicos.

65 En un modo de realización particular y ventajoso, la hoja de material dieléctrico elásticamente deformable por compresión y por cizallamiento es de un material elegido entre: un material natural tal como corcho, un elastómero de origen natural, como por ejemplo un caucho o un elastómero sintético, en particular un uretano, una silicona, una

goma de butilo, un polímero, un neopreno, un poliuretano o un polisopreno. De manera ventajosa, la hoja de material dieléctrico tiene forma de espuma (por ejemplo, espuma de elastómero, en particular espuma de uretano) o de material con microarquitectura (por ejemplo corcho).

5 En un modo de realización particular, dicho primer electrodo y dicha primera pista eléctricamente conductora se imprimen en una hoja de material eléctricamente aislante y flexible, y, respectivamente, dicho segundo electrodo y dichas otras pistas eléctricamente conductoras se imprimen sobre otra hoja de material eléctricamente aislante y flexible.

10 Según un modo de realización preferido, la primera pista eléctricamente conductora y la segunda pista eléctricamente conductora de una celda se conectan a un sistema electrónico adaptado para medir una variación de la capacidad eléctrica del sensor capacitivo de presión normal, estando adaptado el sistema electrónico para deducir una fuerza de presión normal aplicada sobre dicho sensor capacitivo de presión normal a lo largo de la primera dirección.

15 Al menos una celda de la red de sensores comprende un segundo sensor capacitivo de cizallamiento según una segunda dirección y un tercer sensor capacitivo de cizallamiento según una tercera dirección, estando constituido cada sensor capacitivo de cizallamiento por un primer electrodo fijado sobre la primera cara de la hoja de material dieléctrico y un segundo electrodo fijado sobre la segunda cara de la hoja de material dieléctrico, teniendo dichos  
20 primer y segundo electrodos de sensores capacitivos de cizallamiento la forma de peine, estando conectados en serie dichos primeros electrodos de sensores capacitivos de una celda, estando conectado el segundo electrodo del sensor capacitivo de cizallamiento según la segunda dirección a una tercera pista eléctricamente conductora que conecta una línea de sensores capacitivos de cizallamiento según la segunda dirección de la red de sensores; y  
25 estando conectado el segundo electrodo del sensor capacitivo de cizallamiento según la tercera dirección a una cuarta pista eléctricamente conductora que conecta una columna de sensores capacitivos de cizallamiento según la tercera dirección de la red de sensores.

De manera complementaria, la primera pista eléctricamente conductora y la tercera pista eléctricamente conductora de una celda están conectadas a dicho sistema electrónico, que está adaptado para medir una variación de la  
30 capacidad eléctrica del segundo sensor capacitivo de fuerza de cizallamiento según la segunda dirección, estando adaptado el sistema electrónico para deducir la amplitud y el sentido de una fuerza de cizallamiento aplicada sobre dicho sensor capacitivo de fuerza de cizallamiento a lo largo de la segunda dirección.

De manera ventajosa, la primera pista eléctricamente conductora y la cuarta pista eléctricamente conductora de una  
35 celda están conectadas a dicho sistema electrónico, que está adaptado para medir una variación de la capacidad eléctrica del tercer sensor capacitivo de cizallamiento según la tercera dirección, estando adaptado el sistema electrónico para deducir la amplitud y el sentido de una fuerza de cizallamiento aplicada sobre el tercer sensor capacitivo de cizallamiento a lo largo de la tercera dirección.

40 En un modo de realización particularmente ventajoso, dichas pistas eléctricamente conductoras están conectadas a medios de medida de una variación de la capacidad eléctrica del sensor capacitivo por conexiones con cable o inalámbricas.

Ventajosamente, el sistema con red de sensores de presión comprende un dispositivo de visualización de las  
45 medidas de fuerza de presión de cizallamiento en el cual el dispositivo de visualización está configurado para representar gráficamente, en función de la disposición de la red del sensor, la presión normal medida por cada celda de la red de sensor y simultáneamente la amplitud y la dirección de la fuerza de cizallamiento medida por cada celda de la red de sensor.

50 La invención encontrará una aplicación particularmente interesante en la fabricación de una plantilla para calzado que comprende un sistema con red de sensores de presión según uno de los modos de realización descritos.

#### **Descripción detallada de un ejemplo de realización**

55 La presente invención se refiere igualmente a las características que resultarán durante la descripción siguiente y que se deberán considerar aisladamente o según todas sus combinaciones técnicamente posibles.

Esta descripción, dada a título de ejemplo no limitativo, proporcionará una mejor comprensión de cómo la invención puede ser realizada en referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

60 - la figura 1 representa esquemáticamente una vista superior de una celda de sensores capacitivos de presión según un modo de realización de la invención;

65 - la figura 2 representa esquemáticamente una vista en sección según la línea AA de la celda de sensores capacitivos de presión de la figura 1;

- la figura 3 ilustra una celda de sensores capacitivos de presión de la figura 2 sometidos a una fuerza de cizallamiento aplicada en la dirección del eje X;
- 5 - la figura 4 representa esquemáticamente una vista superior de un sensor capacitivo de presión según una variante de la invención;
- la figura 5 representa una medida de fuerza de presión normal al aplicar una fuerza de presión creciente y después decreciente, e ilustra el efecto de histéresis del sensor;
- 10 - la figura 6 ilustra una vista superior de una red de sensores capacitivos de presión normal y de fuerza de cizallamiento;
- las figuras 7-8 representan esquemáticamente una vista superior de los electrodos de una red matricial de sensores capacitivos de presión normal, la figura 7 correspondiente a los electrodos fijado sobre una cara del dieléctrico y la figura 8 correspondiente a los electrodos fijados sobre la otra cara del dieléctrico;
- 15 - la figura 9 representa esquemáticamente una vista superior de una plantilla de calzado que comprende una red de sensores capacitivos de presión;
- 20 - la figura 10 ilustra una representación gráfica de medidas de presión normal y de fuerza de cizallamiento obtenidas con una plantilla con sensores capacitivos de presión tal como la representada en la figura 9;
- la figura 11 ilustra otra representación gráfica de medidas de presión normal y de fuerza de cizallamiento obtenidas con una plantilla de sensores capacitivos de presión;
- 25 - la figura 12 ilustra una etapa de un procedimiento de fabricación de una plantilla con red de celdas de sensores capacitivos de presión después de la impresión por serigrafía de un primer patrón de electrodos;
- la figura 13 ilustra otra etapa de un procedimiento de fabricación de una plantilla con red de celdas de sensores capacitivos de presión después de la impresión por serigrafía de un segundo patrón de electrodos.
- 30

Dispositivo

35 En la figura 1, se ha representado, en vista superior, una celda de sensores capacitivos de presión según un modo de realización de la invención. De forma más precisa, la figura 1 representa en superposición el diseño de los electrodos de una celda 20 de sensores capacitivos. Los electrodos se disponen sobre las caras opuestas de una hoja de un material dieléctrico elásticamente deformable por compresión y por cizallamiento. Se ha representado también una referencia ortonormal XYZ, siendo el eje Z perpendicular al plano de la figura 1.

40 En las figuras 2-3, se ha representado una vista en sección parcial según la línea AA de la celda de sensores capacitivos de la figura 1. El eje Y de la referencia ortonormal XYZ es perpendicular al plano de las figuras 2-3. En la figura 2, la celda 20 está en reposo. En la figura 3 se ha representado la celda 20 bajo el efecto de una fuerza F que tiene, de manera general, una componente según el eje Z, también denominada fuerza normal, y dos componentes según los ejes X e Y, también denominadas fuerzas de cizallamiento.

45 La celda 20 comprende un sensor 10 capacitivo de presión normal según el eje Z, un sensor 30 capacitivo de cizallamiento según la dirección X y otro sensor 50 capacitivo de cizallamiento según la dirección Y.

50 La celda de sensores capacitivos comprende una hoja de material dieléctrico 7 elásticamente deformable por compresión y por cizallamiento. De forma ventajosa, la hoja de material dieléctrico 7 está formada de una hoja de material elastómero. Entre los materiales elastómeros, se cita en particular un elastómero de origen natural, el caucho, y elastómeros sintéticos, las siliconas. Se define la resistencia mecánica de un material elastómero siendo la relación, a menudo expresada en %, de la energía restituida después de la deformación, con respecto a la energía proporcionada para deformar el elastómero bajo una carga cíclica. La histéresis corresponde a la tasa de energía disipada, la histéresis es el complemento de la resistencia mecánica. Una gran resistencia corresponde a una histéresis reducida. La mayor parte de los materiales elastómeros tienen una resistencia mecánica bastante elevada. Sin embargo, el elastómero que presenta la resistencia más elevada, cuya histéresis es la más reducida, es el caucho natural. Además, el caucho natural es económico y posee una buena resistencia a la abrasión. Se observa también una histéresis muy reducida de las siliconas blandas puras, es decir no reforzadas con partículas.

60 Por ejemplo, la hoja de material dieléctrico 7 está formada de una hoja de caucho natural, de silicona o de uretano. Por ejemplo, la hoja de material dieléctrico 7 se presenta en forma de una espuma de celdas cerradas. Con preferencia, la hoja de material dieléctrico 7 presenta un módulo de Young comprendido entre 1 y 5 MPa adaptada para las medidas de compresión.

65 De forma ventajosa, para las medidas de cizallamiento, la hoja de material dieléctrico 7 tiene un módulo de Poisson,

que define su compresibilidad, comprendido entre 0 y 0,5 y con preferencia inferior a 0,1. La determinación del valor del módulo de Poisson es el resultado de un compromiso: un valor de 0,5 es ideal para una medida de cizallamiento pero en ese caso, siendo el material incompresible, la sensibilidad a presión normal es muy reducida. Un valor intermedio del módulo de Poisson alrededor de 0,2 permite una buena sensibilidad a la vez en una medida de presión normal y en una medida de fuerza de cizallamiento. Entre los materiales que tienen un módulo de Poisson del orden de 0,5 se encuentran en especial los materiales siguientes: la goma de butilo, las espumas de polímero, el neopreno, las siliconas, el poliuretano y el polisopreno. Para obtener un módulo de Poisson inferior a 0,5 nos inclinamos hacia los materiales con micro arquitectura. En particular, existe un material que presenta en el estado natural un modo de Poisson nulo ( $\nu=0$ ): el corcho. Las espumas pueden por tanto tener un módulo de Poisson comprendido entre 0,1 y 0,4. Sin embargo la mayor parte de las espumas se aplastan por compresión.

Ventajosamente, el material dieléctrico tiene una constante dieléctrica comprendida entre 3 y 10 kV/mm.

Con preferencia, el grosor de la hoja de material dieléctrico 7 está comprendido entre 0,2 y 1 mm.

En el ejemplo de realización ilustrado en la figura 1, la celda 20 tiene aproximadamente 1 cm de lado. La celda 20 comprende electrodos 1, 2, 3, 4 dispuestos sobre las caras opuestas de la hoja de material dieléctrico 7 para formar sensores capacitivos. Pistas 11, 12, 13, 14, 15, 16 eléctricas están conectadas a los diferentes electrodos como se detalla a continuación. En el ejemplo ilustrado en las figuras 2-3, una hoja 8, 9 de material eléctricamente aislante y flexible se coloca respectivamente sobre cada una de las caras de la hoja de material dieléctrico 7 con el fin de proteger los electrodos 1, 2, 3, 4 y las pistas 11, 12, 13, 14, 15, 16 conductoras. Las hojas 8, 9 son por ejemplo hojas de kapton de grosor comprendido entre 50 y 100 micrones. El kapton tiene una constante dieléctrica de 110 kV/mm.

El primer sensor 10 capacitivo comprende un primer electrodo 1 fijado sobre la primera cara de la hoja de material dieléctrico 7 y un segundo electrodo 2 fijado sobre la segunda cara de la hoja de material dieléctrico 7. En el ejemplo ilustrado en la figura 1, el primer electrodo 1 y el segundo electrodo 2 son de forma cuadrada. Se pueden contemplar otras formas de electrodos, como se describe por ejemplo en relación con la figura 4. En este caso, la superficie del primer electrodo 1 es más grande que la superficie del segundo electrodo 2. En las figuras 1 y 2, en ausencia de fuerzas de cizallamiento según la dirección X o Y, la extensión de la superficie del primer electrodo 1 cubre completamente la extensión de la superficie del segundo electrodo 2. Por ejemplo, el electrodo 1 es un cuadrado de 5 mm de lado y el electrodo 2 es un cuadrado de 4 mm de lado, centrado sobre el electrodo 1. En ausencia de fuerza de compresión y de fuerza de cizallamiento, el primer electrodo 1 está separado del segundo electrodo 2 por la hoja de material dieléctrico 7 de grosor L. Con preferencia, el grosor L es inferior a 2 mm, por ejemplo el grosor L está igual comprendido entre 0,2 mm y 1,5 mm. El primer electrodo 1 está conectado a una pista 11 eléctricamente conductora depositada sobre la primera cara del material dieléctrico. De manera similar, el segundo electrodo 2 está conectado a otra pista 12 eléctricamente conductora depositada sobre la segunda cara del material dieléctrico. El primer electrodo 1 y el segundo electrodo 2, separados por el material dieléctrico 7, definen un condensador cuya superficie S12 se determina por las superficies enfrentadas del primer electrodo 1 y del segundo electrodo 2. En este modo de realización, en reposo, la superficie S12 es igual a la más pequeña de las superficies de los dos electrodos 1, 2 cuadrados. En las figuras 2 y 3, los trazos discontinuos verticales entre los electrodos 1 y 2 delimitan la extensión del condensador formado entre estos electrodos. Las pistas 11 y 12 conductoras están desplazadas en el plano XY con el fin de no contribuir al valor de la medida del condensador formado entre los electrodos 1 y 2.

En ausencia de fuerza de presión o de cizallamiento, el valor de la capacidad del primer sensor 10 capacitivo se determina por el grosor L del dieléctrico 7 y por la superficie S12, por aplicación de la ecuación (I). Cuando se aplica una fuerza de compresión sobre el sensor 10 de presión a lo largo de la dirección Z, el grosor del dieléctrico 7 varía  $\Delta L$  mientras que la superficie S12 permanece constante. La capacidad del sensor 10 capacitivo varía por tanto en función de la variación del grosor  $\Delta L$  del dieléctrico 7. El sensor 10 capacitivo permite por tanto medir la fuerza de compresión según la dirección Z. En la figura 3, se ha representado una vista en sección del sensor de presión según la línea de corte AA después de la aplicación de una fuerza F de cizallamiento aplicada en la dirección X sobre la primera cara del dieléctrico 7. La fuerza F de cizallamiento induce un desplazamiento  $\Delta X$  lateral relativo entre la primera cara del dieléctrico 7 y la segunda cara del dieléctrico 7 según la dirección X. Simultáneamente, la fuerza F de cizallamiento induce una compresión  $\Delta L$  del grosor del dieléctrico en la dirección Z. Sin embargo, el primer electrodo 1, al estar más extendido que el segundo electrodo, 2 la superficie S12 enfrentada a los electrodos 1 y 2 permanece constante. Por consiguiente, el primer sensor 10 capacitivo es sensible únicamente a la variación  $\Delta L$  del grosor del dieléctrico. Una calibración del valor de la capacidad del primer sensor 10 capacitivo permite por tanto deducir una medida de la variación  $\Delta L$  del grosor del dieléctrico. Esta medida es tomada entre las pistas 11 y 12 conductoras.

El segundo sensor 30 capacitivo comprende un primer electrodo 3 fijado sobre la primera cara de la hoja de material dieléctrico 7 y un segundo electrodo 4 fijado sobre la segunda cara de la hoja de material dieléctrico 7. En el ejemplo ilustrado en la figura 1, el primer electrodo 3 y el segundo electrodo 4 tienen forma de peines, estando dispuestos los dientes del peine equidistantes a lo largo de la dirección X y extendiéndose a lo largo de la dirección Y. Por ejemplo, el primer electrodo 3 y el segundo electrodo 4 comprenden, cada uno, tres dientes de longitud creciente según la dirección Y. En la figura 1, en reposo, los dientes del primer electrodo 3 están desplazados con respecto a los dientes del primer electrodo 4 según la dirección X y se cubren paralelamente. El primer electrodo 3 está conectado

a una pista 13 eléctricamente conductora depositada sobre la primera cara del material dieléctrico. La pista 13 está conectada al primer electrodo 1 del primer sensor 10 de presión. El segundo electrodo 4 está conectado a otra pista 14 eléctricamente conductora depositada sobre la segunda cara del material dieléctrico. El primer electrodo 3 y el segundo electrodo 4, separados por el material dieléctrico 7, definen un condensador cuya superficie S34 es determinada por las superficies enfrentadas del primer electrodo 3 y del segundo electrodo 4. La superficie S34, definida por la intersección de la proyección del primer electrodo 3 sobre el segundo electrodo 4, determina la superficie del condensador formada por los electrodos 3 y 4 separados por el dieléctrico 7. En las figuras 2 y 3, los trazos discontinuos verticales entre los electrodos 3 y 4 delimitan la extensión del condensador formado entre estos electrodos. Las pistas 13 y 14 conductoras están desplazadas en el plano XY con el fin de no contribuir a la medida de variación de la capacidad del condensador formado entre los electrodos 3 y 4. En la dirección Y, el electrodo 3 se extiende más allá de los extremos del electrodo 4. La forma y la disposición de los electrodos 3 y 4 en peine con dientes de longitud creciente permite maximizar la superficie S34 para un volumen ocupado mínimo de la celda 20 de sensores. El aumento del número de dientes permite aumentar la precisión de las medidas aumentando el valor  $\Delta S34$  de la variación de superficie para un mismo valor de fuerza de cizallamiento y disminuir relativamente el efecto de las capacidades parásitas.

Las capacidades parásitas pueden tener varios orígenes. En primer lugar, el propio sensor comprende capacidades parásitas formadas entre las pistas conductoras paralelas. De hecho, dos pistas conductoras de cobre, impresas una al lado de la otra, forman una capacidad en la que la superficie enfrentada es igual a la longitud de la pista conductora multiplicada por el grosor de la capa de cobre. En segundo lugar, las capacidades parásitas se introducen por el circuito electrónico. Finalmente, otro parásito es introducido durante un contacto exterior, por ejemplo con un dedo del usuario, en la superficie del kapton. Para remediar esto, un blindaje, constituido por una placa de cobre o de aluminio, se dispone sobre cada cara exterior en el sensor.

En ausencia de fuerza de presión o de cizallamiento, el valor de la capacidad del segundo sensor 30 capacitivo se determina por el grosor L del dieléctrico 7 y por la superficie S34, por aplicación de la ecuación (I). Cuando se aplica una fuerza de compresión sobre el sensor 30 de presión a lo largo de la dirección Z, el grosor del dieléctrico 7 varía  $\Delta L$  mientras que la superficie S34 permanece constante. La capacidad del sensor 30 capacitivo varía por tanto en función de la variación  $\Delta L$  del grosor del dieléctrico 7.

Como se ilustra en la figura 3, cuando se aplica una fuerza de cizallamiento en la dirección X sobre la primera cara del dieléctrico 7, el sensor 30 de presión sufre un desplazamiento  $\Delta X$  lateral relativo entre el primer electrodo 3 y el segundo electrodo 4 en la dirección X. El desplazamiento  $\Delta X$  lateral induce una variación de la superficie S34, que disminuye cuando se aplica la fuerza de cizallamiento en el sentido de las X positivas y que aumenta cuando la fuerza de cizallamiento se aplica en el sentido de las X negativas. Sin embargo, incluso en ausencia de componente de fuerza de compresión, una fuerza de cizallamiento induce, simultáneamente con el desplazamiento  $\Delta X$  lateral, una deformación en el grosor  $\Delta L$  del material dieléctrico 7 elásticamente deformable.

La medida de la variación de capacidad eléctrica del segundo sensor 30 capacitivo de presión es por tanto sensible a la vez a una fuerza de compresión a lo largo del eje z y a una fuerza de cizallamiento aplicada a lo largo del eje X. No obstante, la combinación de la medida del primer sensor 10 y de la medida del sensor 30 permite discriminar una fuerza de presión normal de una fuerza de cizallamiento aplicada a lo largo del eje X.

Por el contrario, cuando se aplica una fuerza de cizallamiento a lo largo del eje Y, la superficie S34 del sensor 30 capacitivo de presión permanece invariable, debido a que el electrodo 3 se extiende sobre una longitud más grande que el electrodo 4.

Por tanto, el segundo sensor 30 capacitivo de presión es sensible a un desplazamiento lateral relativo según el eje X entre los electrodos 3 y 4 y no es sensible a un desplazamiento lateral relativo según el eje Y entre los electrodos 3 y 4. El sensor 30 capacitivo de presión es también sensible a una variación  $\Delta L$  del grosor según el eje Z entre los electrodos 3 y 4.

La medida de las variaciones de valor de la capacidad del segundo sensor 30 capacitivo se toma entre la pista 11 conductora y la pista 14 conductora. De hecho, la pista 11 conductora está conectada al primer electrodo 1 del primer sensor 10, ella misma conectada a través de la pista 13 conductora al electrodo 3 del segundo sensor 30.

De manera análoga y complementaria, el tercer sensor 50 capacitivo comprende un primer electrodo 5 fijado sobre la primera cara de la hoja de material dieléctrico 7 y un segundo electrodo 6 fijado sobre la segunda cara de la hoja de material dieléctrico 7. En el ejemplo ilustrado en la figura 1, el primer electrodo 5 y el segundo electrodo 6 tienen forma de peines, estando dispuestos los dientes del peine equidistantes a lo largo de la dirección Y y extendiéndose a lo largo de la dirección X. A título de ejemplo ilustrativo y en ningún caso limitativo, el primer electrodo 5 y el segundo electrodo 6 comprenden, cada uno, tres dientes de longitud creciente según la dirección Y. En la figura 1, en reposo, los dientes del primer electrodo 5 están desplazados con respecto a los dientes del segundo electrodo 6 según la dirección Y de manera que se cubren parcialmente. El primer electrodo 5 está conectado a una pista 15 eléctricamente conductora depositada sobre la primera cara del material dieléctrico. La pista 15 está conectada al primer electrodo 1 del primer sensor 10 de presión. El segundo electrodo 6 está conectado a otra pista 16

eléctricamente conductora depositada sobre la segunda cara del material dieléctrico. El primer electrodo 5 y el segundo electrodo 6, separados por el material dieléctrico 7, definen un condensador cuya superficie S56 está determinada por las superficies enfrentadas del primer electrodo 5 y del segundo electrodo 6. De forma más precisa, la superficie S56 es definida por la intersección de la proyección del primer electrodo 5 sobre el segundo electrodo 6.

5 Esta superficie S56 determina la superficie del condensador formada por los electrodos 5 y 6 separados por el dieléctrico 7. Las pistas 15 y 16 conductoras están desplazadas con el fin de no contribuir a la medida de variación de la capacidad del condensador formada entre los electrodos 5 y 6. En la dirección X, el electrodo 5 se extiende más allá de los extremos del electrodo 6. La forma y la disposición de los electrodos 5 y 6 empuñados con dientes de longitud creciente permiten maximizar la superficie S56 para un volumen ocupado mínimo de la celda 20 de sensores.

En ausencia de fuerza de presión o de cizallamiento, el valor de la capacidad del tercer sensor 50 capacitivo se determina por el grosor L del dieléctrico 7 y por la superficie S56, por aplicación de la ecuación (I). Cuando se aplica una fuerza de compresión sobre el sensor 50 de presión a lo largo de la dirección Z, el grosor del dieléctrico 7 varía  $\Delta L$  mientras que la superficie S56 permanece constante. La capacidad del sensor 50 capacitivo varía por tanto en función de la variación  $\Delta L$  del grosor del dieléctrico 7.

20 Cuando se aplica una fuerza F de cizallamiento en la dirección Y sobre la primera cara del dieléctrico 7, el sensor 50 de presión sufre una deformación  $\Delta L$  de grosor y un desplazamiento  $\Delta Y$  lateral relativo entre el primer electrodo 5 y el segundo electrodo 6 en la dirección Y. El desplazamiento  $\Delta Y$  lateral induce una variación de la superficie S56, que disminuye cuando la fuerza de cizallamiento se aplica en el sentido de las Y positivas y que aumenta cuando la fuerza de cizallamiento se aplica en el sentido de las Y negativas. El desplazamiento  $\Delta Y$  según el eje Y depende directamente del grosor L del dieléctrico, del coeficiente V de Poisson, del módulo E de Young, de la fuerza F aplicada según Y y del área A sobre la que se aplica esta fuerza según la fórmula siguiente:

$$\Delta Y = 2(1+V)F*L/(E*A) \quad (II)$$

Por ejemplo, con una hoja de silicona, se mide una variación  $\Delta S$  de superficie del orden de un 10% para una fuerza F de cizallamiento del orden de 50 newtons aplicada según la dirección Y sobre una superficie de 1 cm<sup>2</sup>.

La medida de la variación de capacidad eléctrica del tercer sensor 50 capacitivo de presión es por tanto sensible a la vez a una fuerza de compresión a lo largo del eje z y a una fuerza de cizallamiento aplicada a lo largo del eje Y. No obstante, la combinación de la medida del primer sensor 10 y de la medida del tercer sensor 50 de una misma celda permite discriminar una fuerza de presión normal de una fuerza de cizallamiento aplicada a lo largo del eje Y.

Por el contrario, cuando se aplica una fuerza de cizallamiento a lo largo del eje X, la superficie S56 del sensor 50 capacitivo de presión permanece invariable, debido a que el electrodo 5 se extiende sobre una longitud más grande que el electrodo 6.

Por tanto, el tercer sensor 50 capacitivo de presión es sensible a un desplazamiento lateral relativo según el eje Y entre los electrodos 5 y 6 y no es sensible a un desplazamiento lateral relativo según el eje X entre los electrodos 5 y 6. El sensor 50 capacitivo de presión es también sensible a una variación  $\Delta L$  de grosor según el eje z entre los electrodos 5 y 6.

La medida de las variaciones del valor de la capacidad del tercer sensor 50 capacitivo de presión se toma entre la pista 11 conductora y la pista 16 conductora. De hecho, la pista 11 conductora está conectada al primer electrodo 1 del primer sensor 10, ella misma conectada a través de la pista 15 conductora al electrodo 5 del tercer sensor 50.

Los tres sensores 10, 30 y 50 al estar dispuestos próximos entre sí, se hace la aproximación de que la variación  $\Delta L$  de grosor es idéntica para los tres sensores 10, 30, 50 de una misma celda 20. La medida de las tres capacidades eléctricas, respectivamente del primer sensor 10 capacitivo de presión del segundo sensor 30 capacitivo de presión y del tercer sensor 50 capacitivo de presión permite deducir la intensidad y la dirección de una fuerza de compresión aplicada a lo largo del eje z, de una fuerza de cizallamiento aplicada a lo largo del eje X y de una fuerza de cizallamiento aplicada a lo largo del eje Y. Una celda 20 proporciona por tanto 6 informaciones.

Por ejemplo, para medir el cizallamiento, se mide el valor que es interesante es C [X o Y]/C [normal], siendo considerada la componente L como idéntica para capacidades adyacentes, la misma es eliminada. Se denomina C[X] a la capacidad del sensor 30, A[X] a la superficie efectiva del sensor 30, C[Y] a la capacidad del sensor 50, A[Y] la superficie efectiva del sensor 50, y C[Normal] a la capacidad del sensor 10 y A[Normal] a la superficie efectiva del sensor 10. Por aplicación de la fórmula (I), se tiene:

$$C[X] = \epsilon * A[X] / L[X]$$

$$C[Normal] = \epsilon * A[Normal] / L[Normal]$$



donde  $\epsilon$  representa la constante dieléctrica del material dieléctrico 7.

5 Se considera  $L[X]=L[\text{Normal}]$  ya que los sensores 10 y 30 están muy próximos entre sí, y que la superficie del sensor 10 de presión normal,  $A[\text{Normal}]$ , es constante.

Se deduce que:

$$10 \quad C[X]/C[\text{Normal}]=A[X]/A$$

La medida de las variaciones de la relación entre la capacidad del sensor 30 de cizallamiento según el eje X y la capacidad del sensor 10 de presión normal entre un estado inicial y durante la aplicación de una fuerza, permite deducir el valor de  $\Delta X$ . Por aplicación de la fórmula (II), se deduce la medida de la fuerza F de cizallamiento según el eje X.

15 La celda 20 de los tres sensores capacitivos está conectada a un sistema de medida por solamente cuatro pistas eléctricamente conductoras, las pistas 11, 12, 13 y 14. La pista 11 está depositada sobre la primera cara del dieléctrico 7 mientras que las pistas 12, 14 y 16 están depositadas sobre la segunda cara del dieléctrico 7. Los electrodos opuestos están sobre caras distintas, se puede emplear un diseño de electrodos en un solo plano. Esta  
20 disposición de las pistas conductora simplifica el procedimiento de fabricación en comparación a los diseños de electrodos de niveles múltiples, que necesitan más etapas de fabricación. En los sistemas de la técnica anterior, se utilizan generalmente dos pistas eléctricas independientes para cada sensor capacitivo, es decir seis pistas para tres sensores. La disposición de la celda 20 permite reducir el número de pistas eléctricas de y hacia un sistema electrónico de medida.

25 La celda está conectada a un sistema electrónico de medida a través de las pistas 11, 12, 13, 14 conductoras. Se miden, secuencialmente, las capacidades eléctricas del primer sensor 10, del segundo sensor 30 y del tercer sensor 50. De manera particularmente ventajosa, se mide cada pista con una frecuencia de 100 Hz.

30 Un inconveniente de la configuración de la celda 20, es que el potencial aplicado sobre el electrodo 1 adolece de no ser uniforme sobre toda la superficie de los electrodos 1, 3 y 5 conectados en serie, lo que afecta potencialmente a la precisión de las medidas.

35 Para una fuerza de presión normal de 100 newtons, se mide una variación de la capacidad del sensor 10 del orden de un 50%, comparado con la medida de la misma capacidad en reposo.

Para una fuerza de cizallamiento de 50 newtons según el eje X, se mide una variación de la capacidad del sensor 30 del orden de un 10%, en comparación con la medida de la misma capacidad en reposo.

40 Se elige el material dieléctrico en función de las aplicaciones. La hoja de material dieléctrico debe permanecer en su zona de elasticidad para presiones aplicadas comprendidas entre 0 y 10 kg/cm<sup>2</sup> (correspondientes a las medias de la presión plantar) y el aplastamiento máximo debe ser inferior al 50% cuando la presión aplicada es de 10 kg/cm<sup>2</sup>. Por tanto, cuando se mide la capacidad a la salida de los electrodos, respectivamente antes y después de la  
45 aplicación de una fuerza de presión, es posible calcular la variación de grosor del material dieléctrico, por ejemplo de la silicona. Por la aplicación de la ley de Hook, en la zona de elasticidad del material, se deduce de la variación del grosor L una medida de la presión aplicada. De hecho, la ley de Hook indica que la presión  $\sigma$  normal aplicada en superficie del material es igual al producto del módulo E de Young del material por el porcentaje  $\Delta L/L$  de deformación de grosor del material:

$$50 \quad \sigma = E \cdot \frac{\Delta L}{L} \quad (III)$$

Con preferencia, se utiliza un material dieléctrico elásticamente deformable por compresión y por cizallamiento, y que permanece en una zona de elasticidad para una presión normal comprendida entre 0 y 10 kg/cm<sup>2</sup>. A la presión máxima de 10 kg/cm<sup>2</sup>, el aplastamiento del material está con preferencia limitado entre un 10% y un 50% del grosor.  
55 Se define una gama de valores teóricos del módulo de Young comprendida entre 30 kg/cm<sup>2</sup> y 100 kg/cm<sup>2</sup>. En lo que concierne a las características determinadas empíricamente, el material dieléctrico debe tener una fuerza de tensión (*tensile strength*) definida por la presión aplicada máxima antes de la rotura, comprendida entre 20 y 100 MPa.

60 En otro ejemplo de realización, se elige para dieléctrico 7 una hoja de uretano de 1 mm de grosor, proporcionada por la empresa Grainger (<https://www.grainger.com/product/Foam-Sheet-13C455?functionCode=P2IDP2PCP>). La espuma de uretano es adecuada particularmente para la medida de la presión normal. El uretano tiene la ventaja de tener un buen aplastamiento y por tanto permitir una buena resolución espacial de medida. Además, el uretano presenta una histéresis reducida.

En otro ejemplo de realización, se elige para dieléctrico 7 una hoja de espuma de poliuretano. Este material tiene la ventaja de presentar una histéresis muy reducida, alrededor de un 6%. Este material es particularmente adecuado para las aplicaciones de medida esencialmente de la presión normal.

5 En la figura 5, se ha representado una medida de variación de la capacidad C (en pF) en función de una fuerza P de presión normal (en N/cm<sup>2</sup>) aplicada sobre un sensor de presión según un ejemplo de realización de la invención, aplicando una fuerza de presión creciente y después decreciente. El material dieléctrico es en este caso el uretano. Estas medidas ilustran el efecto de histéresis del sensor, que permanece no obstante limitada a menos de un 7% para el uretano. Este efecto de histéresis puede producir incertidumbres importantes en las medidas, ya que no se  
10 dispone en general de la información para determinar si se ha colocado sobre la curva de presión creciente o decreciente).

En otro ejemplo, el dieléctrico 7 es una espuma de poliuretano, de 1 mm de grosor. La espuma de poliuretano es adecuada particularmente para las aplicaciones con medida de fuerzas de presión normal.

15 En un ejemplo de realización, se elige para dieléctrico 7 un elastómero, por ejemplo una hoja de silicona de 1 mm de grosor, que tiene una dureza comprendida entre 10 y 20 de la marca Nusil. La dureza está relacionada con el módulo E de Young por una relación empírica. En otro ejemplo de realización, se elige para dieléctrico 7 una hoja de silicona de grosor de 0,5 mm, por ejemplo de la empresa Nusil, con referencia MED 4901. La silicona es particularmente adecuada para las aplicaciones con la medida de fuerzas de cizallamiento. El inconveniente de la  
20 silicona es que presenta una histéresis importante, que se sitúa alrededor de un 30%.

En otro ejemplo de realización, se elige para dieléctrico 7 una hoja de corcho que tiene la ventaja de tener un módulo de Poisson extremadamente reducido ( $\nu=0$ ).

25 Los electrodos y las pistas conductoras son por ejemplo depositados o imprimidos sobre dos hojas 8, 9 ultradelgadas de kapton. Una hoja 9 de kapton que porta los electrodos 1, 3, 5 y las pistas 11, 13, 15 conductoras está pegada sobre una cara de la hoja de dieléctrico 7. Otra hoja 8 de kapton que portan los electrodos 2, 4, 6 y las pistas 12, 14, 16 conductoras está pegada sobre la otra cara de la hoja de dieléctrico 7.

30 En la figura 4, se representa una variante de una celda 20 de sensores de presión. Los mismos signos de referencia designan elementos idénticos a los de la figura 1. En particular, la estructura y el funcionamiento de los sensores 30 y 50 son idénticos a los de los sensores descritos en relación con la figura 1. En la variante de la figura 4, la forma y las dimensiones de los electrodos 1, 2 del primer sensor 10 de presión son diferentes a las del sensor 10 de la celda  
35 ilustrada en la figura 1. En la variante de la figura 4, el primer electrodo 1 está formado de un cuadrado cuya longitud de lado es inferior a las dimensiones del electrodo 2. El electrodo 2 está formado de dos porciones de electrodos conectadas en serie. Por ejemplo, el electrodo 2 está formado de dos rectángulos separados por un canal que se extiende a lo largo de la dirección X y conectados en serie por una pista conductora. La superficie del primer electrodo 1 no cubre totalmente la superficie del segundo electrodo 2. En este caso, la superficie del primer electrodo es inferior a la superficie del segundo electrodo 2. La superficie S12 del condensador formado por el dieléctrico entre los electrodos 1 y 2, está en este caso constituida por dos rectángulos y no por un cuadrado. Por  
40 otra parte, la pista 16 conductora no está en prolongación de un rectángulo del peine de los electrodos 6. No obstante, el funcionamiento del sensor 10 de la figura 4 es análogo al del sensor 10 de la figura 1.

45 De manera general, los electrodos 1 y 2 del primer sensor están configurados de manera que, cuando el sensor 10 está sometido a una fuerza de cizallamiento a lo largo de la dirección X o Y, en el límite de la deformación elástica del material dieléctrico 7, la superficie S12 permanece constante. De manera evidente para el experto en la técnica, la estructura y la forma de los electrodos 1 y 2 son intercambiables. Del mismo modo, los electrodos 3 y 4 son intercambiables, así como los electrodos 5 y 6.

50 En un ejemplo de realización, una celda 20 de sensores ocupa una superficie cuadrada de 1 cm de lado. Es posible integrar un gran número de celdas 20 de sensores sobre una misma hoja de material dieléctrico para formar una red de sensores de alta resolución espacial. Cuanto más pequeña es la superficie de una celda, más aumenta la resolución espacial (número de sensores por cm<sup>2</sup>). No obstante, estamos limitados por el grosor del dieléctrico 7  
55 actualmente disponible en el mercado. De hecho, si se quiere disminuir el tamaño del sensor, hace falta disminuir las superficies S enfrentadas, o el grosor L debe ser pequeño frente al tamaño característico S para poder colocarse en las proximidades de un condensador plano.

60 En la figura 6 se ha representado en vista superior un ejemplo de red de sensores de presión. Esta red 100 comprende un conjunto de celdas 20 de sensores de presión, tales como las descritas en relación con la figura 1, estas celdas están dispuestas en una matriz sobre una misma hoja delgada de material dieléctrico 7 eléctricamente deformable. De manera particularmente ventajosa, las celdas 20 están dispuestas según líneas y columnas.

65 En la figura 6, como en la figura 1, se han representado en proyección los electrodos y las pistas conductoras de la red de sensores de presión. La red 100 comprende por ejemplo dos líneas y tres columnas de celdas de varios sensores de presión. Por ejemplo, los electrodos se fabrican por una técnica de circuito impreso (PCB) y la red se

desarrolla utilizando un software Eagle. En este caso, las celdas 20 de una misma red son, con preferencia, idénticas entre sí. La estructura de una celda 20 es idéntica a la descrita en relación con la figura 1. De manera general, una celda 20 comprende electrodos 1, 3 y 5 sobre una cara del material dieléctrico 7 y electrodos 2, 4 y 6 sobre la otra cara del material dieléctrico 7. Los electrodos 1 y 2 forman un sensor capacitivo de presión normal, sensible a las variaciones  $\Delta L$  de grosor del material dieléctrico 7. Los electrodos 3 y 4, en forma de peine, desplazados entre sí, forman un sensor capacitivo de presión por cizallamiento sensible a una fuerza de cizallamiento aplicada a lo largo de la dirección X. Los electrodos 5 y 6, en forma de peine, desplazados entre sí, forman un sensor capacitivo de presión por cizallamiento sensible a una fuerza de cizallamiento aplicada a lo largo de la dirección Y. De forma ventajosa, el electrodo 1 está conectado al electrodo 3 por una pista 13 conductora. De manera análoga, el electrodo 1 está conectado al electrodo 5 por una pista 15 conductora. Por tanto, una celda 20 de sensores de presión controlada por solamente cuatro pistas conductoras externas permite proporcionar seis informaciones de presión, es decir medidas de presión en 3D, con indicación del sentido de la presión aplicada.

La red 100 comprende, en este caso, varias celdas con sensores de presión dispuestas en línea y en columnas.

Una pista 1100 conductora está conectada al electrodo 1 de una primera celda situada en la intersección de una primera línea y de una primera columna. Esta pista 1100 se prolonga para conectar eléctricamente el electrodo 5 de una celda con sensores de presión al electrodo 1 de otra celda inmediatamente adyacente en la misma columna. Por tanto, los electrodos 1, 3 y 5 de todas las celdas de la primera columna están conectados en serie.

De manera similar, otra pista 1101 conductora está conectada al electrodo 1 de una celda en una segunda columna de la red 100. Esta pista 1101 se prolonga para conectar eléctricamente el electrodo 5 de una celda con sensores de presión al electrodo 1 de otra celda inmediatamente adyacente a la segunda columna. Por tanto, los electrodos 1, 3 y 5 de todas las celdas 20 de la segunda columna están conectados en serie.

Del mismo modo, otra pista 1102 conductora está conectada al electrodo 1 de una celda en una tercera columna de la red 100. Esta pista 1102 se prolonga para conectar eléctricamente el electrodo 5 de una celda con sensores de presión al electrodo 1 de otra celda inmediatamente adyacente a la tercera columna. Por tanto, los electrodos 1, 3 y 5 de todas las celdas 20 de la tercera columna están conectados en serie.

Por otro lado, otra pista 1200 conductora está conectada al electrodo 2 de la primera celda situada en la intersección de la primera línea y de la primera columna. Esta pista 1200 se prolonga para conectar eléctricamente el electrodo 2 de una celda con sensores de presión al electrodo 2 de otra celda inmediatamente adyacentes sobre la primera línea, y así sucesivamente. Por tanto, los electrodos 2 de todas las celdas de la primera línea están conectados en serie a la pista 1200.

Otra pista 1400 conductora está conectada al electrodo 4 de la primera celda situada en la intersección de la primera línea y de la primera columna. Esta pista 1400 se prolonga para conectar eléctricamente el electrodo 4 de una celda con sensores de presión al electrodo 4 de otra celda inmediatamente adyacente sobre la primera línea, y así sucesivamente. Por tanto, los electrodos 4 de todas las celdas de la primera línea están conectados en serie a la pista 1400.

De manera análoga, otra pista 1600 conductora está conectada al electrodo 6 de la primera celda situada en la intersección de la primera línea y de la primera columna. Esta pista 1600 se prolonga para conectar eléctricamente el electrodo 6 de una celda con sensores de presión al electrodo 6 de otra celda inmediatamente adyacente sobre la primera línea, y así sucesivamente. Por tanto, los electrodos 6 de todas las celdas de la primera línea están conectados en serie a la pista 1600.

De la misma manera, en la segunda línea, los electrodos 2 de todas las celdas de la segunda línea están conectados en serie a la pista 1201. Los electrodos 4 de todas las celdas de la segunda línea están conectados en serie a la pista 1401 y los electrodos 6 de todas las celdas de la segunda línea están conectados en serie a la pista 1601.

Por tanto, se obtiene una red que comprende seis celdas dispuestas en dos líneas y tres columnas, que está conectada eléctricamente a un sistema exterior de polarización y de medida por medio de pistas 1100, 1101, 1102, 1200, 1400, 1600, 1201, 1401, 1601 conductoras, es decir un total de 9 pistas conductoras. Sin embargo, cada celda de sensores proporciona seis medidas, es decir en total para las seis celdas 36 medidas.

Se direcciona secuencialmente cada celda de la red 100 de los sensores seleccionando una línea y una columna. El sistema electrónico está adaptado para medir capacidades entre 1 y 20 pF. La arquitectura de la red permite una densidad muy grande de sensores capacitivos de presión con un número muy reducido de pistas conductoras de conexión con un sistema exterior de medida de capacidad. Una red de sensores en el cual cada celda de 3 sensores ocupa una superficie de 1 cm de lado ha sido probada con éxito. Para sensores de presión normal únicamente, se puede aumentar la densidad hasta 3 o 4 sensores por  $\text{cm}^2$ .

La disposición de los sensores permite utilizar toda la superficie disponible, y proporcionar medidas de presión

normal y de fuerza de cizallamiento con una buena sensibilidad, y una buena precisión.

En la figura 7 se ha representado un ejemplo de un esquema de red de electrodos 1 destinados a ser fijado sobre una primera cara de una hoja de material dieléctrico 7. Las pistas 1100, 1101, 1102, ..., 1109 conductoras conectan en serie los electrodos 1 por columnas. La red de electrodos 1 y de pistas 1100, 1101, 1102, ..., 1109 conductoras está impresa sobre un soporte 9, por ejemplo un circuito impreso o una hoja delgada de kapton de grosor comprendido entre 50 y 100 micrones. Una alternativa al kapton es el poliéster, que tiene la ventaja de ser menos costoso, pero de presentar una menor resistencia al calor (80 °C máx). Se imprimen referencias A, B, C, D simultáneamente sobre el soporte 9 para permitir la alineación de los electrodos con respecto a la hoja de material dieléctrico 7, conforme al esquema eléctrico previsto.

En la figura 8 se ha representado un esquema de la red de electrodos 2 destinados a ser fijado sobre la cara opuesta del material dieléctrico 7. Las pistas 1200, 1201, ..., 1208, 1209 conductoras conectan en serie los electrodos 2 por líneas. La red de electrodos y de pistas 1200, 1201, ..., 1208, 1209 conductoras se imprime sobre un soporte 8, por ejemplo un circuito impreso u otra hoja delgada de kapton. Se imprimen referencias E, F, G, H simultáneamente sobre el soporte 8.

Se coloca el soporte 9 sobre una cara del material dieléctrico, después se coloca el soporte 8 sobre la cara opuesta del material dieléctrico 7, de manera que se alinea la referencia C con la referencia H, respectivamente la referencia B con la referencia E, la referencia D con la referencia G, y finalmente la referencia A con la referencia F.

En las figuras 7 y 8, se observa que, para una red de 10 líneas y 10 columnas, que comprende por tanto 100 celdas de sensores, son suficientes 20 pistas conductoras para efectuar secuencialmente todas las medidas de presión. Para una red 100 de celdas de sensores de presión en tres dimensiones, correspondiente a 300 sensores, es suficiente conectar la red por 40 pistas conductoras para efectuar secuencialmente todas las medidas de presión por compresión y por cizallamiento.

Las medidas de todos los sensores de una red de sensores no se efectúan simultáneamente, contrariamente a los sistemas en los que cada sensor está direccionado independientemente.

Esta red de sensores permite simultáneamente aumentar la densidad de sensores de presión, lo que permite obtener una buena resolución espacial, a la vez que se limita el número de pistas conductoras hacia el exterior.

En la figura 9, se ha representado esquemáticamente una red 100 de sensores capacitivos de presión destinada a formar una plantilla. La red comprende 188 sensores dispuestos en 29 líneas y 9 columnas en el plano XY. Los sensores están dispuestos según un esquema predeterminado correspondiente a la forma general de un pie.

La figura 10 ilustra esquemáticamente un ejemplo de representación gráfica de las medidas de presión obtenidas por medio de una plantilla con sensores tal como se representa en la figura 9. En la figura 10, la medida de presión normal es representada según cuadrados, que corresponden a la resolución espacial de la plantilla. Un código de color permite representar el reparto de los valores de presión normal según el eje z medidos en función de la posición en XY del sensor. La medida de fuerza de cizallamiento se representa simultáneamente en la figura 10 en forma de flechas: la dirección de las flechas representa la dirección de la fuerza de cizallamiento, resultante de la medida de la fuerza de cizallamiento según la dirección X y según la dirección Y. La intensidad de la medida de la fuerza de cizallamiento se representa en este caso utilizando un código de colores para las flechas.

La figura 11 ilustra esquemáticamente otro ejemplo de representación gráfica de las medidas de presión obtenidas por medio de una plantilla con sensores tal como se representa en la figura 9. Las medidas de presión normal son representadas de manera análoga a la figura 10, por cuadrados cuyo color está codificado en función de la amplitud de la fuerza de compresión según la dirección Z medidas en función de la posición en XY. La medida de fuerza de cizallamiento se representa simultáneamente en la figura 11 en forma de flechas: la dirección de las flechas representa la dirección de la fuerza de cizallamiento, resultante de la medida de la fuerza de cizallamiento según la dirección X y según la dirección Y. La longitud de las flechas representa en este caso la intensidad de la medida de la fuerza de cizallamiento.

La representación gráfica de las medidas de presión proporciona al usuario el reparto de las fuerzas de presión sobre la superficie del sensor con una resolución de varias decenas de sensores sobre una plantilla. El sensor proporciona para cada sensor elemental, la intensidad, la dirección y el sentido de la fuerza aplicada en el centro de cada celda de sensores, de ahí el interés de tener un máximo de sensores y una resolución espacial lo más fina posible. La red de sensor permite determinar precisamente el punto de aplicación de la fuerza de presión.

La representación de las medidas de presión ilustrada en las figuras 10 y 11 permite inmediatamente a un usuario sin cualificación particular conocer el reparto espacial de las fuerzas de presión sobre la plantilla con red de sensores.

Las medidas pueden ser repetidas con una cadencia elevada, lo que permite corregir una postura no adaptada.

En el campo médico, una red de sensores integrada en una plantilla encuentra en especial aplicaciones como herramienta de diagnóstico para los profesionales del pie (podólogos, podó-ortopedistas,...), Como herramienta de ayuda para la reeducación física, o como plantilla de prevención usada a diario por un paciente diabético que sufre de neuropatía. Una red de sensores de presión puede estar integrada en una alfombra como herramienta de diagnóstico del podólogo. Integrada en una tela o una prenda de vestir sobre una superficie más importante, el sistema con red de sensores puede utilizarse como capa de prevención de escaras para las personas discapacitadas. Colocadas sobre el pasamanos de las ruedas de una silla de ruedas, un sistema con red de sensores permite cuantificar la interacción con las manos de los hemipléjicos. La detección de puntos de apoyo del cuerpo o del pie de un paciente y la medida del reparto de fuerzas de presión pueden permitir mejorar la prevención de escaras o la prevención de heridas del pie para las personas que sufren diabetes.

Una plantilla con red de sensores puede también encontrar aplicaciones como herramienta de medida para los vendedores de calzados personalizados (deportivos, calzados de lujo,...).

De manera particularmente ventajosa, el sistema con red de sensores está conectado por conexión inalámbrica a una caja de control.

En el campo deportivo, una plantilla con red de sensores usada por un deportista, le permite cuantificar su carrera.

Las aplicaciones de la invención no se limitan en ningún caso a las aplicaciones en el campo médico o deportivo, los sensores de medida de presión pueden hoy en día conectarse a un teléfono inteligente y encontrar aplicaciones de automedida destinadas al gran público.

En el campo recreativo, una plantilla con red de sensores de presión puede conectarse a un videojuego para reemplazar un mando de juego.

Se contemplan otras aplicaciones recreativas, tales como una alfombra de baile conectada, o un detector de choque en los cascos de fútbol americano.

#### Procedimiento

Se contemplan diferentes procedimientos de fabricación para fabricar una red de sensores de presión en el ámbito de la invención.

En un primer modo de realización, se utiliza la tecnología clásica de circuitos impresos (PCB) con preferencias sobre un soporte flexible (FPCB). Según esta técnica, los electrodos se fabrican sobre soportes 8 y 9 eléctricamente aislantes, que son a continuación fijados sobre las caras opuestas de una hoja de material dieléctrico 7. Con preferencia, los electrodos y las pistas conductoras son de cobre o de plata.

Como se indicó más arriba, para cada soporte, la técnica de fabricación se basa en un solo nivel de electrodos. La fabricación de pistas conductoras en un solo nivel es rápida y produce un circuito eléctrico más fiable que un circuito eléctrico de varios niveles conectados por vías. Esta ventaja es decisiva en las aplicaciones específicas en las que la red de sensores está sometida a fuerzas de compresión y y/o de cizallamiento relativamente importantes, en comparación con las aplicaciones táctiles.

Por tanto, se obtiene un sistema que comprende una hoja delgada de dieléctrico 7 dispuesta intercalada entre dos soportes 8 y 9 flexibles, estando fijados los electrodos sobre las caras opuestas del dieléctrico y protegidos por los soportes 8, 9 flexibles.

Una conexión por cable o inalámbrica permite conectar eléctricamente las pistas conductoras de la red de sensores a un sistema externo de medida.

En otro modo de realización, se imprimen directamente los electrodos y las pistas conductoras sobre una hoja delgada de material dieléctrico. A este efecto, se utiliza ventajosamente una impresora de tinta metálica (por ejemplo del tipo Fujifilm Dimatix Materials Printer DMP-2800 Series) para imprimir los electrodos 1, 3, 5 y las pistas 11, 13, 15, 1100, 1101, ...1109 conductoras sobre una primera cara del material dieléctrico, y después se imprimen los otros electrodos 2, 4, 6 y las otras pistas 12, 14, 16, 1200, 1201, ...1209, 1400, ..., 1600, 1601, ..., conductoras sobre la otra cara del material dieléctrico. Con preferencia, se utiliza una tinta metálica compuesta de cobre o de plata. A título de ejemplo, la tinta es una tinta de plata de la empresa Inktec, con referencia TEK-IJ-020, compuesta de un 20% de plata en peso. Este procedimiento es más rápido que el procedimiento que pasa por un PCB. Actualmente menos preciso que un procedimiento PCB pero incluso bastante costoso, es muy probable que el coste de la técnica de impresión con tinta metálica baje y que la precisión de impresión con tinta metálica mejore notablemente en los próximos años.

En otro modo de realización, ilustrado en las figuras 12 y 13, se fabrica una plantilla que comprende únicamente

sensores de presión. Se imprimen los electrodos y las pistas conductoras por serigrafía monocapa sobre una hoja delgada de PET que tenga un grosor de aproximadamente 100 micrones. Se imprimen los primeros electrodos tales como los representados en la figura 12 y los segundos electrodos tales como los representados en la figura 13.

- 5 En un ejemplo de realización, los primeros electrodos y los segundos electrodos se imprimen en dos zonas adyacentes sobre una misma hoja de PET. En este caso, los primeros electrodos y los segundos electrodos pueden imprimirse simultáneamente. En las inmediaciones de cada patrón de electrodo, se imprimen también sobre la hoja de PET referencias en forma de cruces que permiten la alineación de los patrones de electrodos.
- 10 Se recorta la hoja de PET para separar, por un lado, el patrón de los primeros electrodos y, por otro lado, el patrón de los segundos electrodos. En otro ejemplo de realización, los primeros electrodos y los segundos electrodos se imprimen respectivamente sobre dos hojas distintas de PET.

- 15 Se pega una hoja de PET que porta el patrón de los primeros electrodos sobre una cara de una hoja de material dieléctrico elásticamente deformable, por ejemplo de espuma de elastómero que tenga un grosor de aproximadamente 1 mm. Se pega otra hoja de PET que porta los patrones de los segundos electrodos sobre la otra cara de la hoja de espuma de elastómero de poliuretano. De forma ventajosa, la hoja de espuma de elastómero de poliuretano comprende aberturas que permiten alinear las referencias en forma de cruces dispuesta sobre la cara que porta los primeros electrodos con respecto a las referencias en forma de cruces de la otra cara que porta los segundos electrodos. Por tanto, se obtiene una alineación inicial del primer y segundo electrodo de cada sensor de presión. Después del secado del pegamento, se recorta la forma exterior de la plantilla.
- 20

- En el ejemplo ilustrado en las figuras 12-13, la plantilla 60 comprende sensores de presión. Los primeros electrodos están conectados en serie por 11 líneas que forman 11 pistas conductoras destinadas a estar conectadas a un sistema electrónico. Los segundos electrodos están conectados en serie por 12 columnas que forman 12 pistas conductoras destinadas a estar conectadas a un sistema electrónico. Cada sensor de presión representado por un disco está en la intersección de una línea y de una columna, permitiendo por tanto el direccionamiento de cada uno de los 60 sensores de presión individualmente. El sistema está conectado únicamente por un total de  $11 + 12 = 23$  líneas conductoras. Esta plantilla ofrece por tanto una red de sensores de presión que tiene una densidad y una resolución espacial elevada, a la vez que limita el número de conexiones eléctricas.
- 25
- 30

En otro ejemplo de realización, se fabrica una plantilla de sensores que comprende 69 sensores de presión, dispuestos según 11 líneas y 16 columnas, que comprende por tanto en total solamente 27 conexiones eléctricas.

- 35 Por supuesto, la disposición de los sensores de presión, de las líneas y de las columnas se puede variar a voluntad, para adaptarse al tamaño del pie o a las necesidades específicas.

**REIVINDICACIONES**

1. Sistema con red de sensores de presión y de cizallamiento que comprende:

5 - una hoja de material dieléctrico (7) elásticamente deformable por compresión y por cizallamiento, teniendo la hoja de material dieléctrico (7) una primera cara y una segunda cara;

caracterizado porque el sistema con red de sensores comprende:

10 - una red (100) que comprende una pluralidad de celdas (20) de sensores de presión, estando dispuestas las celdas (20) según al menos tres líneas y al menos tres columnas, comprendiendo cada celda (20) un primer sensor (10) capacitivo de presión normal según una primera dirección (Z), y en el cual al menos una celda (20) de la red (100) comprende además un segundo sensor (30) capacitivo de cizallamiento según una segunda dirección (X) y un tercer sensor (50) capacitivo de cizallamiento según una tercera dirección (Y),

15 - estando constituido cada sensor (10, 30, 50) capacitivo por un primer electrodo (1, 3, 5) fijado sobre la primera cara de la hoja de material dieléctrico (7) y por un segundo electrodo (2, 4, 6) fijado sobre la segunda cara de la hoja de material dieléctrico (7),

20 - estando conectados dichos primeros electrodos (1, 3, 5) de los sensores (10, 30, 50) capacitivos de una celda (20) en serie a una primera pista (11) eléctricamente conductora que conecta una línea de celdas de la red de sensores;

25 - estando conectado el segundo electrodo (2) del sensor (10) capacitivo de presión normal de una celda (20) a una segunda pista (12) eléctricamente conductora que conecta una columna de sensores (10) capacitivos de presión normal de la red de sensores, estando conectado el segundo electrodo (4) del sensor (30) capacitivo de cizallamiento según la segunda dirección (X) a una tercera pista (14) eléctricamente conductora que conecta una línea de sensores (30) capacitivos de cizallamiento según la segunda dirección (X) de la red de sensores estando conectado el segundo electrodo (6) del sensor (50) capacitivo de cizallamiento según la tercera dirección (Y) a una cuarta pista (16) eléctricamente conductora que conecta una columna de sensores (50) capacitivos de cizallamiento según la tercera dirección (Y) de la red de sensores, teniendo dichos primer y segundo electrodos (3, 4, 5, 6) sensores (30, 50) capacitivos de cizallamiento en forma de peine,

30 y porque el sistema con red de sensores comprende medios de direccionamiento adaptados para medir la capacidad electrónica de un sensor (10, 30, 50) capacitivo situado en la intersección de una línea y de una columna, dicha línea correspondiente a una primera pista (11) conectada a dicho primer electrodo (1, 3, 5) y dicha columna correspondiente a otra pista (12, 14, 16) conectada a uno de dichos segundos (2, 4, 6) electrodos.

35 2. Sistema con red de sensores de presión y de cizallamiento según la reivindicación 1, en el cual la hoja de material dieléctrico (7) elásticamente deformable por compresión y por cizallamiento es de un material elegido entre: un corcho con micro arquitectura, un elastómero, un caucho, un uretano, una silicona, una goma de butilo, un polímero, un neopreno, un poliuretano, un polisopreno o una espuma de uretano.

40 3. Sistema con red de sensores de presión y de cizallamiento según una de las reivindicaciones 1 a 2, en el cual dicho primer electrodo (1, 3, 5) y dicha primera pista (11) eléctricamente conductora se imprimen en una hoja (9) de material eléctricamente aislante y flexible, y, respectivamente, en el cual dicho segundo electrodo (2, 4, 6) y dichas otras pistas (12, 14, 16) eléctricamente conductoras se imprimen sobre otra hoja (8) de material eléctricamente aislante y flexible.

45 4. Sistema con red de sensores de presión y de cizallamiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el cual la primera pista (11) eléctricamente conductora y la segunda pista (12) eléctricamente conductora de una celda (20) están conectadas a un sistema electrónico adaptado para medir una variación de la capacidad eléctrica del sensor (10) capacitivo de presión normal, estando adaptado el sistema electrónico para deducir una fuerza de presión normal aplicada sobre dicho sensor (10) capacitivo de presión normal a lo largo de la primera dirección (Z).

50 5. Sistema con red de sensores de presión y de cizallamiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la primera pista (11) eléctricamente conductora y la tercera pista (14) eléctricamente conductora de una celda (20) están conectadas a dicho sistema electrónico, que está adaptado para medir una variación de la capacidad electrónica del segundo sensor (30) capacitivo de fuerza de cizallamiento según la segunda dirección (X), estando adaptado el sistema electrónico para deducir la amplitud y el sentido de una fuerza de cizallamiento aplicada sobre dicho sensor (20) capacitivo de fuerza de cizallamiento a lo largo de la segunda dirección (X).

55 6. Sistema con red de sensores de presión y de cizallamiento según la reivindicación 5, en el cual la primera pista (11) eléctricamente conductora y la cuarta pista (16) eléctricamente conductora de una celda (20) están conectadas a dicho sistema electrónico, que se adapta para medir una variación de la capacidad eléctrica de un tercer sensor (50) capacitivo de cizallamiento según la tercera dirección (Y), estando adaptado el sistema electrónico para deducir la amplitud y el sentido de una fuerza de cizallamiento aplicada sobre dicho tercer sensor (50) capacitivo de

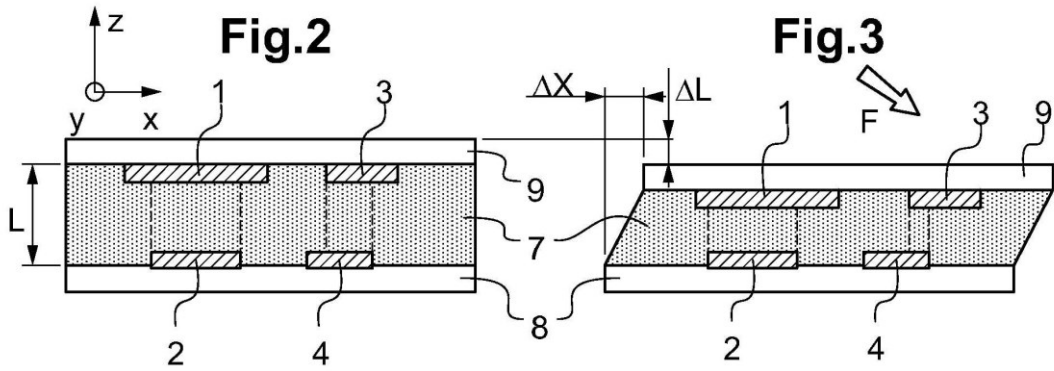
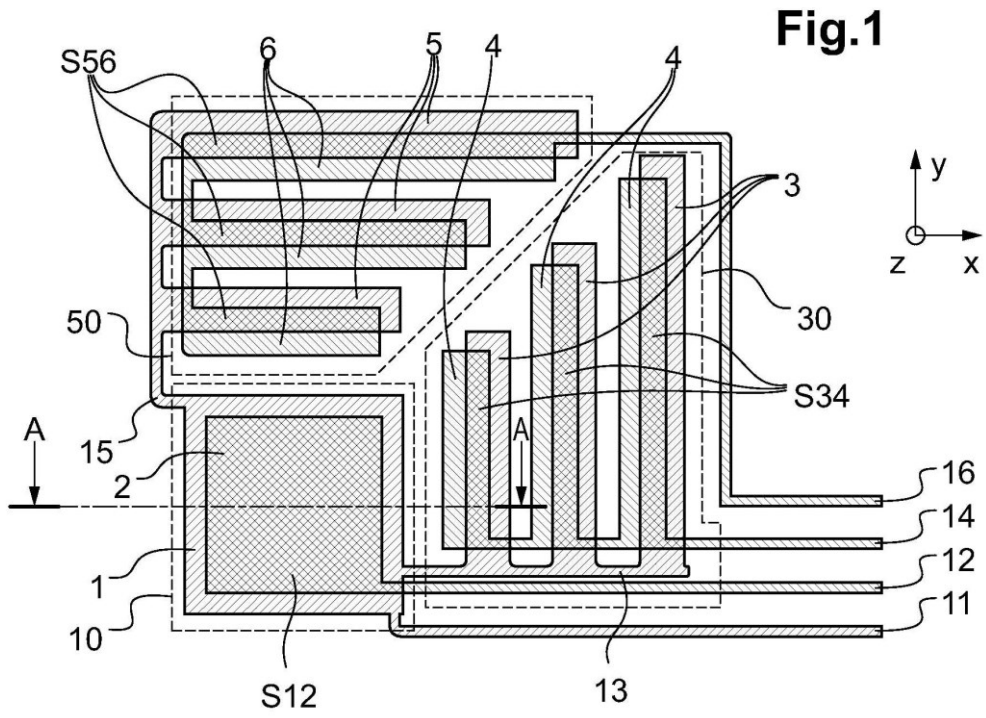
cizallamiento a lo largo de la tercera dirección (Y).

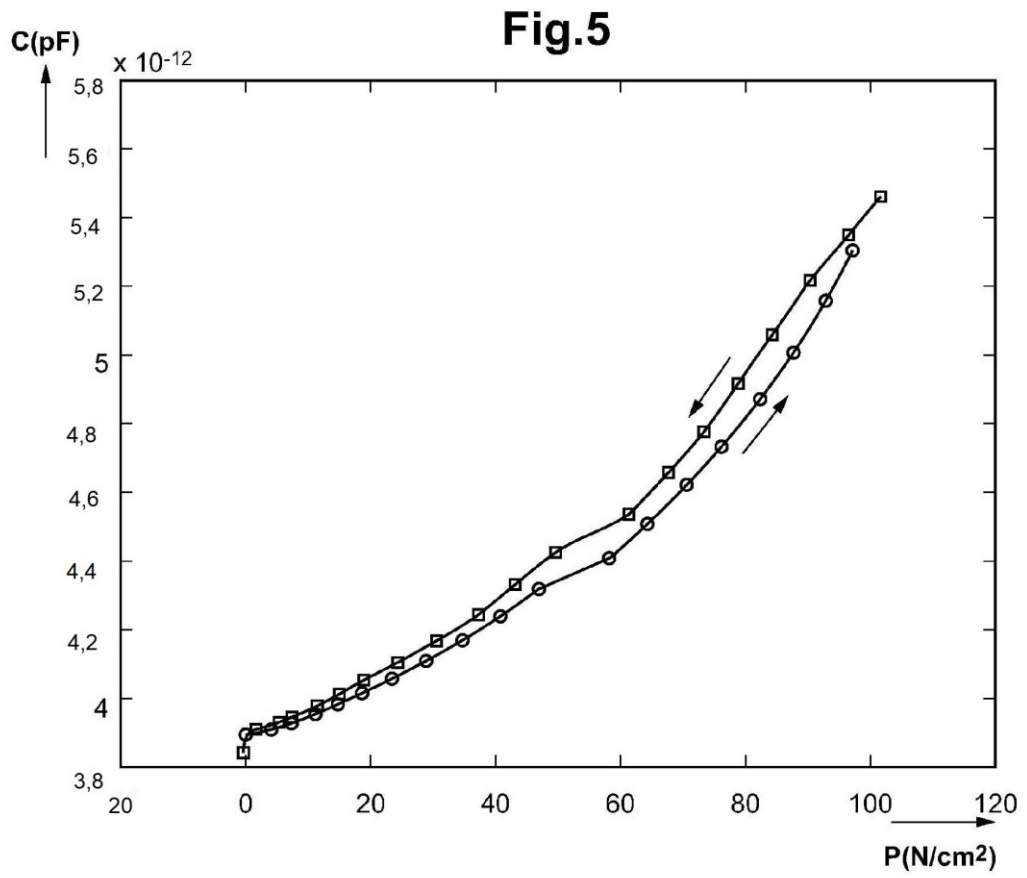
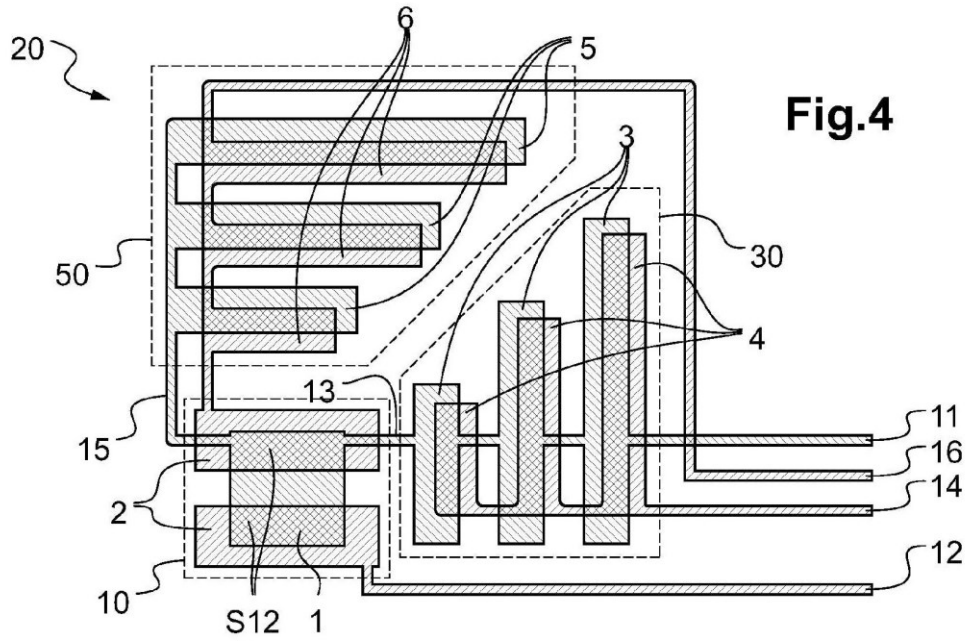
5 7. Sistema con red de sensores de presión y de cizallamiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el cual dichas pistas (11, 12, 14, 16) eléctricamente conductoras están conectadas a medios de medida de una variación de la capacidad eléctrica de sensor (10, 30, 50) capacitivo por conexiones por cable o inalámbricas.

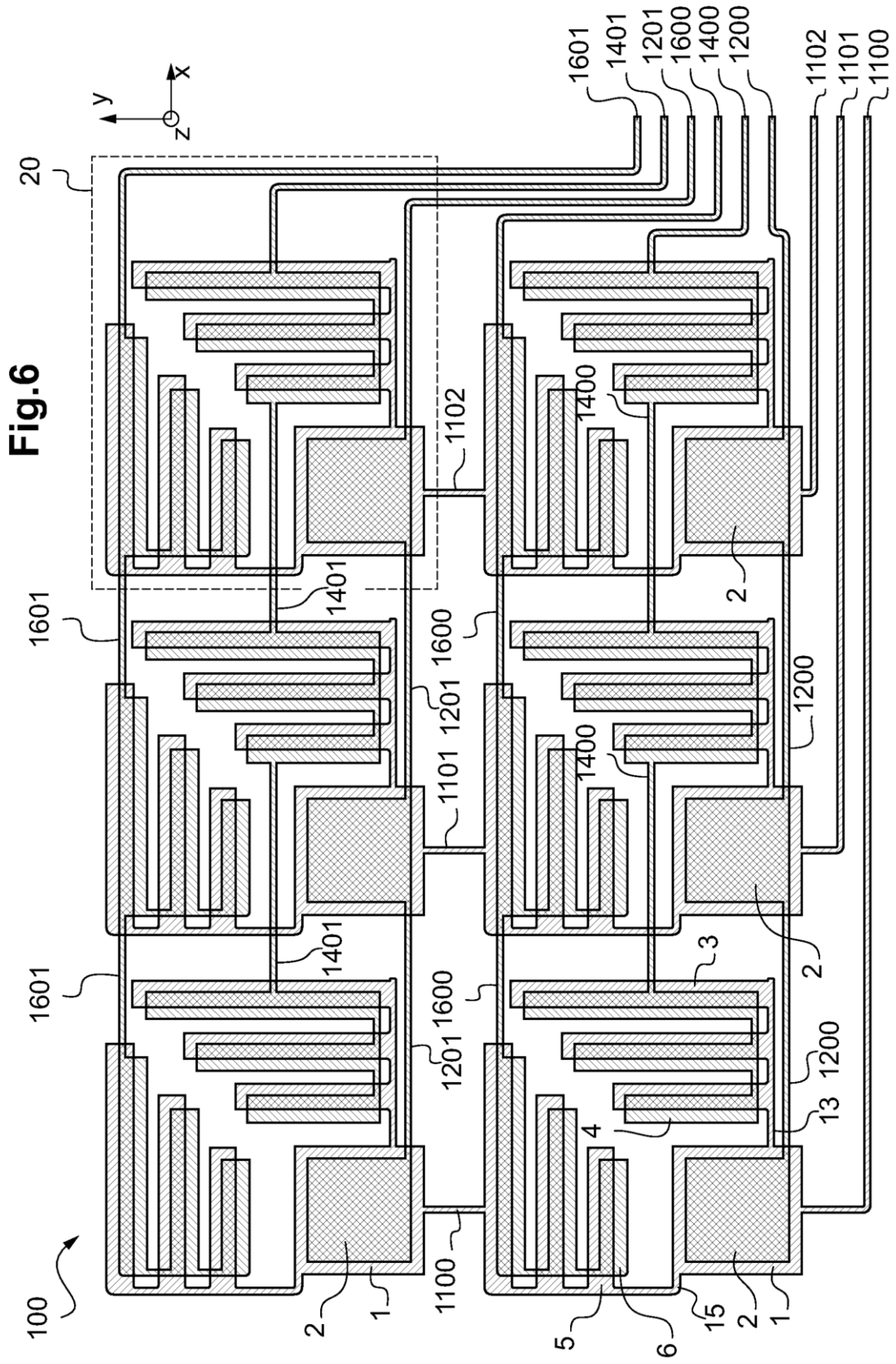
10 8. Sistema con red de sensores de presión y de cizallamiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende un dispositivo de visualización de las medidas de fuerza de presión y/o de cizallamiento en el cual el dispositivo de visualización está configurado para representar gráficamente, en función de la disposición de la red del sensor, la presión normal medida para cada celda de la red de sensor y/o simultáneamente la amplitud y la dirección de la forma de cizallamiento medida por cada celda de la red de sensor.

9. Plantilla para calzado que comprende un sistema con red de sensores de presión y de cizallamiento según una de las reivindicaciones 1 a 8.

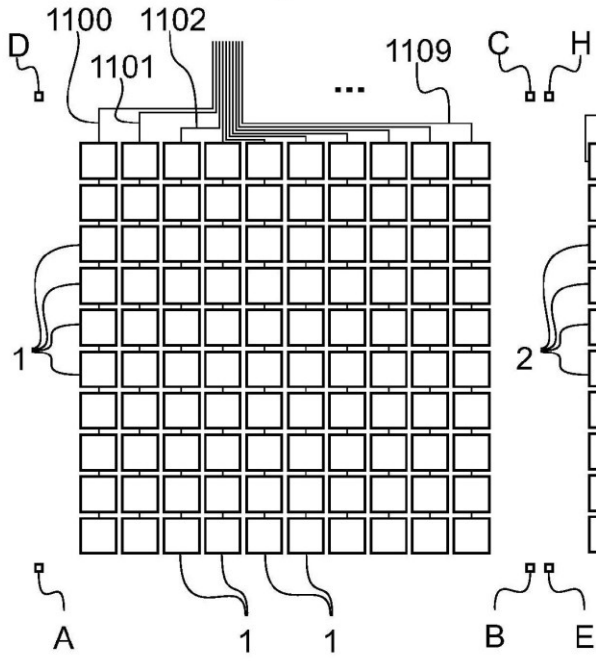




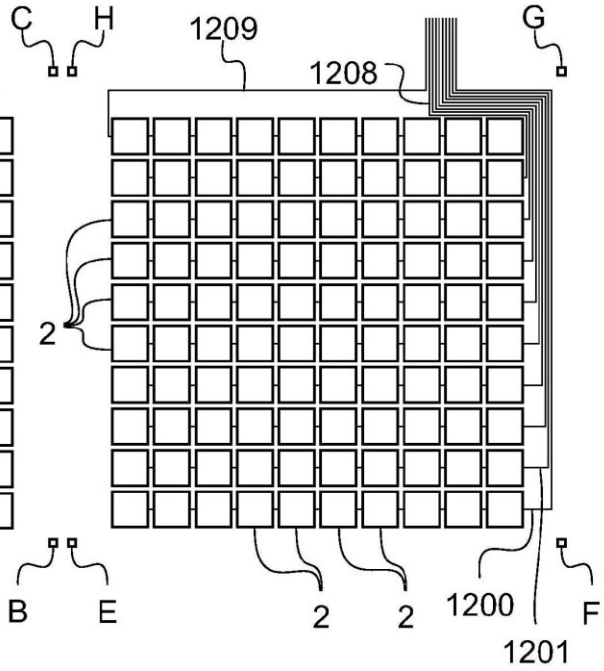




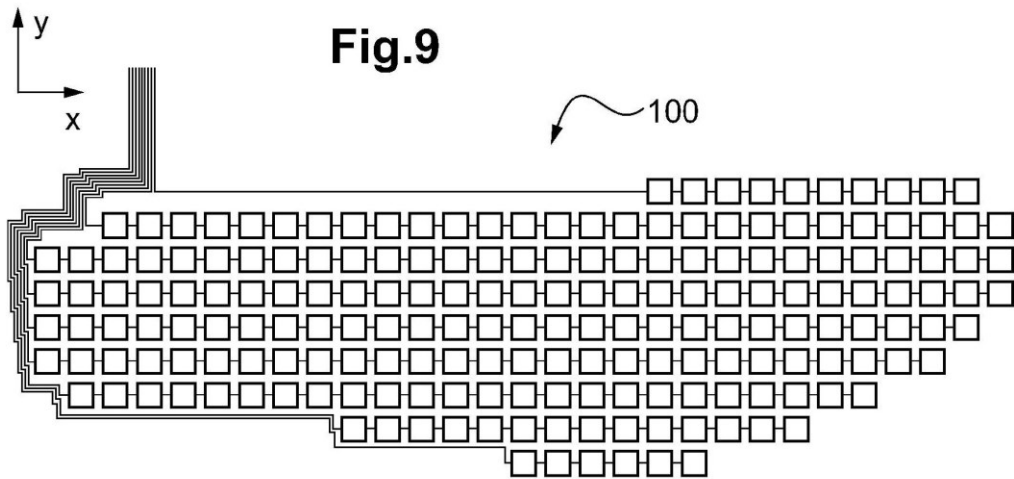
**Fig.7**



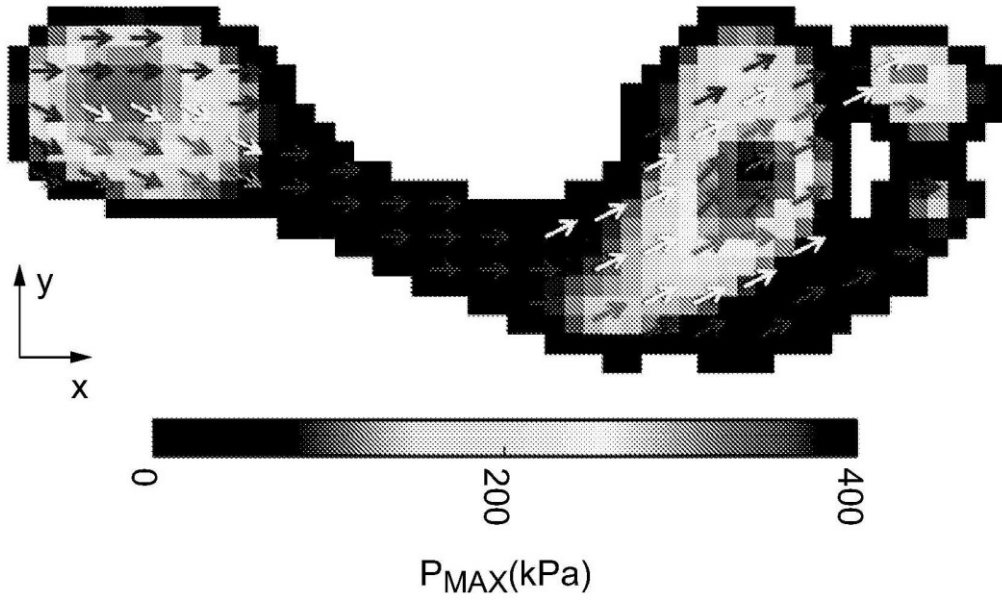
**Fig.8**



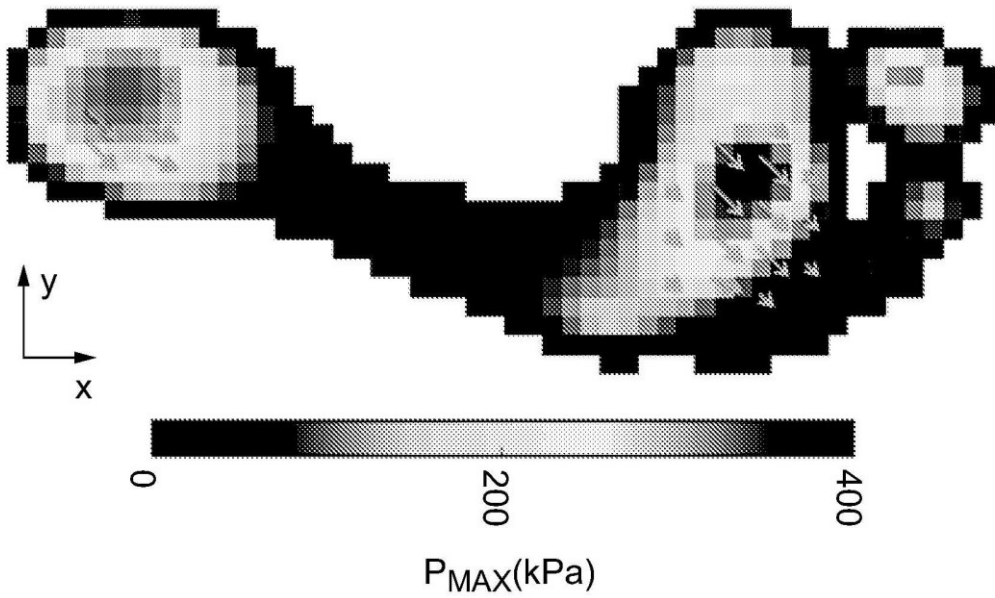
**Fig.9**



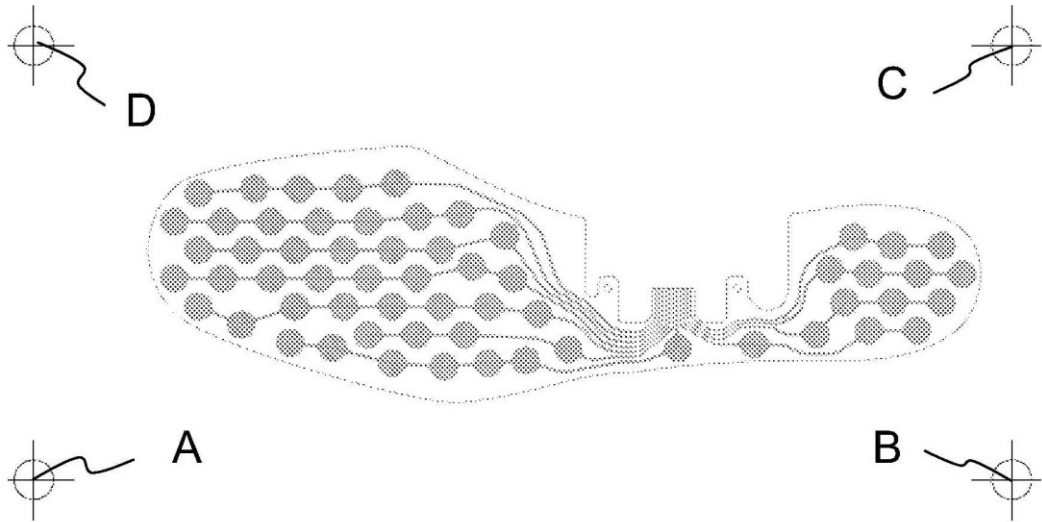
**Fig.10**



**Fig.11**



**Fig. 12**



**Fig. 13**

