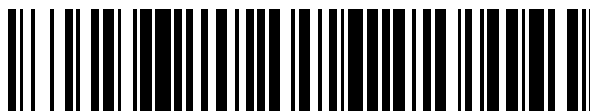


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 652 265**

51 Int. Cl.:

G01L 9/00 (2006.01)

G01L 19/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.06.2015** **E 15171268 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.09.2017** **EP 3032235**

54 Título: **Sensor de presión semiconductor**

30 Prioridad:

10.12.2014 WO PCT/EP2014/077230

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

01.02.2018

73 Titular/es:

**MELEXIS TECHNOLOGIES NV (100.0%)
Transportstraat 1
3980 Tessenderlo, BE**

72 Inventor/es:

VAN DER WIEL, APPOLONIUS JACOBUS

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 652 265 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

Sensor de presión semiconductor

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere al campo de los sensores de presión, en particular sensores de presión integrados en un dispositivo semiconductor.

Antecedentes de la invención

Los sensores de presión semiconductores son conocidos en la técnica.

10 El documento US 4.672.411 (Hitachi) describe un sensor de presión (mostrado en la FIG. 1) que tiene un diafragma formado en un cuerpo semiconductor, el diafragma que tiene un par de bandas semiconductoras de detección de presión en una superficie principal del mismo (bandas 30, 31 piezorresistivas verticales en la FIG. 1). Cada una de las bandas 30, 31 está conectada en un extremo al otro por una región semiconductor (región 32 triangular en la FIG. 1). La región 32 semiconductor está formada en una dirección de coeficientes piezorresistivos pequeños, mientras que las bandas 30, 31 están formadas en una dirección de coeficientes piezorresistivos grandes. La región 32 semiconductor (triángulo) tiene una resistencia laminar más pequeña que la resistencia de las bandas 30, 31.

15 También, se proporcionan regiones de salida de electrodo en los otros extremos de las bandas 30, 31, cuyas regiones tienen baja resistencia, se extienden en una dirección de coeficientes piezorresistivos pequeños, y se extienden más allá del borde del diafragma de modo que los electrodos contactan el cuerpo de semiconductor fuera del diafragma. Las bandas 30, 31 resistivas están conectadas en un puente de Wheatstone. La deformación del diafragma hace que las capas de resistor difusas (es decir, las bandas piezorresistivas) se expandan o retraigan para cambiar sus resistencias. El sensor de presión detecta un cambio de presión detectando eléctricamente el cambio de las resistencias.

20

Sin embargo, este sensor de presión no es muy preciso en todas las circunstancias, por ejemplo en caso de fluctuaciones de temperatura, y en caso de tensión de paquete residual.

Compendio de la invención

25 Es un objeto de la presente invención proporcionar un buen sensor de presión semiconductor.

En particular, es un objeto de las realizaciones de la presente invención proporcionar un sensor de presión con una buena precisión, en particular en caso de una temperatura no uniforme (por ejemplo, gradiente de temperatura) del sustrato semiconductor y/o en caso de tensión de paquete y/o en caso de un campo eléctrico no uniforme, o combinaciones de los mismos.

30 Es un objeto de las realizaciones de la presente invención proporcionar un sensor de presión con linealidad mejorada y/o sensibilidad mejorada, al tiempo que es relativamente insensible a un gradiente de temperatura, y en particular realizaciones que son también relativamente insensibles a tensión de paquete (no radial) uniforme y/o también relativamente insensibles a un campo eléctrico perpendicular a la superficie del sensor.

Estos objetivos se logran mediante un dispositivo según las realizaciones de la presente invención.

35 En un primer aspecto, la presente invención proporciona un sensor de presión semiconductor para determinar una presión externa ejercida sobre el sensor, que comprende: una membrana como parte de un sustrato semiconductor para que sea deformada debido a la presión externa, que tiene un borde de membrana y un espesor de membrana; un primer par de resistores situado en o adyacente a una primera parte lateral de la membrana, el primer par de resistores que comprende un primer resistor conectado entre un primer nodo de polarización y un primer nodo de salida, y un segundo resistor conectado entre dicho nodo de polarización y un segundo nodo D de salida diferente del primer nodo de salida, la resistencia del segundo resistor que es igual a la del primer resistor; una primera fuente de corriente conectada o conectable al primer nodo de salida y adaptada para hacer que una primera corriente predefinida fluya a través del primer resistor de modo que el primer nodo de salida asuma un primer voltaje de salida; una segunda fuente de corriente conectada o conectable al segundo nodo de salida y adaptada para hacer

40 que una segunda corriente predefinida fluya a través del segundo resistor de modo que el segundo nodo de salida asuma un segundo voltaje de salida; en donde la segunda corriente predefinida es sustancialmente igual a la primera corriente predefinida; el primer resistor que comprende una o más primeras bandas piezorresistivas alargadas dispuestas en una primera dirección para medir la deformación de la membrana debida a la presión externa a ser medida, el segundo resistor que comprende una o más segundas bandas piezorresistivas alargadas dispuestas en una segunda dirección para medir la deformación de la membrana debida a la presión externa a ser medida, en donde la segunda dirección es sustancialmente perpendicular a la primera dirección; el primer y segundo voltaje de salida que forma una primera señal de voltaje diferencial indicativa de la presión externa a ser medida.

45

50

Es una ventaja que cada nodo de salida esté conectado a una fuente de corriente con el fin de obtener un voltaje de salida entre los nodos que es proporcional a la presión externa.

- 5 Es una ventaja que el primer resistor y el segundo resistor estén situados en el mismo lado (por ejemplo, el borde de una membrana cuadrada), debido a que haciéndolo así, la distancia entre los resistores es pequeña, y de esta manera la temperatura de ambos resistores es sustancialmente la misma. Dado que la resistencia del primer y segundo resistor es igual, y dado que ambos resistores están hechos del mismo material, la resistencia de ambos resistores variará con la temperatura, pero de la misma forma (por ejemplo, ambas aumentan en un 5%). Esto hará que ambos voltajes de salida disminuyan en una cantidad igual, pero no influirá la diferencia entre ellos. En otras palabras, este circuito es sustancialmente insensible a variaciones de temperatura (con el tiempo), y a gradiente de temperatura sobre la membrana.
- 10 Es una ventaja de usar una fuente de corriente, conectada en serie con un único resistor (no dos resistores, como es el caso para un subcircuito de Wheatstone), debido a que permite que una corriente mayor (aproximadamente igual al voltaje de alimentación dividido por el valor de la resistencia nominal = VDD/R) fluya a través del resistor, en contraste con solamente $VDD/2R$ en el caso de un subcircuito de Wheatstone. Dado que esto se aplica a ambos nodos de salida, la sensibilidad se aumenta típicamente en un 80% a un 95% (en comparación con un subcircuito de Wheatstone).
- 15 Es una ventaja de usar una fuente de corriente, debido a que permite que una corriente fijada sea enviada a través del resistor, cuya corriente es independiente de la presión aplicada, que elimina una causa de la no linealidad encontrada en un subcircuito de Wheatstone, donde la corriente a través de un resistor particular (por ejemplo, R2 en la FIG. 2) varía con la presión aplicada (debido a que R1 y R2 no cambian en la misma cantidad bajo presión externa), y dado que también el valor de la resistencia en sí mismo varía con la presión aplicada (debido al efecto piezorresistivo), el voltaje sobre dicho resistor en un subcircuito de Wheatstone varía no linealmente con la presión.
- 20 De esta manera, el sensor de presión según la presente invención tiene una sensibilidad más alta y una linealidad mejorada sobre (al menos algunos) sensores de presión de la técnica anterior.
- Preferiblemente se hace coincidir el diseño de la primera y el diseño de la segunda bandas resistivas.
- 25 Es una ventaja de las realizaciones de la presente invención que se proporciona una buena precisión, por ejemplo una precisión mejorada, incluso en presencia de una temperatura no uniforme y/o una tensión no uniforme y/o un campo eléctrico no uniforme, e incluso cuando dicha temperatura, tensión o campo varíe con el tiempo.
- En una realización, el sensor de presión semiconductor comprende además: un primer circuito de lectura que comprende un primer amplificador diferencial para convertir la primera señal de voltaje diferencial en una primera señal de presión indicativa de la presión a ser medida.
- 30 En una realización, la primera y la segunda bandas piezorresistivas están formadas como regiones dopadas p dentro de un pozo n; el nodo de polarización está conectado eléctricamente al pozo n.
- Es una ventaja de tales realizaciones que el voltaje de polarización (preferiblemente el voltaje de alimentación del chip), se aplique al pozo n y también a un extremo del resistor, debido a que éste causará un espesor (promedio) mínimo de la capa de agotamiento entre el resistor (dopado p) y el pozo n (dopado n), permitiendo un ancho de banda de circuito mayor.
- 35 En una realización, el sensor de presión semiconductor además comprende: un par de resistores situados en o adyacentes a una segunda parte lateral de la membrana, en donde la segunda parte lateral está situada sustancialmente o precisamente a una distancia angular de 90° de la primera parte lateral como se mide desde el centro de la membrana; el segundo par de resistores que comprende un tercer resistor conectado en paralelo con el segundo resistor entre dicho primer nodo de polarización y dicho segundo nodo de salida, y un cuarto resistor conectado en paralelo con el primer resistor entre dicho primer nodo de polarización y dicho primer nodo de salida; el tercer resistor que comprende una o más bandas piezorresistivas alargadas dispuestas en la primera dirección, el cuarto resistor que comprende una o más bandas piezorresistivas alargadas dispuestas en la segunda dirección.
- 40 Es una ventaja de conectar el primer y cuarto resistor en paralelo a la primera fuente de corriente, y disponerlos de la manera descrita, debido a que haciéndolo así, se comportan de manera similar a una tensión radial (por ejemplo, ambos aumentan), pero de manera opuesta a una tensión uniforme. Por lo tanto el voltaje creado por la primera corriente que fluye a través de su conexión paralela tiene una alta sensibilidad a una tensión radial (por ejemplo, causada por presión externa), y una sensibilidad reducida a tensión uniforme (por ejemplo, causada por tensión de paquete).
- 45 Situando el tercer y cuarto resistores muy cerca (en un segundo lado de la membrana), ambos tendrán un comportamiento similar con la temperatura (por ejemplo, ambos aumentan o ambos disminuyen con la temperatura). Dado que R1 y R2 se comportan idénticamente con la temperatura T1 (en un primer lado de la membrana), y R3 y R4 se comportan idénticamente con la temperatura T2 (en un segundo lado de la membrana), la conexión en paralelo de R1 con R2 por una parte, y R3 y R4 por otra parte, se comportarán casi idénticamente con las variaciones de temperatura (en primer orden), mientras que son (relativamente) insensibles a un gradiente de temperatura sobre la membrana.
- 50
- 55

De esta manera esta realización tiene las mismas ventajas que se han mencionado anteriormente (alta sensibilidad, buena linealidad, baja influencia con la temperatura), pero además tiene una baja sensibilidad a una tensión uniforme (por ejemplo, tensión de paquete).

5 En una realización, el sensor de presión semiconductor además comprende: - un tercer par de resistores dispuesto en la primera parte lateral de la membrana pero fuera de la membrana, el tercer par de resistores que comprende un quinto resistor conectado entre dicho primer nodo de polarización y un tercer nodo de salida, y un sexto resistor conectado entre dicho primer nodo de polarización y un cuarto nodo D de salida diferente del tercer nodo de salida; una tercera fuente de corriente conectada al tercer nodo de salida y adaptada para hacer que una tercera corriente predefinida fluya a través del quinto resistor de modo que el tercer nodo de salida proporcione un tercer voltaje de salida; una cuarta fuente de corriente conectada al cuarto nodo de salida y adaptada para hacer que una cuarta corriente predefinida fluya a través del sexto resistor de modo que el cuarto nodo de salida proporcione un cuarto voltaje de salida, en donde la tercera y cuarta corriente predefinida es sustancialmente igual a la primera corriente predefinida; el quinto resistor que comprende una o más bandas piezorresistivas alargadas dispuestas en la primera dirección, y el sexto resistor que comprende una o más bandas piezorresistivas alargadas dispuestas en la segunda dirección para medir la tensión de paquete; y un cuarto par de resistores dispuestos en la segunda parte lateral de la membrana pero fuera de la membrana, el cuarto par de resistores que comprende un séptimo resistor conectado en paralelo con el sexto resistor entre dicho primer nodo de polarización y dicho cuarto nodo de salida, y un octavo resistor conectado en paralelo con el quinto resistor entre dicho primer nodo de polarización y dicho tercer nodo de salida, el séptimo resistor que comprende una o más bandas piezorresistivas alargadas dispuestas en la primera dirección, el octavo resistor que comprende una o más bandas piezorresistivas alargadas dispuestas en la segunda dirección; en donde la una o más bandas piezorresistivas del quinto y sexto y séptimo y octavo resistor están dispuestas a una distancia del borde de la membrana de al menos 4,0 veces el espesor de la membrana para medir solamente la tensión ejercida por el empaquetado en el sustrato semiconductor; el tercer y cuarto voltaje de salida que forma una segunda señal de voltaje diferencial indicativa de la tensión de paquete.

25 Situando el tercer y cuarto pares de resistores en el sustrato fuera de la membrana, a una distancia del borde de la membrana de al menos 4 veces ($\geq 4x$) el espesor de la membrana, por ejemplo, al menos 8 veces ($\geq 8x$) el espesor de la membrana, estas bandas son sensibles solamente a la tensión de paquete (radial), pero no a la deformación de la membrana debido a la presión externa, en contraste con el primer y segundo pares de resistores, que están situados principalmente en la membrana, dentro de una distancia de a lo sumo 3 veces ($\leq 3x$) el espesor de la membrana, que son sensibles tanto a la tensión de paquete (radial) como a la presión externa a ser medida.

30 La segunda señal de voltaje diferencial se puede leer mediante un segundo circuito de lectura (por ejemplo, que comprende un amplificador diferencial, ADC, etc.), y se puede usar por una unidad de procesamiento para mostrar, o para compensar la primera señal de voltaje diferencial frente a la tensión de paquete, por ejemplo restando la segunda señal diferencial de la primera señal diferencial. De esta forma, la tensión de paquete se puede compensar en gran parte para, o la influencia de la misma se puede al menos reducir en el valor de medición de tensión final.

35 De esta manera, un sensor de presión semiconductor se provee con una sensibilidad reducida a una temperatura en modo común, por ejemplo, temperatura ambiente (usando señalización diferencial), y a gradientes de temperatura (disponiendo los resistores "muy cerca" como pares), y a tensión de paquete en modo común (usando el tercer y cuarto resistor y la tercera y cuarta fuente de corriente, fuera de la membrana), y que tiene una sensibilidad aumentada y linealidad mejorada (usando una fuente de corriente más que una fuente de voltaje), y que tiene una sensibilidad baja o reducida al gradiente de temperatura (usando una conexión en paralelo de resistores situados en diferentes ubicaciones), y que tiene una sensibilidad reducida a una tensión uniforme (situando las piezobandas de los cuartos resistores en una posición angular de 90° en la membrana y orientando las piezobandas de los cuatro resistores en paralelo o a 90° como se expone en la reivindicación).

45 En una realización, el sensor de presión semiconductor además comprende: un multiplexor para aplicar selectivamente la primera señal de voltaje diferencial y la segunda señal de voltaje diferencial al primer amplificador diferencial; y/o un segundo circuito de lectura que comprende un segundo amplificador diferencial para convertir la segunda señal de voltaje diferencial a una segunda señal de presión indicativa de la tensión de paquete.

50 En una realización, cada uno de los resistores comprende al menos dos o al menos tres bandas piezorresistivas conectadas en serie.

Proporcionando al menos dos o al menos tres bandas piezorresistivas conectadas en serie, el valor de resistencia se puede aumentar sin tener que disminuir el nivel de dopaje. Esto es especialmente ventajoso cuando las dimensiones del chip llegan a ser más pequeñas debido al escalado de la tecnología. Las bandas piezorresistivas de cada resistor individual se orientan en paralelo.

55 En una realización, cada uno de los resistores comprende un número igual de bandas piezorresistivas alargadas, y las dimensiones de todas las piezobandas son idénticas.

En otras palabras, preferiblemente el diseño de las bandas piezorresistivas, y también las interconexiones entre las bandas que pertenecen a un único resistor, es idéntico (aparte de girar, desplazar, o reflejar), de manera que los

resistores se “emparejan” mejor. Esto ofrece la ventaja de que la resistencia del primer, segundo, etc. resistores es igual dentro del margen de tolerancia del proceso (por ejemplo, dentro de +/- 0,5%).

5 En una realización, un diseño de cada par de resistores comprende además una primera y segunda región de salida para interconexión eléctrica a los nodos externos, y una tercera región de salida para interconexión eléctrica al nodo de polarización común, por lo cual la tercera región de salida está situada entre la primera y segunda región de salida.

10 En contraste con las estructuras de diseño conocidas de dos resistores que están conectados a un nodo común, y por lo cual el nodo (central) común está interconectado mediante encaminamiento sobre la membrana, es una ventaja encaminar el nodo común como se expone en la reivindicación, debido a que de esta forma la interconexión en la membrana se minimiza, lo cual puede reducir además las influencias de la presión y de esta manera mejorar la linealidad.

En una realización, el sustrato es una oblea CMOS; y la membrana está situada en el plano (100), y al menos uno de los elementos piezorresistivos está orientado en la dirección <110>.

15 Es una ventaja usar este plano y direcciones cristalográficas, debido a que esta dirección es una dirección de efecto piezorresistivo máximo. Usando esta dirección, se puede obtener un sensor que tiene por ejemplo una sensibilidad máxima mejorada.

En una realización, la membrana tiene una forma cuadrada o circular.

Cuando la membrana tiene una forma cuadrada, es ventajoso orientar los lados del cuadrado en las direcciones cristalográficas de sensibilidad máxima y mínima.

20 Es ventajoso además situar el primer y segundo resistor cerca del medio de uno de los lados de la membrana cuadrada. Cuando se ejerce una presión en la membrana cuadrada, la deformación es mayor en el medio de los lados que cerca de las esquinas, y mayor en los lados que en el centro de la membrana, proporcionando de esta manera los resistores sustancialmente en el medio de los lados, se aumenta la sensibilidad del sensor de presión, por ejemplo, se maximiza.

25 En realizaciones que tienen también un tercer y cuarto resistor, es ventajoso situar este último en un segundo lado de la membrana, adyacente al primer lado (de esta manera a 90°) más que en el lado opuesto de la membrana (de esta manera a 180°), debido a que la disposición a 90° permite que los resistores sean orientados de tal forma que el sensor tiene una sensibilidad reducida a una tensión uniforme (por ejemplo, tensión de paquete).

30 En el caso de una forma circular, es ventajoso situar el par de resistores en las mismas ubicaciones que se han descrito anteriormente, para una forma cuadrada imaginaría tangencial a la membrana circular.

El segundo aspecto, la presente invención proporciona un dispositivo semiconductor que comprende un sensor de presión semiconductor según el primer aspecto.

En un tercer aspecto, la presente invención proporciona un método de determinación de una presión externa ejercida en un sustrato semiconductor,

35 el sustrato semiconductor que comprende: una membrana dispuesta para ser deformada debido a la presión externa, y que tiene un borde de membrana y un espesor de membrana; un primer par de resistores situados en o adyacentes a una primera parte lateral de la membrana, el primer par de resistores que comprende un primer resistor conectado entre un primer nodo de polarización y un primer nodo de salida, y un segundo resistor conectado
40 entre dicho primer nodo de polarización y un segundo nodo de salida diferente del primer nodo de salida, la resistencia del segundo resistor que es igual a la del primer resistor; el primer resistor que comprende una o más primeras bandas piezorresistivas alargadas dispuestas en una primera dirección para medir la deformación de la membrana debida a la presión externa a ser medida, el segundo resistor que comprende una o más segundas
45 bandas piezorresistivas alargadas dispuestas en una segunda dirección para medir la deformación de la membrana debida a la presión externa a ser medida, en donde la segunda dirección es sustancialmente perpendicular a la primera dirección;

50 el método que comprende los pasos de: conectar la primera fuente de corriente al primer nodo de salida, la primera fuente de corriente que está adaptada para hacer que una primera corriente predefinida fluya a través del primer resistor de modo que el primer nodo de salida asuma un primer voltaje de salida; conectar una segunda fuente de corriente al segundo nodo de salida, la segunda fuente de corriente que está adaptada para hacer que una segunda corriente predefinida fluya a través del segundo resistor de modo que el segundo nodo de salida asuma un segundo voltaje de salida, en donde la segunda corriente predefinida es sustancialmente igual a la primera corriente predefinida; obtener una primera señal de voltaje diferencial sobre el primer y segundo nodo de salida como indicación de la presión externa a ser medida.

En una realización, el método se realiza usando un sustrato que además comprende un segundo par de resistores dispuesto como se ha descrito anteriormente.

5 En una realización, el método se realiza usando un sustrato que además comprende un tercer y un cuarto par de resistores como se ha descrito anteriormente, y el método que comprende además el paso de: aplicar una tercera corriente predefinida a dicha conexión en paralelo en paralelo del quinto resistor y del octavo resistor usando una tercera fuente de corriente; y aplicar una cuarta corriente predefinida a dicha conexión en paralelo del sexto resistor y del séptimo resistor usando una cuarta fuente de corriente; y medir una segunda señal de voltaje diferencial sobre el tercer y cuarto nodo de salida; y corregir un valor correspondiente a la primera señal de voltaje diferencial con un valor correspondiente a la segunda señal de voltaje diferencial.

10 Aspectos particulares y preferidos de la invención se exponen en las reivindicaciones independientes y dependientes anexas.

Estos y otros aspectos de la invención serán evidentes a partir de y dilucidados con referencia a la realización o las realizaciones descritas en lo sucesivo.

Breve descripción de los dibujos

15 La FIG. 1 muestra un sensor de presión semiconductor, conocido en la técnica.

La FIG. 2 muestra una configuración de puente de Wheatstone con dos ramas (izquierda, derecha), cada una que comprende dos resistores, conocida en la técnica.

La FIG. 3 muestra otro sensor de presión semiconductor, con un puente en, y un puente fuera de la membrana, conocido en la técnica.

20 La FIG. 4 muestra un diagrama de bloques esquemático de una primera realización de un sensor de presión según la presente invención, que tiene un par de resistores (conectados en paralelo a un nodo de polarización común), los otros extremos de los resistores que están conectados a dos fuentes de corriente.

La FIG. 5 muestra un diseño ejemplar de (parte de) el sensor de presión de la FIG. 4.

25 La FIG. 6 muestra un diagrama de bloques esquemático de una segunda realización de un sensor de presión según la presente invención, que es una variante de la FIG. 4.

La FIG. 7 muestra un diagrama de bloques esquemático de una tercera realización (y preferida) de un sensor de presión según la presente invención.

La FIG. 8 muestra una disposición ejemplar de (parte de) el sensor de presión de la FIG. 7.

30 La FIG. 9 muestra un ejemplo de un patrón de diseño que comprende un par de resistores, conectados en paralelo a un nodo de polarización común, y partes de salida, que se pueden usar en un sensor de presión según las realizaciones de la presente invención.

La FIG. 10 muestra una variante del patrón de diseño de la FIG. 9, por el cual cada resistor contiene tres bandas piezorresistivas conectadas en serie, en lugar de solamente dos.

35 La FIG. 11 muestra una vista agrandada (y reflejada) de las bandas piezorresistivas de la FIG. 10, con una indicación de "la distancia mayor" MD entre un punto de las primeras bandas de resistor y un punto de las segundas bandas de resistor.

La FIG. 12 es una representación esquemática de tensión radial en cuatro ubicaciones de una membrana cuadrada o circular, cuya tensión se causa típicamente por una presión (a ser medida) ejercida en la membrana en una dirección perpendicular al sustrato.

40 La FIG. 13 es una representación esquemática de tensión (no radial) uniforme (en el ejemplo mostrado: de izquierda a derecha) en cuatro ubicaciones de una membrana cuadrada o circular, cuya tensión puede ser causada por empaquetado.

La FIG. 14 ilustra una cuarta realización de un sensor de presión según la presente invención.

La FIG. 15 ilustra un método según la presente invención.

45 Los dibujos son solamente esquemáticos y no son limitantes. En los dibujos, el tamaño de algunos de los elementos puede estar exagerado y no dibujado a escala con propósitos ilustrativos (por ejemplo, las dimensiones relativas de los resistores frente a la dimensión de la membrana). Se señala sin embargo que la FIG. 9 y la FIG. 10 están dibujadas a escala.

Cualquier signo de referencia en las reivindicaciones no se interpretará como limitante del alcance. En los diferentes dibujos, los mismos signos de referencia se refieren a los mismos elementos o análogos.

Descripción detallada de realizaciones ilustrativas

5 La presente invención se describirá con respecto a realizaciones particulares y con referencia a ciertos dibujos pero la invención no está limitada a los mismos sino solamente por las reivindicaciones. Los dibujos descritos son solamente esquemáticos y no son limitantes. En los dibujos, el tamaño de algunos de los elementos puede estar exagerado y no dibujado a escala con propósitos ilustrativos. Las dimensiones y las dimensiones relativas no corresponden a reducciones reales para poner en práctica la invención.

10 Además, los términos primero, segundo y similares en la descripción y en las reivindicaciones, se usan para distinguir entre elementos similares y no necesariamente para describir una secuencia, ya sea temporalmente, espacialmente, en clasificación o de cualquier otra manera. Ha de ser entendido que los términos así usados son intercambiables bajo las circunstancias adecuadas y que las realizaciones de la invención descritas en la presente memoria son capaces de operación en otras secuencias distintas de las descritas o ilustradas en la presente memoria.

15 Además, los términos parte superior, debajo y similares en la descripción y las reivindicaciones se usan con propósitos descriptivos y no necesariamente para describir posiciones relativas. Ha de ser entendido que los términos así usados son intercambiables bajo las circunstancias adecuadas y que las realizaciones de la invención descritas en la presente memoria son capaces de operación en otras orientaciones distintas de la descrita o ilustrada en la presente memoria.

20 Ha de ser señalado que el término “que comprende”, usado en las reivindicaciones, no se debería interpretar como que está restringido a los medios enumerados a partir de entonces; no excluye otros elementos o pasos. Ha de ser interpretado de esta manera como que especifica la presencia de los rasgos, enteros, pasos o componentes fijados a que se refiere, pero no excluye la presencia o adición de uno o más de otros rasgos, enteros, pasos o componentes, o grupos de los mismos. De esta manera, el alcance de la expresión “un dispositivo que comprende los medios A y B” no se debería limitar a dispositivos que constan solamente de los componentes A y B. Significa que con respecto a la presente invención, los únicos componentes relevantes del dispositivo son A y B.

25 La referencia en toda esta especificación a “una realización” significa que un rasgo, estructura o característica particular descrita en conexión con la realización se incluye en al menos una realización de la presente invención. De esta manera, la aparición de la frase “en una realización” en diversos lugares en toda esta especificación no están todas necesariamente refiriéndose a la misma realización, pero puede. Además, los rasgos, estructuras o características particulares se pueden combinar de cualquier manera adecuada, como sería evidente para un experto en la técnica a partir de esta descripción, en una o más realizaciones.

30 De manera similar se debería apreciar que en la descripción de las realizaciones ejemplares de la invención, diversos rasgos de la invención se agrupan entre sí algunas veces en una única realización, figura, o descripción de la misma con el propósito de difundir de forma continua la descripción y ayudar en la comprensión de uno o más de los diversos aspectos inventivos. Este método de descripción, sin embargo, no ha de ser interpretado como que refleja una intención de que la invención reivindicada requiere más rasgos que se exponen expresamente en cada reivindicación. Más bien, como reflejan las siguientes reivindicaciones, los aspectos inventivos consisten en menos de todos los rasgos de una única reivindicación descrita precedente. De esta manera, las reivindicaciones que siguen a la descripción detallada se incorporan expresamente por este medio en esta descripción detallada, con cada reivindicación que funciona en sí misma como una realización separada de esta invención.

35 Además, aunque algunas realizaciones descritas en la presente memoria incluyen algunos pero no otros rasgos incluidos en otras realizaciones, combinaciones de rasgos de diferentes realizaciones se supone que están dentro del alcance de la invención, y forman diferentes realizaciones, como se entendería por los expertos en la técnica. Por ejemplo, en las siguientes reivindicaciones, cualquiera de las realizaciones reivindicadas se puede usar en cualquier combinación.

40 En la descripción proporcionada en la presente memoria, se exponen numerosos detalles específicos. Sin embargo, se entiende que las realizaciones de la invención se pueden poner en práctica sin estos detalles específicos. En otros casos, métodos, estructuras, y técnicas bien conocidos no se han mostrado en detalle con el fin de no oscurecer una comprensión de esta descripción.

Definiciones:

45 En la presente invención, los términos “diafragma” y “membrana” se usan como sinónimos para indicar una región de un sustrato semiconductor con un espesor reducido en comparación con el material de sustrato circundante (también conocido como “volumen”), adaptada para deformarse mecánicamente cuando se aplica a la misma una presión externa (a ser medida).

5 Cuando en la presente invención, se hace referencia a “la dimensión mayor de la membrana” o simplemente “dimensión de la membrana”, se hace referencia a la longitud de un lado en caso que la membrana tenga una forma sustancialmente cuadrada, o a la distancia entre lados opuestos en caso que la membrana tenga una forma cuadrada con esquinas redondeadas, o al diámetro en caso de que la membrana sea sustancialmente circular, o la longitud del eje mayor en caso de que la membrana sea sustancialmente elíptica, o a la mayor de la longitud y la anchura en caso de que la membrana sea sustancialmente rectangular, o al diámetro del círculo interno en caso de que la membrana tenga una forma de polígono regular, tal como, por ejemplo, una forma hexagonal u octogonal.

El término “espesor de la membrana” tiene su significado habitual, en la medida que se puede medir en una dirección perpendicular a la superficie del sustrato.

10 El término “fuente de corriente” o “sumidero de corriente” tiene su significado habitual. Una fuente de corriente ideal es un circuito electrónico que entrega o absorbe una corriente eléctrica que es independiente del voltaje a través de él. La resistencia interna de una fuente de corriente ideal es infinita. En las realizaciones de la presente invención, la fuente de corriente tiene una resistencia interna de al menos cinco veces la resistencia del resistor conectado a la misma.

15 El término “voltaje diferencial” tiene su significado habitual. Significa la diferencia de voltaje entre dos nodos, en contraposición a una señal de voltaje de terminación única de un único nodo (medida implícitamente respecto al voltaje de tierra).

Con “resistencia” se quiere decir “resistencia eléctrica”, a menos que se mencione explícitamente de otro modo.

20 Con “presión externa” se quiere decir por ejemplo presión de aire o presión de gas o presión de fluido del entorno en donde se sitúa el sensor de presión, en contraposición con “presión interna” por ejemplo causada por el empaquetado del sensor semiconductor.

Cristalografía:

25 Mientras que el circuito del documento US 4.672.411 (Hitachi), descrito en la sección de antecedentes e ilustrado en la FIG. 1 tiene algunos inconvenientes, muchos de los principios básicos descritos en el mismo también se usan en la presente invención. Por ejemplo, los bordes de la membrana de las realizaciones de la presente invención se realizan preferiblemente de tal forma que la tensión máxima causada por la presión aplicada se alcanza al menos en dos áreas perpendiculares al borde de la membrana y donde el borde de la membrana está orientado en la dirección <110>. Un grabado anisotrópico de membranas cuadradas en silicio se usa a menudo en la medida que crea cuatro de tales áreas en el medio de los bordes de la membrana debido a la parada de grabado anisotrópico en los planos <111>. Usando otros métodos de grabado, membranas redondas también darían como resultado cuatro de tales áreas y membranas ovaladas en dos de tales áreas en el diámetro más corto. La sensibilidad a la tensión de los piezorresistores también depende de la orientación del cristal y los resistores dopados p tienen un cambio máximo de resistencia a lo largo de las direcciones <110>, y un cambio mínimo de resistencia a lo largo de las direcciones <100>, a 45° de la dirección <110>. Las conexiones de metal causan tensión en el silicio y debido al arrastre esta tensión puede cambiar también con el tiempo. Por lo tanto un camino dopado p altamente dopado se realiza entre el metal y las bandas piezorresistivas. Colocando estos caminos altamente dopados p en las direcciones <100> a 45 grados de las direcciones <110> uno supone que la tensión de las líneas de metal no cambia la resistencia de estas bandas.

40 Con el fin de evitar una repetición innecesaria de estos conceptos básicos, la presente solicitud no entrará en los detalles de los planos y direcciones cristalográficas, y se concentrará en la contribución de la presente invención sobre la técnica anterior. El lector puede referirse al documento US 4.672.411 para más detalles en particular a la FIG. 9 del mismo, y la parte correspondiente de la descripción. Aunque también se pueden usar otras direcciones cristalográficas, los principios de la presente invención se explicarán suponiendo que la membrana 2 de un sensor de presión según la presente invención está situada en un plano cristalográfico (100) de una oblea CMOS, y que las bandas 8, 9 10, 11 piezorresistivas están situadas en las direcciones <110>. Usar obleas CMOS permite que la combinación de la membrana de presión y circuitería CMOS, por ejemplo, al menos circuitería de lectura, sea integrada en misma oblea.

Puente de Wheatstone:

50 Antes de que se describa un sensor de presión según las realizaciones de la presente invención, primero se explican los principios de un circuito de puente de Wheatstone, debido a que éste se usa a menudo en los sensores de presión de la técnica anterior, y ayuda a explicar similitudes y diferencias con la presente invención.

Los circuitos de puente de Wheatstone con cuatro resistores R1, R2, R3, R4 dispuestos como se muestra en la FIG. 2, son bien conocidos en la técnica. Tales circuitos son muy adecuados para determinar un valor de resistor Rx desconocido, cuando se conocen otros tres valores de resistores R1, R2 y R3, o para detectar/medir pequeños cambios de resistencia cuando se conocen todos de los cuatro valores de resistores. El puente de la FIG. 2 tiene cuatro resistores R1, R2, R3 y R4 (o Rx). Cuando se aplican un voltaje de alimentación (por ejemplo, un voltaje DC) Vdd y Gnd a los nodos A y C, respectivamente, una primera corriente fluirá de A a C a través de la primera rama

5 formada por R1 en serie con R2, y una segunda corriente fluirá a través de la segunda rama formada por R3 en serie con R4. Se proporciona una salida "Vout" de voltaje diferencial sobre los nodos D y B, y define un voltaje diferencial: $V_{out} = V_d - V_b$. Los voltajes V_d y V_b se pueden leer por un circuito que tiene una impedancia de entrada grande (con el fin de no extraer corriente adicional). Típicamente, los nodos D y B están conectados a un amplificador diferencial que amplifica el voltaje V_{out} diferencial. La señal amplificada se puede usar entonces para procesamiento adicional.

Cuando el puente está "en equilibrio", se aplica la siguiente fórmula:

$$R1 / R2 = R3 / R4 \quad (1)$$

que es equivalente a:

10 $R1 \times R4 = R2 \times R3 \quad (2)$

15 Cuando el puente está en equilibrio, el voltaje " V_d " en el nodo D entre R1 y R2 será exactamente igual al voltaje " V_b " en el nodo B entre R3 y R4, y no fluirá ninguna corriente en un camino entre los nodos B y D (por ejemplo, a través de un galvanómetro, indicado por V_g). Cuando uno o más de los valores de resistores R1 a R4 se desvían, incluso ligeramente, de esta situación de equilibrio, el puente ya no está más en equilibrio, y aparecerá una diferencia de voltaje V_{out} sobre los nodos D y B, que se puede medir de cualquier manera conocida en la técnica, por ejemplo típicamente mediante un amplificador diferencial que tiene un factor de amplificación de aproximadamente 100 o más. Cuando todos los resistores R1, R2, R3, R4 están hechos del mismo material, y tienen el mismo valor R, tal circuito de puente es relativamente insensible a los cambios de temperatura en modo común, debido a que la temperatura de todos los resistores R1 a R4 aumenta o disminuye en un mismo porcentaje

20 Sensor de presión ideal/no ideal:

Un sensor de presión ideal tiene una alta sensibilidad (señal de salida grande incluso para una presión pequeña), tiene desplazamiento cero, tiene un comportamiento lineal perfecto (voltaje de salida exactamente proporcional a la presión aplicada) y es insensible a las variaciones de temperatura y a la tensión de paquete. Además, es insensible a los campos eléctricos perpendiculares a la superficie.

25 En realidad, por supuesto, no existe un sensor de presión ideal, y necesitan ser encontradas formas para reducir o eliminar las causas de la no linealidad, y/o para reducir los efectos de la tensión de la temperatura y/o las variaciones del campo eléctrico.

30 "Desplazamiento cero" significa que la salida de voltaje sobre los nodos D y B debería ser exactamente cero cuando no se aplica presión a la membrana 2, e idealmente este valor debería permanecer exactamente a cero independientemente de la temperatura del sensor en ausencia de presión externa. En la práctica, sin embargo, el valor V_g de voltaje de salida correspondiente a presión cero, no es exactamente cero, y necesita ser compensado, con el fin de lograr un valor de medición de presión preciso. Este valor distinto de cero se denomina "desplazamiento cero", es decir, el valor de compensación de voltaje entre los nodos D y B cuando no se ejerce presión externa en (o se aplica a) la membrana del sensor. Puede haber diversas causas de tal desplazamiento cero, por ejemplo, desajuste entre los diversos valores de resistencia debido a imperfecciones del procesamiento del semiconductor, tensiones residuales en la membrana debido al empaquetado de la matriz semiconductor (por ejemplo, silicio), o un campo eléctrico no homogéneo perpendicular al sustrato, que modifica los resistores no de la misma forma (cambios en la capa de agotamiento). Mientras que para resistores (película gruesa) discretos, un desajuste entre los diversos valores de resistencia debido al procesamiento del semiconductor se puede corregir mediante corte láser en la etapa de producción, el corte láser no se usa para piezorresistores que son parte de un circuito CMOS. Además, también permanecen otros diversos efectos, tales como por ejemplo la tensión debida al empaquetado y el gradiente de temperatura (es decir, cuando los diferentes resistores no tienen la misma temperatura).

Técnicas conocidas:

Se han hecho diversos intentos en la técnica para reducir el desplazamiento cero.

45 Por ejemplo, la FIG. 3 muestra un sensor de presión de la técnica anterior descrito por Honeywell en el documento EP0083496. Se señala que en la ilustración en el presente documento se añaden líneas negras a la FIG. 3, para indicar claramente la posición y orientación de las bandas piezorresistivas. Este sensor tiene un primer puente con resistores situados en la membrana para medir la presión externa ejercida en la membrana. Este primer puente tiene un desplazamiento cero debido a variaciones de temperatura y debido a la tensión de paquete. Este desplazamiento se puede compensar usando la salida de un segundo puente, que tiene cuatro resistores situados fuera de la membrana. Este sensor de doble puente total proporciona un valor de presión que se compensa por la tensión de paquete, sin embargo, la compensación no es perfecta.

Otras técnicas para compensación de desplazamiento cero, por ejemplo, midiendo el desplazamiento (a presión externa cero) durante una etapa de calibración, y almacenando los valores de desplazamiento en una memoria no

volátil (por ejemplo, rápida), y compensando la lectura midiendo la temperatura, y restando el valor almacenado, también son conocidas en la técnica.

Sin embargo, se ha demostrado que es extremadamente difícil encontrar una solución única que resuelva simultáneamente todos los problemas. Por lo tanto, en la práctica, siempre necesitan ser hechos algunos compromisos, por ejemplo en términos de linealidad (preferiblemente perfectamente lineal), sensibilidad a la presión externa (dependiendo de la aplicación, pero generalmente preferiblemente tan alta como sea posible), sensibilidad a las variaciones de temperatura y al gradiente de temperatura (preferiblemente tan baja como sea posible en un intervalo de temperatura particular), sensibilidad a la tensión de paquete y deriva (preferiblemente tan baja como sea posible).

10 Presente invención:

La FIG. 4 muestra un diagrama de bloques esquemático y la FIG. 5 muestra un ejemplo de un diseño parcial de una primera realización de un sensor 100 de presión semiconductor según la presente invención.

Se repite que el dibujo de la FIG. 5 (y la FIG 8 y la FIG 14) no están dibujados necesariamente a escala, y que las dimensiones relativas de diferentes elementos en un único dibujo no necesitan ser exactamente las mismas que las mostradas en los dibujos. Por ejemplo, la longitud de las bandas piezorresistivas puede ser un valor en el intervalo de $6\ \mu\text{m}$ a $60\ \mu\text{m}$, y la anchura de la membrana puede ser, por ejemplo, un valor en el intervalo de $150\ \mu\text{m}$ a $1.500\ \mu\text{m}$, pero la relación de la longitud de la banda y la anchura de la membrana no necesita ser igual a $1/10$, sino que puede ser, por ejemplo, un valor en el intervalo de $1/50$ a $1/10$, por ejemplo, ser un valor en el intervalo de 0.5% a 30% , o ser un valor en el intervalo de 1% a 20% , o un valor en el intervalo de 2% a 10% , por ejemplo alrededor del 4% o alrededor del 8% o alrededor del 12% o alrededor del 15% .

El sensor 100 de presión comprende una membrana 2 como parte de un substrato semiconductor que tiene una forma y dimensiones para permitir que la membrana 2 sea deformada mecánicamente debido a una presión externa. La membrana 2 tiene un borde 21 de la membrana y un espesor de la membrana. La membrana 2 tiene ventajosamente una forma cuadrada o circular, pero también se pueden usar otras formas, por ejemplo: rectangular, poligonal, hexagonal, octogonal, o cualquier otra forma adecuada.

El sensor 100 de presión comprende además un (primer) par P1 de resistores situado en o adyacente a una primera parte S1 lateral de la membrana 2. El (primer) par P1 de resistores comprende un primer resistor R1 conectado entre un primer nodo A de polarización y un primer nodo D de salida, y un segundo resistor R2 conectado entre dicho (mismo) primer nodo A de polarización y un segundo nodo B de salida, diferente del primer nodo D de salida.

30 Durante la operación, un voltaje de polarización, por ejemplo, el voltaje VDD de alimentación del chip se aplica al nodo A de polarización. Esto ofrece la ventaja de que el voltaje más alto (en el chip) se aplica al nodo común de los resistores, y que todos los resistores están conectados a una fuente de voltaje óhmica baja (de esta manera, el valor de voltaje no cambiará significativamente cuando se extraiga una corriente). En la realización de la FIG. 4 y la FIG. 5, este contacto óhmico bajo también se usa para mantener el potencial del silicio de tipo n alrededor de los piezorresistores de tipo p igual o superior que el potencial local de los resistores de tipo p para formar una capa de agotamiento de aislamiento.

La resistencia (eléctrica) del segundo resistor R2 es sustancialmente igual, por ejemplo, igual a la del primer resistor R1 (en ausencia de presión externa), dentro de un margen de tolerancia muy pequeño (por ejemplo, menos del 1% , preferiblemente menos del $0,25\%$), que se logra, entre otras cosas, haciendo coincidir el diseño de los resistores, y en algunas realizaciones, colocando los dos resistores en un único pozo N.

El sensor 100 de presión comprende además una primera fuente CS1 de corriente conectada al primer nodo D de salida y adaptada para hacer que una primera corriente I1 predefinida fluya a través de la primer resistor R1 de modo que el primer nodo D de salida asuma un primer voltaje Vout- de salida, y una segunda fuente CS2 de corriente conectada al segundo nodo B de salida, y adaptada para hacer que una segunda corriente I2 predefinida fluya a través del segundo resistor R2 de modo que el segundo nodo B de salida asuma un segundo voltaje Vout+ de salida. Las fuentes de corriente adaptadas para proporcionar una corriente que es bastante independiente de la temperatura, son bien conocidas en la técnica de dispositivos semiconductores, y por lo tanto no necesitan ser descritas en detalle aquí. Las fuentes CS1 y CS2 de corriente se "hacen coincidir", y proporcionan una corriente I1 e I2 predefinida, que son idénticas dentro de un margen de tolerancia de menos del $1,0\%$, preferiblemente de menos del $0,5\%$ o incluso de menos del $0,25\%$. En realizaciones preferidas, la fuente CS1 y CS2 de corriente tienen sustancialmente la misma calidad de adaptación que los resistores R1, R2 o mejor usando técnicas de conmutación. Las fuentes CS1, CS2 de corriente tienen una impedancia de salida "grande", por ejemplo, al menos 5 veces la resistencia R1, R2, por ejemplo al menos 10 veces o al menos 20 veces.

Como se puede ver a partir de la FIG. 5 (y la FIG. 9 y la FIG. 10 incluso con más detalle), el primer resistor R1 comprende una o más, por ejemplo, dos o tres primeras bandas 8 piezorresistivas alargadas dispuestas en una primera dirección X para medir la deformación de la membrana 2 debida a la presión externa a ser medida. Del mismo modo, el segundo resistor R2 comprende una o más, por ejemplo dos o tres segundas bandas 9 piezorresistivas alargadas dispuestas en una segunda dirección Y, sustancialmente ortogonal a la primera dirección

X, para medir la deformación de la membrana 2 debida a dicha presión externa. Preferiblemente, el diseño de la primera y la segunda bandas 8, 9 resistivas se hace coincidir, lo que significa que las bandas tienen un diseño idéntico (aparte de traslación, rotación, y reflejo).

5 Con referencia de nuevo a la FIG. 4, se señala que la “flecha hacia arriba” en R1 y la “flecha hacia abajo” en R2 es una indicación gráfica de que, R1 y R2 están dispuestos de manera que, si R1 aumenta debido a una presión externa, entonces R2 disminuye, o viceversa.

10 También se señala que, en la FIG. 4 y la FIG. 5, las fuentes CS1 y CS2 de corriente están conectadas directamente a los resistores R1, R2 y a tierra, pero eso no es absolutamente requerido para la presente invención. Sin embargo, cualquier componente adicional (por ejemplo, resistor, diodos, etc.) en el camino desde el nodo A hasta R1 y CS1 y tierra disminuiría la oscilación de voltaje disponible de la señal Vout, lo cual es indeseable, debido a que influye negativamente en la sensibilidad.

Ventajas de la presente invención:

15 Como se puede ver en la FIG. 5, el primer resistor R1 y el segundo resistor R2 están situados deliberadamente en el mismo lado (más específicamente, cerca del medio de un primer lado S1 de una membrana cuadrada), en lugar de estar dispuestos en diferentes lados de la membrana 2. Haciéndolo así, la distancia entre los resistores es “pequeña” y, de esta manera, la temperatura T1, T2 de los resistores R1, R2 es sustancialmente la misma ($T1 \approx T2$). Dado que la resistencia del primer y segundo resistor es igual, y dado que ambos resistores están hechos del mismo material, la resistencia de ambos resistores variará con la temperatura de la misma forma (por ejemplo, ambas aumentan en un 5% cuando aumenta la temperatura). No importa si esta variación es lineal o no lineal con la temperatura, siempre que la función sea la misma para ambos resistores, el cual es el caso cuando está siendo usado el mismo material. Tal aumento (o disminución) de la resistencia R1, R2 con la temperatura hará que ambos voltajes Vout-, Vout+ de salida disminuyan (o aumenten) en aproximadamente la misma cantidad (en primer orden), pero no influirá significativamente a la diferencia entre ellos. En otras palabras, las variaciones de temperatura se muestran (principalmente) como una señal en modo común, pero no influyen a la señal diferencial. A partir de lo anterior se puede entender que el circuito de la FIG. 4 es sustancialmente insensible a las variaciones de temperatura (con el tiempo), y también a un gradiente de temperatura sobre la membrana 2 (debido a los resistores que están situados en estrecha proximidad). La insensibilidad a un gradiente de temperatura es una ventaja principal de la presente invención.

30 Usando una fuente CS1 de corriente conectada en serie con un único resistor R1 (no dos resistores en serie, como es el caso para un puente de Wheatstone), permite usar una corriente I1 mayor que fluye a través de los resistores (por ejemplo, en el orden de $VDD/R - 0,3V$ suponiendo una caída de voltaje a través de la fuente de corriente de 0,3V, en lugar de $VDD/2R$ en caso de un puente de Wheatstone). Para un voltaje VDD de alimentación de alrededor de 3,3 V, esto significa que la sensibilidad del circuito de la FIG. 4 se aumenta aproximadamente en un 80%. Esta sensibilidad aumentada es una ventaja importante de la presente invención.

35 El primer y segundo voltaje Vout-, Vout+ de salida forman una primera señal ΔV_{out} de voltaje diferencial indicativa de la presión externa a ser medida. La primera señal ΔV_{out} de voltaje diferencial es sustancialmente proporcional a la presión externa aplicada al sensor de presión, debido a que el circuito proporciona dos voltajes de salida que varían linealmente con el cambio de la resistencia R1, R2, que a su vez varían linealmente con la deformación de la membrana, que a su vez varía linealmente con la cantidad de presión externa aplicada a la membrana 2. El circuito de la presente invención proporciona una mejor linealidad que los circuitos de la técnica anterior que usan un puente de Wheatstone, debido a que la corriente que fluye a través de las fuentes CS1, CS2 de corriente (de la presente invención) es independiente de la presión aplicada a la membrana, mientras que la corriente que fluye a través de la rama izquierda y derecha de un puente de Wheatstone cambia con la presión aplicada, debido a que el coeficiente piezorresistivo transversal no es tan grande como el coeficiente piezorresistivo longitudinal, de esta manera la resistencia total de $R1+R2$ (véase la FIG. 2) cambia con la presión externa, por lo tanto la corriente que fluye a través de la rama izquierda $I = V_{bias}/(R1+R2)$ cambia con la presión, lo que introduce una no linealidad en la sensibilidad. Esta no linealidad se evita en los circuitos propuestos por la presente invención usando las fuentes CS1, CS2 de corriente. Es una ventaja importante de la presente invención que proporciona una señal ΔV_{out} de salida con una linealidad mejorada.

50 Diseño de resistor:

La FIG. 9 muestra el patrón de diseño de la FIG. 5 con más detalle (y reflejado). Las “regiones de salida” 6, así como las “partes de esquina” 3 que interconectan las bandas 8, 9 piezorresistivas están hechas de una capa fuertemente dopada del primer tipo de dopante, por ejemplo, una capa difusa de tipo p+ fuertemente dopada. Tienen una resistencia eléctrica relativamente baja, y se extienden en una dirección de coeficientes piezorresistivos relativamente pequeños (en el ejemplo mostrado, preferiblemente en ángulos de +/- 45° con respecto a la primera y segunda dirección Y, X). Las regiones 6 de salida se extienden más allá del borde 21 de la membrana 2, y están en contacto óhmico con los electrodos conductores, por ejemplo, electrodos 4 de metal, situados en el volumen, fuera de la membrana 2. Tales electrodos 4 de metal por ejemplo pueden comprender aluminio.

Dado que las capas difusas del primer tipo dopante, por ejemplo, capas 8, 9 difusas de tipo p que constituyen los elementos de detección de presión tienen un coeficiente piezorresistivo relativamente grande, por ejemplo, el máximo, su resistencia eléctrica varía extremadamente por un esfuerzo que se desarrolla debido a la deformación de la membrana 2 semiconductor, por ejemplo, de silicio. Es decir, estos elementos de detección de presión son muy sensibles a una presión o similar. Por el contrario, dado que las capas difusas están fuertemente dopadas con dopantes del primer tipo de dopante, por ejemplo, capas difusas p+ fuertemente dopadas, las interconexiones 3 y 6 están dispuestas en orientaciones de coeficientes piezorresistivos relativamente pequeños, por ejemplo, mínimos, son las menos sensibles a un cambio de presión. Orientando las bandas 8 piezorresistivas del primer resistor R1 cerca de y ortogonal a las bandas 9 piezorresistivas del segundo resistor R2, una presión ejercida en la membrana 2 tendrá un efecto opuesto en la resistencia eléctrica del primer y segundo resistores R1, R2, en el sentido de que, cuando la resistencia del primer resistor R1 aumenta debido a la presión ejercida sobre la misma, la resistencia del segundo resistor R2 disminuye, y viceversa, haciendo que el primer voltaje V_{out-} de salida disminuya y que el segundo voltaje V_{out+} de salida aumente (o viceversa), teniendo de esta manera un efecto opuesto en los voltajes de salida, proporcionando de esta manera una señal de salida diferencial que varía fuertemente con la presión aplicada.

Situando los contactos entre los electrodos 4 conductores, por ejemplo, de metal, y las regiones 6 de salida del primer tipo dopante, por ejemplo las regiones de salida de tipo p+, en gran parte fuera de la membrana 2, se puede reducir, por ejemplo, minimizar, la influencia que se ejerce sobre la deformación de la membrana semiconductor, por ejemplo, de silicio, por la tensión residual que se desarrolla en las inmediaciones de la parte de contacto, y cualquier histéresis debida a los cambios de temperatura.

Una ventaja particular del diseño mostrado en la FIG. 9 es que la parte 6b de salida del nodo A (común) se encamina entre las partes 6a, 6b de salida de los nodos D, B de salida. Esto ofrece la ventaja de que el encaminamiento pasa solamente sobre una distancia mínima (o ninguna distancia en absoluto) sobre la membrana 2.

En el ejemplo mostrado en la FIG. 9, los resistores R1 y R2 son de material semiconductor de tipo p, incrustado en una estructura de pozo N. En realizaciones preferidas de la presente invención, el pozo N está conectado eléctricamente al nodo A de polarización (como se muestra explícitamente en la FIG. 4 y la FIG. 6). En algunas realizaciones, la membrana entera está hecha de material de tipo n, que actúa como pozo N. En este caso, la membrana establece la capa de agotamiento para todos los resistores. Haciéndolo así, el espesor de la capa de agotamiento entre el material de resistor de tipo p y el pozo N se reduce a un mínimo y se mantiene igual para ambos resistores, lo que permite una lectura más rápida (mayor ancho de banda). De hecho, en la realización de la FIG. 4: en un extremo del resistor (conectado al nodo A de polarización) hay una diferencia de voltaje cero entre el resistor y el pozo n, en el extremo opuesto del resistor (en el nodo D, B de salida) la diferencia de voltaje es $I \times R$, de esta manera hay una diferencia de voltaje media de $I \times R/2$ sobre la capa de agotamiento.

Por el contrario, en la realización de la FIG. 6, que es una segunda realización de un sensor 200 de presión según la presente invención, que tiene muchos de los mismos rasgos y ventajas de la primera realización de un sensor 100 de presión de la presente invención, la diferencia de voltaje entre el resistor R1, R2 y el pozo n es $(V_{bias} - I \times R)$ en un extremo del resistor, y es V_{bias} en el otro extremo del resistor, de esta manera en media: $V_{bias} - (I \times R)/2$, que es típicamente algo mayor que en el caso de la FIG. 4. De esta manera, la capa de agotamiento entre los resistores y el pozo N tendrá (típicamente) un espesor T mayor en la realización de la FIG. 6 en comparación con el de la FIG. 4, lo cual es desventajoso para una lectura rápida.

Como se puede ver, el circuito de la FIG. 6 necesita cuatro contactos en la medida que preferiblemente el pozo n está conectado a un nodo de voltaje óhmico bajo con un voltaje que es igual o mayor que el voltaje en los nodos D y B. La capa de agotamiento forma una carga capacitiva y conectándola a una de las salidas y no por separado, la coincidencia de los resistores se compromete en la medida que el resistor conectado al pozo n tendrá una capacitancia mucho mayor que el resistor que no está conectado al pozo. Cuando las conexiones al sensor se hacen con cables de enlace, la configuración de la FIG. 6 necesitará cuatro almohadillas de unión, mientras que la configuración de la FIG. 4 necesita solamente tres almohadillas de unión. En otras palabras: si la estructura de diseño de resistores de la FIG. 9 ha de ser usada en el circuito de la FIG. 6, o bien el pozo N se puede conectar al voltaje de polarización (por ejemplo, a través de una almohadilla de enlace adicional, en caso de que el sustrato de la membrana y el sustrato con las fuentes de corriente no sea el mismo), o bien alternativamente, el pozo N se puede conectar a uno de los nodos de salida, pero esto tiene la desventaja de crear una impedancia capacitiva asimétrica para los dos resistores R1, R2.

La FIG. 10 muestra otro ejemplo de un patrón de diseño que se puede usar en realizaciones del sensor 100, 200 de presión descrito anteriormente. En este ejemplo, cada resistor R1, R2 contiene tres bandas 8, 9 piezorresistivas (indicadas en gris oscuro) dispuestas en "estrecha proximidad" del borde 21 de la membrana. Lo que se quiere decir con "cerca" y "próximo" se cuantificará cuando se describa la FIG. 11. Como se muestra en la FIG. 9 y la FIG. 10, las bandas 8, 9 piezorresistivas de cada resistor particular son paralelas entre sí, pero las bandas piezorresistivas de los diferentes resistores del par están orientadas ortogonalmente una con respecto a la otra.

La FIG. 11 muestra una vista agrandada de las bandas 8, 9 piezorresistivas de la FIG. 10. Como se puede ver, las bandas 8, 9 piezorresistivas están situadas "muy cerca próximas al borde de la membrana". Con el fin de cuantificar que los resistores R1 y R2 del primer par P1 están situados "cerca" entre sí (en comparación con el tamaño de la membrana 2), se define una distancia MD máxima entre un punto de las primeras bandas 8 de resistores (del primer resistor R1) y un punto de las segundas bandas 9 de resistores (del segundo resistor R2), donde dichos puntos están indicados por puntos negros con propósitos ilustrativos. En realizaciones preferidas de la presente invención, la relación de dicha distancia MD máxima y una dimensión de la membrana 2 (en el caso de una membrana cuadrada dicha dimensión se elegiría que sea la anchura W de la membrana), es decir, MD/W es menos del 50%, preferiblemente menos del 40%, preferiblemente menos del 35%, preferiblemente menos del 30%, preferiblemente menos del 25%, preferiblemente menos del 20%, preferiblemente menos del 15%, tal como por ejemplo de alrededor del 10%. En caso de que la membrana 2 tenga una forma circular, la relación se calcularía como la longitud de dicha distancia MD máxima sobre el diámetro del círculo. En caso de que la membrana tenga una forma elíptica, la relación se calcularía como la distancia MD máxima sobre el mayor de los dos ejes de la elipse. En caso de que la membrana 2 tenga una forma sustancialmente octogonal, la relación se calcularía como la longitud de dicha MD diagonal sobre la distancia entre lados opuestos del octógono, etc.

Aunque no visible en la FIG. 9 a la FIG. 11, pero visible en la FIG. 5, los resistores R1, R2 están situados preferiblemente también "alrededor de en el medio" del lado S1 de la membrana 2, debido a que para una forma de membrana cuadrada, se crea una tensión de tracción máxima en el medio de cada lado. Con "alrededor de en el medio de un lado" se quiere decir dentro de un círculo imaginario que tiene su centro en el centro del lado, y que tiene un diámetro de menos del 50% de la "dimensión de la membrana" mencionada anteriormente (por ejemplo, la anchura de un cuadrado, el diámetro de un círculo, etc.), preferiblemente de menos del 40%, más preferiblemente de menos del 30%, incluso más preferiblemente de menos del 20%. En caso de una membrana circular, la membrana no tiene "lados", pero se puede usar la misma definición considerando el cuadrado tangencial (como se ilustra). También para membranas redondas, las bandas tienen que estar alineadas en las direcciones <110> con el fin de tener sensibilidad piezorresistiva máxima.

Como se ilustra en la FIG. 11, la posición de las bandas 8, 9 piezorresistivas con respecto al borde 21 de la membrana (indicado en línea de puntos), en particular la distancia "d1" entre el centro de las bandas 8 y el borde 21 de la membrana, se puede elegir para crear un máximo de cambio de resistencia de las tres bandas juntas (por ejemplo, $\Delta R1$) cuando se aplica una presión. Para un número elegido de bandas piezorresistivas (por ejemplo, tres en la realización mostrada), y para las dimensiones elegidas (longitud y anchura de las bandas, y distancia entre las bandas), se puede determinar la distancia "d1" óptima en términos de sensibilidad máxima con respecto a la presión, por ejemplo calcular o simular o determinar de cualquier otra forma, por ejemplo a través de la variación de diseño. Del mismo modo, para un número elegido de bandas 9, y para las dimensiones elegidas de las mismas, se puede determinar una distancia "d2" óptima en términos de sensibilidad máxima con respecto a la presión. El valor de "d2" se puede determinar independiente del valor de "d1", pero es dependiente del tamaño de la membrana y del espesor T de la membrana. El modelado de elementos finitos se puede usar para determinar estas distancias d1, d2 "óptimas". Sin embargo, la invención también funcionará con posiciones subóptimas. Las simulaciones han demostrado que tal posición óptima, por ejemplo, se puede obtener "desplazando" las bandas 8 resistivas alrededor del 25% sobre el borde 21 de la membrana, y "desplazando" la banda 9c resistiva completamente sobre el borde 21 de la membrana, pero también funcionarán otros valores de d1 y d2, siempre que el primer resistor R1 y el segundo resistor R2 estén situados "adyacentes" al borde 21 de la membrana, dentro de una distancia de a lo sumo 3 veces ($\leq 3x$) el espesor T de la membrana, preferiblemente de menos que 2,5 veces T, por ejemplo de menos que 2,0 veces T, y sustancialmente próximo al medio de cualquier lado de la membrana 2.

Con referencia de nuevo a la FIG. 5, se puede verse de esta manera que los resistores R1 y R2 del primer par están dispuestos "muy cerca" (respecto al tamaño de la membrana 2), y por lo tanto se puede suponer (o aproximar) que las temperaturas de las bandas piezorresistivas de R1 y R2 son sustancialmente iguales, digamos T1. De esta manera, situando las bandas 8, 9 de los resistores R1 y R2 "relativamente muy cerca", más específicamente de manera que la distancia MD mayor posible definida por las bandas sea solamente una fracción (por ejemplo, menos del 50%, preferiblemente menos del 20%) de una dimensión W mayor (longitud, anchura, diámetro, etc.) de la membrana 2, la diferencia de temperatura $|T1-T2|$ entre los resistores R1, R2 también sería solamente una fracción de la diferencia de temperatura total que puede existir sobre la membrana 2. Por lo tanto, la sensibilidad del sensor de presión con respecto a cualquier gradiente de temperatura sobre la membrana 2 se reduce drásticamente y, de esta manera, se aumenta la precisión del sensor de presión.

La FIG. 12 es una representación esquemática de una tensión radial (por ejemplo, causada por la presión externa) mostrada en cuatro ubicaciones de una membrana cuadrada, cuya tensión está causada típicamente por una presión (a ser medida) ejercida en la membrana en una dirección perpendicular al sustrato. Entonces se puede entender que, cuando la orientación de las bandas 8, 9 piezorresistivas de R1 y R2 son ortogonales entre sí, el efecto de tal presión radial ejercida en una dirección sustancialmente perpendicular al plano XY de la membrana 2 (en la dirección Z), hará que el valor de R1 aumente (debido a que aumenta la longitud de las piezobandas), y que el valor de R2 disminuya (debido a que aumenta su anchura), o viceversa.

La FIG. 13 es una representación esquemática de una tensión (no radial) uniforme (en el ejemplo mostrado de izquierda a derecha) en cuatro ubicaciones de una membrana cuadrada, cuya tensión no radial uniforme puede ser

causada por el empaquetado. ¿Cómo reaccionaría el circuito de la FIG. 4 a tal tensión? En el caso ilustrado en la FIG. 13, el valor de R1 aumentaría, y el valor de R2 disminuiría, por lo tanto, el circuito de la FIG. 4 no puede diferenciar entre presión externa y tensión de paquete no radial uniforme, lo que es una desventaja de la primera realización. (Por supuesto, el desplazamiento cero correspondiente todavía se puede reducir de otras formas, por ejemplo, midiendo el desplazamiento cero durante la producción, almacenando dicho valor en una memoria rápida, y restando el valor durante el uso real del dispositivo).

En resumen, y con referencia de nuevo a la FIG. 4, el comportamiento de la Tabla 1 ahora se puede entender por los resistores R1, R2 individuales, y por el sensor 100 de presión, según la primera realización:

TABLA 1: comportamiento de la primera realización

	R1	R2	sensor 100 de presión
presión (radial) externa	arriba (abajo)	abajo (arriba)	alta sensibilidad buen comportamiento lineal
temp T1 variable	$R1=f(T1)$	$R2=f(T2), T2\approx T1$	insensible (modo común)
Gradiente de temp	--	--	insensible
tensión (no radial) uniforme	arriba (abajo)	abajo (arriba)	sensible (visto como "señal")

La FIG. 5 ya se ha tratado anteriormente. El dibujo muestra una realización con una membrana circular, y con una membrana cuadrada en un único dibujo. El comportamiento de ambas implementaciones es muy similar. Mientras que el diseño de resistor dual de la FIG. 9 (con dos resistores, cada uno que tiene dos bandas piezorresistivas) se usó en el sensor 100 de presión de la FIG. 5, se deberá aclarar que también podría haber sido usado el diseño de la FIG. 10 (con dos resistores, cada uno que tiene tres bandas piezorresistivas).

La FIG. 6 muestra un diagrama de bloques esquemático de una segunda realización de un sensor 200 de presión según la presente invención. Esta es una variante de la FIG. 4, y ya se trató brevemente anteriormente. Todo lo que se menciona anteriormente para la primera realización 100 también es aplicable para esta realización, excepto que la posición de los resistores R1, R2 y las fuentes CS1, CS2 de corriente está intercambiada. En realidad, en la FIG. 4 las fuentes de corriente están conectadas con un extremo a tierra mientras que en la FIG. 6 las fuentes de corriente están conectadas con un extremo al nodo A de polarización. Además, en la FIG. 4 los resistores R1 y R2 están conectados con un nodo al nodo A de polarización mientras que en la FIG. 6 los resistores están conectados con un nodo a tierra.

El comportamiento y rendimiento de la segunda realización 200 es muy similar al de la primera realización 100, excepto para la capacitancia de los resistores R1, R2, que es relevante para mediciones AC y comportamiento transitorio. El espesor de la capa de agotamiento entre los resistores R1, R2 y el pozo N en la FIG. 6 es típicamente mayor que el de la FIG. 4, por lo tanto la realización de la FIG. 6 puede tener un ancho de banda reducido. Aparte de esto, la segunda realización ofrece las mismas ventajas de sensibilidad alta/mejorada, linealidad buena/mejorada, insensibilidad a variaciones de temperatura y gradiente de temperatura, enumeradas en la TABLA 1. Mediante la adición de un contacto de polarización separado para el pozo N los resistores R1, R2 también se pueden hacer coincidir para la capacitancia de la capa de agotamiento.

La FIG. 7 muestra un diagrama de bloques esquemático de una tercera realización de un sensor 300 de presión según la presente invención, y la FIG. 8 muestra un ejemplo de un diseño posible de parte del mismo. El sensor 300 de presión tiene todos los componentes del sensor 100 de presión de la primera realización, y por lo tanto, todo lo que se menciona anteriormente para la primera realización, también es aplicable para esta realización, a menos que se mencione específicamente de otro modo.

Además, esta realización comprende además: un segundo par P2 de resistores situado en o adyacente a una segunda parte S2 lateral de la membrana 2. La segunda parte S2 lateral está situada a una distancia angular de 90° de la primera parte S1 lateral que se mide desde el centro de la membrana 2. El segundo par P2 de resistores comprende un tercer resistor R3 conectado eléctricamente en paralelo con el segundo resistor R2 entre dicho (primer) nodo A de polarización y dicho segundo nodo B de salida, y un cuarto resistor R4 conectado en paralelo con el primer resistor R1 entre dicho (primer) nodo A de polarización y dicho primer nodo D de salida. El tercer resistor R3 comprende una o más, por ejemplo dos o tres terceras bandas 10 piezorresistivas alargadas dispuestas en la primera dirección X. Es esencial que esta dirección sea la misma dirección que las bandas 8 piezorresistivas del primer resistor R1 (como se describirá además). El cuarto resistor R4 comprende una o más segundas bandas 11 piezorresistivas alargadas dispuestas en la segunda dirección Y.

Se señala en la FIG. 7, que la "flecha hacia arriba/abajo" en R1, R2, R3, R4 es una indicación gráfica que significa que si el valor de resistencia de R1 aumenta debido a la presión externa, entonces el valor de R4 también aumenta, pero el valor de R2 y R3 disminuye.

Sin embargo, con el fin de apreciar completamente las ventajas de este circuito 300, el lector también debería considerar la estructura de diseño de la FIG. 8, y imaginar qué ocurrirá en caso de variaciones de temperatura con el tiempo, qué ocurrirá en caso de un gradiente de temperatura sobre la membrana ($T1 \approx T2$, y $T3 \approx T4$, pero $T1 <> T3$), qué ocurrirá en caso de que una presión externa se aplique a la membrana (véase el patrón de tensión radial de la FIG. 12), y qué ocurrirá en caso de tensión de paquete no radial uniforme (véase el ejemplo de la FIG. 13). Este comportamiento se resume en la Tabla 2:

TABLA 2: comportamiento de la tercera realización

	R1	R2	R3	R4	sensor 300 de presión
presión externa (patrón de tensión radial)	arriba (abajo)	abajo (arriba)	abajo (arriba)	arriba (abajo)	alta sensibilidad buen comportamiento lineal
Temp variable T1	$R1=f(T1)$	$R2=f(T2)$, $T2 \approx T1$	$R3=f(T3)$	$R4=f(T4)$,	reducida o insensible (modo común)
Gradiente de temp ($T1 <> T3$)	T1	$T2 \approx T1$	T3	$T4 \approx T3$	reducida o insensible [*1]
tensión (no radial) uniforme	arriba (abajo)	abajo (arriba)	arriba (abajo)	abajo (arriba)	reducida o insensible [*2]

[*1]: El sensor 300 de presión es relativamente insensible a un gradiente de temperatura sobre la membrana (es decir, $T1$ no es igual a $T3$), debido a que R1 y R2 aumentarán o disminuirán ambas de la misma manera, y R3 y R4 aumentarán o disminuirán ambas de la misma manera, por lo tanto la conexión en paralelo de R1 y R4 también aumentará o disminuirá sustancialmente de la misma manera como la conexión en paralelo de R2 y R3 (no exactamente, pero igual en una aproximación de primer orden). Cuanto más cercanas están las bandas 8, 9 de R1 y R2 por una parte, y las bandas 10, 11 piezorresistivas de R3 y R4 por otra parte están situadas juntas, menor será la diferencia de temperatura entre R1 y R2, y menor será la diferencia de temperatura entre R3 y R4. Incluso aunque esta compensación puede no ser perfecta, está claro que este efecto no está presente en todos cuando las bandas piezorresistivas están situadas en cuatro lados diferentes de la membrana. Por lo tanto, situar los resistores R1 y R2 próximos a un primer lado, y R3 y R4 próximos a un segundo lado, ofrece una ventaja clara sobre la técnica anterior.

[*2]: El sensor 300 de presión es relativamente insensible a tensión (no radial) uniforme, por ejemplo, tensión de paquete, debido a que R1 y R4 tienen un comportamiento opuesto (debido a la orientación y ubicación de sus bandas piezorresistivas): si R1 aumenta debido a la tensión uniforme (véase la FIG. 13), entonces R4 disminuirá debido a que las bandas de R1 y R4 son perpendiculares entre sí). Del mismo modo, R2 y R3 tienen un comportamiento opuesto para tensión no radial uniforme (véase la FIG. 13). Y dado que R1 y R4 están conectados en paralelo, y R2 y R3 están conectados en paralelo, el efecto combinado se reduce drásticamente, o incluso se elimina (en primer orden). En otras palabras: una tensión (no radial) uniforme, por ejemplo, debida a tensión de paquete, ejercida en el dispositivo 300 no cambiará significativamente el voltaje ΔV_{out} de salida, aunque un desplazamiento en modo común pequeño de los voltajes V_{out-} , V_{out+} en los nodos D, B de salida se puede observar cuando la relación de los coeficientes transversal y longitudinal no es exactamente menos uno.

Una comparación de la Tabla 2 y la Tabla 1 muestra que la ventaja principal de un sensor 300 de presión según la tercera realización es que tiene la ventaja adicional de ser relativamente insensible a tensión (no radial) uniforme, por ejemplo tensión de paquete.

La FIG. 8 no se describirá en detalle, debido a que es muy similar a la FIG. 5. El lector entenderá que, incluso aunque los resistores R1, R2, R3, R4 se muestran con bandas piezorresistivas solamente (usando el diseño de la FIG. 9), también es posible por supuesto un diseño de resistores con tres piezobandas (usando el diseño de la FIG. 10). Es preferible si se usa el mismo patrón de diseño (aparte de desplazar, girar y reflejar) para el primer par P1 de resistores y para el segundo par P2 de resistores, pero que no se requiere en absoluto, y la invención también funcionará si por ejemplo el primer par P1 de resistores usase el diseño de la FIG. 9, y el segundo par P2 de resistores usase el diseño de la FIG. 10, o viceversa, a condición de que las orientaciones relativas y el valor de resistencia $R1=R2=R3=R4$ se mantenga. Sin embargo, usar un único patrón de diseño daría como resultado una coincidencia mejor, por lo tanto ha de ser esperada una precisión mayor. La sensibilidad de un resistor está influida por el diseño y por lo tanto se prefiere el mismo diseño de las bandas piezorresistivas.

La FIG. 9 ya se ha descrito anteriormente. Sin embargo, cuando se usa en la segunda realización 200 (FIG. 6), necesita ser hecha una modificación, debido a que V_{bias} sería realmente Tierra, y el pozo N se conectaría a V_{dd} , no a tierra. De esta manera, el "contacto n" tendría que ser proporcionado a través de un cuarto contacto, más que a través del contacto de V_{bias} . Lo mismo se aplica para la FIG. 10, cuando se usa en la segunda realización 200.

Esto refleja otra ventaja de la estructura de diseño de la FIG. 9 y la FIG. 10. Cuando las fuentes de corriente no están integradas en el chip del sensor, el diseño de resistores de la FIG. 9 y la FIG. 10 solamente requiere 3

almohadillas de unión, mientras que un puente de Wheatstone siempre requiere 4 almohadillas de unión: una para VDD, una para GND, y dos para la señal de salida.

La FIG. 11 a la FIG. 13 ya se trataron anteriormente.

5 La FIG. 14 ilustra una cuarta realización de un sensor 400 de presión según la presente invención. Un sensor 400 de presión según la cuarta realización tiene todos los rasgos de un sensor de presión según la tercera realización. Con el fin de describir la cuarta realización, el circuito mostrado en la FIG. 7 se denominará "primer subcircuito". Un sensor de presión según la cuarta realización tendría entonces también un "segundo subcircuito", eléctricamente idéntico al primer subcircuito mostrado en la FIG. 7, pero que comprende un tercer y cuarto par P3, P4 (en lugar de P1, P2) de resistores y con una tercera y cuarta fuente CS3, CS4 (en lugar de CS1, CS2) de corriente.

10 El segundo subcircuito que comprende P3, P4, CS3, CS4 está polarizado preferiblemente por el mismo voltaje Vbias de polarización y tierra Gnd que el primer subcircuito, aunque eso no es absolutamente requerido. El segundo subcircuito proporciona una segunda señal ΔV_{ref} de salida diferencial. El tercer par P3 comprende dos resistores R5, R6 (correspondientes a R1 y R2 del primer subcircuito) y el cuarto par P4 comprende dos resistores R7, R8 (correspondientes a R3 y R4 del primer subcircuito). Los resistores R5, R6, R7, R8 están situados adyacentes a y
15 sustancialmente en el medio del primer y segundo lado S1, S2 de la membrana 2, fuera de la membrana 2, en el material en volumen. No están destinados a medir desviaciones de la membrana 2, sino a medir solamente el esfuerzo (radial) debido a empaquetado.

Usando el mismo patrón de diseño o similar (o girado, trasladado, reflejado) que se muestra en la FIG. 9 o la FIG. 10, las bandas piezorresistivas de R5 y R6 están situadas "muy cerca" respecto al tamaño de la membrana (usando la misma fórmula MD/W), y por lo tanto la temperatura del quinto y sexto resistores R5, R6 se puede considerar que es sustancialmente la misma, digamos T5. Del mismo modo la temperatura del séptimo y octavo resistor R7, R8 se puede considerar sustancialmente la misma. De esta manera organizando los resistores del segundo subcircuito (externo) en pares P3, P4 (más que como resistores individuales extendidos alrededor de la membrana 2, como se hace en la técnica anterior), también el segundo subcircuito es sustancialmente insensible, por ejemplo, insensible a
20 un gradiente de temperatura, lo que es una ventaja importante sobre la técnica anterior, cuando se usa la salida ΔV_{ref} del segundo subcircuito que comprende P3, P4 para corregir la salida ΔV_{out} del primer subcircuito que comprende P1, P2.

Debido a que el espesor T de la membrana 2, típicamente del orden de 10 a 100 micrómetros es normalmente mucho más pequeño, por ejemplo, al menos diez veces más pequeño que el tamaño de la membrana (por ejemplo, una anchura de la membrana en el intervalo de 200 a 2.000 micrómetros), el tercer par P3 de resistores está situado relativamente "cerca" del primer par P1 de resistores, y el cuarto par P4 de resistores está situado relativamente
30 "cerca" del segundo par P2 de resistores, de manera que la presión detectada por el tercer par P3 de resistores debida al empaquetado es sustancialmente la misma que la presión ejercida por el paquete en el primer par P1 de resistores, y la presión detectada por el cuarto par P4 de resistores debida al empaquetado es sustancialmente la misma que la presión ejercida por el paquete en el segundo par P2 de resistores.

De esta manera el valor medido por el primer subcircuito (interno) es indicativo de la presión externa y la tensión de paquete, mientras que el valor medido por el segundo subcircuito es indicativo de la tensión de paquete solamente. Si se elige un diseño idéntico para los resistores R1-R4 y para R5-R8 del primer y del segundo subcircuito, y si se elige el mismo voltaje Vbias de polarización para el primer y segundo subcircuito (en la FIG. 14 están cableados físicamente), el valor del segundo subcircuito se puede restar del valor del primer subcircuito para compensar la
40 tensión de paquete, en formas conocidas en la técnica (por ejemplo mediante un controlador digital, después de ADC). Pero la invención no está limitada a eso, y en general, el valor del segundo subcircuito sería proporcional a la tensión de paquete, y una fracción predefinida del valor ΔV_{ref} se puede restar de otra manera (por ejemplo, de una manera análoga) de la salida ΔV_{out} del primer subcircuito para compensar el desplazamiento cero frente a la
45 tensión de paquete.

Aunque el uso de un segundo subcircuito en un intento de compensar el error de desplazamiento debido a la tensión de paquete ya se ha mencionado en la técnica anterior (véase el documento EP0083496A2), los experimentos han demostrado que la compensación de desplazamiento descrita en la técnica anterior (donde resistores individuales están distribuidos sobre los cuatro lados de la membrana y el volumen), no funciona muy bien, y es bastante
50 sensible a un gradiente de temperatura.

Se encontró que, cuando los resistores de los dos subcircuitos están organizados en pares P1, P2 y P3, P4, como se ha descrito en la presente invención, y como se muestra por ejemplo en la FIG. 14, la coincidencia entre el primer subcircuito (interno) que mide la presión de la membrana y el segundo subcircuito (externo) que mide solamente la
55 tensión de paquete es al menos 3,0 veces la de la técnica anterior. De esta manera mientras que la técnica anterior tiene "una" provisión para compensar la tensión de paquete, la precisión de esa provisión no es muy alta, y la precisión proporcionada por la presente invención es un factor de al menos 3,0 veces mayor. Esta es una mejora importante sobre la técnica anterior.

Se cree que una de las razones subyacentes de por qué la coincidencia de los subcircuitos organizados en pares como se describe en la presente memoria es significativamente mejor que la coincidencia de los subcircuitos de la técnica anterior, está relacionada principalmente con el hecho de que la distancia entre las bandas piezorresistivas dentro de los pares es mucho más corta que la distancia entre las bandas piezorresistivas de los subcircuitos clásicos, sin embargo, los inventores no desean estar limitados a ninguna teoría.

Situando el tercer par P3 "cerca" del primer par P1, automáticamente también la temperatura de los resistores R1, R2, R5 y R6 será sustancialmente la misma (de esta manera $T1=T2=T5=T6$), aunque eso no es absolutamente requerido, es suficiente que $T1=T2$ y que $T5=T6$. Como se ha mencionado anteriormente, la razón principal para situar el tercer par P3 cerca del primer par P1 es hacer coincidir la tensión de paquete lo mejor posible. Dado que los resistores R1 a R4 están situados en la membrana 2, (o más correctamente expresado: una parte importante de R1 y R4 está situada en la membrana) son sensibles a la presión ejercida en la membrana 2 así como a la presión ejercida por el paquete. Por el contrario, dado que los resistores R5 a R8 están situados "suficientemente lejos" fuera de la membrana 2, por ejemplo, al menos 4,0 veces ($\geq 4x$) el espesor T de la membrana lejos del borde 21 de la membrana, o al menos 6,0 veces, o al menos 10,0 veces, son solamente sensibles a la presión ejercida por el paquete. Por lo tanto, el segundo subcircuito que comprende los resistores R5 a R8 se puede usar para determinar la presión radial ejercida por el paquete en el sustrato, cuya presión radial se puede usar para compensar el valor de presión obtenido desde el primer subcircuito, usando métodos conocidos.

En la práctica, necesita ser hecho un compromiso con respecto a la posición del tercer y cuarto par P3, P4 de resistores en relación con el primer y segundo pares P1, P2 de resistores: si P3 está situado "demasiado cerca" del borde de la membrana (y de esta manera de P1), proporciona una mejor indicación (correlación mayor) de la presión de paquete ejercida en los resistores de P1 y P2, pero P3 también será más sensible a la presión externa sobre la membrana. Si P3 está "demasiado lejos" del borde de la membrana, será sustancialmente insensible a la presión externa a ser medida por el primer subcircuito, pero la tensión de paquete experimentada por P3 puede desviarse más de la tensión de paquete experimentada por P1 (correlación menor). Como regla de oro, el tercer y cuarto pares P3, P4 de resistores por ejemplo se puede situar a una distancia igual a alrededor de 4,0 veces (4x) a alrededor de 10,0 veces (10x) el espesor T de la membrana.

A partir de lo anterior se puede entender que un sensor 400 de presión según la tercera realización tiene todas las ventajas de un sensor de presión según la tercera realización (enumeradas en la TABLA 2), y además tiene una precisión mejorada debido a que tiene una compensación mejorada de la tensión de paquete (radial).

En un segundo aspecto, la presente invención también se refiere a un dispositivo semiconductor que comprende un sensor 100, 200, 300, 400 de presión como se ha descrito anteriormente.

Con referencia a la FIG. 15, en un tercer aspecto, la presente invención se refiere a un método de determinación de una presión externa ejercida en un sustrato semiconductor, donde el sustrato semiconductor comprende una membrana 2 y una estructura de resistores que tiene un par P1 de resistores dispuesto como se ha descrito anteriormente (primera realización o segunda realización y mostradas en la FIG. 4 a la FIG. 6), por lo cual el método comprende los pasos de: aplicar 1501 una primera corriente I1 predefinida a dicho primer resistor R1 conectando una primera fuente CS1 de corriente; aplicar 1502 una segunda corriente I2 predefinida a dicho segundo resistor R2 conectando una segunda fuente CS2 de corriente; obtener 1503 una primera señal ΔV_{out} de voltaje diferencial sobre el primer y segundo nodo B,D de salida.

Se señala que las fuentes CS1 y CS2 de corriente pueden ser o pueden no ser parte del mismo sustrato como aquél donde está situada la membrana, pero se podría situar en un segundo sustrato (no mostrado), conectable al primer sustrato a través por ejemplo de tres o cuatro almohadillas de unión.

La presente invención también se refiere a un método de determinación de una presión externa ejercida en un sustrato semiconductor que tiene una membrana 2 y dos pares P1, P2 de resistores dispuestos como se ha descrito anteriormente (tercera realización, y mostrada en la FIG. 7 y la FIG. 8). Este método comprende los pasos de: aplicar una primera corriente I1 predefinida a dicha conexión en paralelo del primer resistor R1 y del cuarto resistor R4 usando una primera fuente CS1 de corriente; aplicar una segunda corriente I2 predefinida a dicha conexión en paralelo del segundo resistor R2 y del tercer resistor R3 usando una segunda fuente CS2 de corriente; y medir una primera señal ΔV_{out} de voltaje diferencial sobre el primer y segundo nodo B, D de salida.

La presente invención también se refiere a un método de determinación de una presión externa ejercida en un sustrato semiconductor que tiene una membrana 2 y dos pares P1, P2 de resistores dispuestos como se ha descrito anteriormente (cuarta realización, y mostrada en la FIG. 14). Este método comprende los pasos de: aplicar una primera corriente I1 predefinida a dicha conexión en paralelo del primer resistor R1 y del cuarto resistor R4 usando una primera fuente CS1 de corriente; aplicar una segunda corriente I2 predefinida a dicha conexión en paralelo del segundo resistor R2 y del tercer resistor R3 usando una segunda fuente CS2 de corriente; y medir una primera señal ΔV_{out} de voltaje diferencial sobre el primer y segundo nodo B, D de salida; y

aplicar una tercera corriente I3 predefinida a dicha conexión en paralelo de R5 y R8 usando una tercera fuente CS3 de corriente; aplicar una cuarta corriente I4 predefinida a dicha conexión en paralelo de R6 y R7 usando una fuente

CS4 de corriente; y medir una segunda señal ΔV_{ref} de voltaje diferencial sobre el tercer y cuarto nodo B2, D2 de salida; y

corregir un valor correspondiente a la primera señal ΔV_{out} de voltaje diferencial con un valor correspondiente a la segunda señal ΔV_{ref} de voltaje diferencial.

5 **Referencias**

	100, 200, 300, 400	sensor de presión
	3	partes de esquina
	6	regiones de salida de electrodo
	8, 9, 10, 11	banda piezorresistiva del primer, segundo, tercer, cuarto resistor
10	P1, P2, ...	primer, segundo, ... par de resistores
	S1, S2, ...	primer, segundo lado de membrana cuadrada
	W	anchura de la membrana cuadrada
	Gnd	voltaje de tierra
	21	borde de membrana
15	4	electrodo de metal
	MD	distancia más grande
	R1, R2, ...	primer, segundo resistor
	T	espesor de la membrana
	Vdd	voltaje de alimentación
20	Vbias	voltaje de polarización

REIVINDICACIONES

1. Un sensor (100, 200, 300, 400) de presión semiconductor para determinar una presión externa ejercida en el sensor, que comprende:
- 5 - una membrana (2) como parte de un sustrato semiconductor para ser deformado debido a la presión externa, que tiene un borde (21) de la membrana y un espesor (T) de la membrana;
 - un primer par (P1) de resistores situado en o adyacente a una primera parte (S1) lateral de la membrana (2), el primer par (P1) de resistores que comprende un primer resistor (R1) conectado entre un primer nodo (A) de polarización y un primer nodo (D) de salida, y un segundo resistor (R2) conectado entre dicho primer nodo (A) de polarización y un segundo nodo (B) de salida diferente del primer nodo (D) de salida, la resistencia del segundo resistor (R2) que es igual a la del primer resistor (R1);
 - 10 - una primera fuente (CS1) de corriente conectada o conectable al primer nodo (D) de salida y adaptada para hacer que una primera corriente (I1) predefinida fluya a través del primer resistor (R1) de modo que el primer nodo (D) de salida asuma un primer voltaje (Vout-) de salida;
 - 15 - una segunda fuente (CS2) de corriente conectada o conectable al segundo nodo (B) de salida y adaptada para hacer que una segunda corriente (I2) predefinida fluya a través del segundo resistor (R2) de modo que el segundo nodo (B) de salida asuma un segundo voltaje (Vout+) de salida, en donde la segunda corriente (I2) predefinida es sustancialmente igual a la primera corriente (I1) predefinida;
 - 20 - el primer resistor (R1) que comprende una o más primeras bandas (8) piezorresistivas alargadas dispuestas en una primera dirección (X) para medir la deformación de la membrana (2) debida a la presión externa a ser medida, el segundo resistor (R2) que comprende una o más segundas bandas (9) piezorresistivas alargadas dispuestas en una segunda dirección (Y) para medir la deformación de la membrana (2) debida a la presión externa a ser medida, en donde la segunda dirección (Y) es sustancialmente perpendicular a la primera dirección (X);
 - el primer y segundo voltaje (Vout-, Vout+) de salida que forma una primera señal (ΔV_{out}) de voltaje diferencial indicativa de la presión externa a ser medida.
- 25 2. Un sensor (100, 200, 300, 400) de presión semiconductor según la reivindicación 1 que además comprende: un primer circuito de lectura que comprende un primer amplificador diferencial para convertir la primera señal (ΔV_{out}) de voltaje diferencial en una primera señal de presión indicativa de la presión a ser medida.
3. Un sensor (100, 300, 400) de presión de semiconductor según la reivindicación 1 o 2,
- 30 - por el cual la primera y la segunda bandas (8, 9) piezorresistivas están formadas como regiones dopadas p dentro de un pozo n; y
 - por el cual el nodo (A) de polarización está conectado eléctricamente al pozo n.
4. Un sensor (300, 400) de presión semiconductor según cualquiera de las reivindicaciones previas, que además comprende:
- 35 - un segundo par (P2) de resistores situados en o adyacentes a una segunda parte (S2) lateral de la membrana, en donde la segunda parte (S2) lateral está situada sustancialmente o precisamente a una distancia angular de 90° de la primera parte (S1) lateral que se mide desde el centro de la membrana (2);
 - un segundo par (P2) de resistores que comprende un tercer resistor (R3) conectado en paralelo con el segundo resistor (R2) entre dicho primer nodo (A) de polarización y dicho segundo nodo (B) de salida, y un cuarto resistor (R4) conectado en paralelo con el primer resistor (R1) entre dicho primer nodo (A) de polarización y dicho primer nodo (D) de salida;
 - 40 - un tercer resistor (R3) que comprende una o más bandas (10) piezorresistivas alargadas dispuestas en la primera dirección (X), el cuarto resistor (R4) que comprende una o más bandas (11) piezorresistivas alargadas dispuestas en la segunda dirección (Y).
- 45 5. Un sensor (400) de presión semiconductor según cualquiera de las reivindicaciones previas, que además comprende:
- un tercer par (P3) de resistores dispuestos en la primera parte (S1) lateral de la membrana (2) pero fuera de la membrana (2), el tercer par (P3) de resistores que comprende un quinto resistor (R5) conectado entre dicho primer nodo (A) de polarización y un tercer nodo (D2) de salida, y un sexto resistor (R6) conectado entre dicho primer nodo (A) de polarización y un cuarto nodo (B2) de salida diferente del tercer nodo (D2) de salida;

- una tercera fuente (CS3) de corriente conectada al tercer nodo (D2) de salida y adaptada para hacer que una tercera corriente (I3) predefinida fluya a través del quinto resistor (R5) de modo que el tercer nodo (D2) de salida proporcione un tercer voltaje (Vref-) de salida;
 - 5 - una cuarta fuente (CS4) de corriente conectada al cuarto nodo (B2) de salida y adaptada para hacer que una cuarta corriente (I4) predefinida fluya a través del sexto resistor (R6) de modo que el cuarto nodo (B2) de salida proporcione un cuarto voltaje (Vref+) de salida, en donde la tercera y cuarta corriente (I3, I4) predefinida es sustancialmente igual a la primera corriente (I1) predefinida;
 - el quinto resistor (R5) que comprende una o más bandas piezorresistivas alargadas dispuestas en la primera dirección (X), y el sexto resistor (R6) que comprende una o más bandas piezorresistivas alargadas dispuestas en una segunda dirección (Y) para medir la tensión de paquete;
 - 10 - y un cuarto par (P4) de resistores dispuesto en la segunda parte (S2) lateral de la membrana (2) pero fuera de la membrana (2), el cuarto par (P4) de resistores que comprende un séptimo resistor (R7) conectado en paralelo con el sexto resistor (R6) entre dicho primer nodo (A) de polarización y dicho cuarto nodo (B2) de salida, y un octavo resistor (R8) conectado en paralelo con el quinto resistor (R5) entre dicho primer nodo (A) de polarización y dicho tercer nodo (D2) de salida, el séptimo resistor (R7) que comprende una o más bandas piezorresistivas alargadas dispuestas en la primera dirección (X), el octavo resistor (R8) que comprende una o más bandas piezorresistivas alargadas dispuestas en la segunda dirección (Y);
 - 15 - en donde la una o más bandas piezorresistivas del quinto y sexto y séptimo y octavo resistor (R5, R6, R7, R8) están dispuestas a una distancia del borde (21) de la membrana de al menos 4,0 veces el espesor (T) de la membrana para medir solamente la tensión ejercida mediante el empaquetado en el sustrato semiconductor;
 - 20 - el tercer y cuarto voltaje (Vref-, Vref+) de salida que forma una segunda señal (ΔV_{ref}) de voltaje diferencial indicativa de la tensión de paquete.
6. Un sensor (400) de presión semiconductor según la reivindicación 5, que además comprende:
- 25 - un multiplexor para aplicar selectivamente la primera señal (ΔV_{out}) de voltaje diferencial y la segunda señal (ΔV_{ref}) de voltaje diferencial al primer amplificador diferencial; y/o
 - un segundo circuito de lectura que comprende un segundo amplificador diferencial para convertir la segunda señal (ΔV_{ref}) de voltaje diferencial a una segunda señal de presión indicativa de la tensión de paquete.
7. El sensor (100, 200, 300, 400) de presión semiconductor según cualquiera de las reivindicaciones previas, en donde cada uno de los resistores (R1, R2; R1, R2, R3, R4; R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8) comprende al menos dos o al menos tres bandas piezorresistivas conectadas en serie.
- 30 8. El sensor (100, 200, 300, 400) de presión semiconductor según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde cada uno de los resistores (R1, R2; R1, R2, R3, R4; R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8) comprende un número igual de bandas (8, 9; 8, 9, 10, 11) piezorresistivas alargadas, y en donde las dimensiones de todas las piezobandas son idénticas.
- 35 9. Un sensor (100, 200, 300, 400) de presión semiconductor según la reivindicación 7 u 8, en donde un diseño de cada par (P1; P1, P2; P1, P2, P3, P4) de resistores comprende además una primera y segunda región (6a, 6c) de salida para interconexión eléctrica a los nodos (D, B) externos y una tercera región (6b) de salida para interconexión eléctrica al nodo (A) común, por lo cual la tercera región (6b) de salida está situada entre la primera y segunda región de salida.
- 40 10. El sensor (100, 200, 300, 400) de presión semiconductor según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9,
- en donde el sustrato es una oblea CMOS; y
 - por el cual la membrana está situada en el plano (100), y al menos uno de los elementos piezorresistivos está orientado en la dirección $\langle 110 \rangle$.
- 45 11. El sensor (100, 200, 300, 400) de presión semiconductor según la reivindicación 10, por el cual la membrana tiene una forma cuadrada o circular.
12. Un dispositivo semiconductor que comprende un sensor (100, 200, 300, 400) de presión semiconductor según cualquiera de las reivindicaciones previas.
13. Un método (1500) de determinación de una presión externa ejercida en un sustrato semiconductor, el sustrato semiconductor que comprende:
- 50 - una membrana (2) dispuesta para ser deformada debido a la presión externa, y que tiene un borde (21) de la membrana y un espesor (T) de la membrana;

- 5 - un primer par (P1) de resistores situado en o adyacente a una primera parte (S1) lateral de la membrana (2), el primer par (P1) de resistores que comprende un primer resistor (R1) conectado entre un primer nodo (A) de polarización y un primer nodo (D) de salida, y un segundo resistor (R2) conectado entre dicho primer nodo (A) de polarización y un segundo nodo (B) de salida diferente del primer nodo (D) de salida, la resistencia del segundo resistor (R2) que es igual a la del primer resistor (R1);
- 10 - el primer resistor (R1) que comprende una o más primeras bandas (8) piezorresistivas alargadas dispuestas en una primera dirección (X) para medir la deformación de la membrana (2) debida a la presión externa a ser medida, el segundo resistor (R2) que comprende una o más segundas bandas (9) piezorresistivas alargadas dispuestas en una segunda dirección (Y) para medir la deformación de la membrana (2) debida a la presión externa a ser medida, en donde la segunda dirección (Y) es sustancialmente perpendicular a la primera dirección (X);
- el método que comprende los pasos de:
- 15 - conectar (1501) una primera fuente (CS1) de corriente al primer nodo (D) de salida, la primera fuente de corriente que está adaptada para hacer que una primera corriente (I1) predefinida fluya a través del primer resistor (R1) de modo que el primer nodo (D) de salida asuma un primer voltaje (Vout-) de salida;
- 20 - conectar (1502) una segunda fuente (CS2) de corriente al segundo nodo (B) de salida, la segunda fuente de corriente que está adaptada para hacer que una segunda corriente (I2) predefinida fluya a través del segundo resistor (R2) de modo que el segundo nodo (B) de salida asuma un segundo voltaje (Vout+) de salida, en donde la segunda corriente (I2) predefinida es sustancialmente igual a la primera corriente (I1) predefinida;
- obtener (1503) una primera señal (ΔV_{out}) de voltaje diferencial sobre el primer y segundo nodo (B, D) de salida como indicación de la presión externa a ser medida.
14. Un método según la reivindicación 13, en donde el sustrato además comprende un segundo par (P2) de resistores como se expone en la reivindicación 4.
15. Un método según la reivindicación 14, en donde el sustrato además comprende un tercer y un cuarto par (P3, P4) de resistores como se expone en la reivindicación 5,
- 25 el método que además comprende los pasos de:
- aplicar una tercera corriente (I3) predefinida a dicha conexión en paralelo del quinto resistor (R5) y el octavo resistor (R8) usando una tercera fuente (CS3) de corriente; y
- aplicar una cuarta corriente (I4) predefinida a dicha conexión en paralelo del sexto resistor (R6) y el séptimo resistor (R7) usando una cuarta fuente (CS4) de corriente; y
- 30 - medir una segunda señal (ΔV_{ref}) de voltaje diferencial sobre el tercer y cuarto nodo (B2, D2) de salida; y
- corregir un valor correspondiente a la primera señal (ΔV_{out}) de voltaje diferencial con un valor correspondiente a la segunda señal (ΔV_{ref}) de voltaje diferencial.

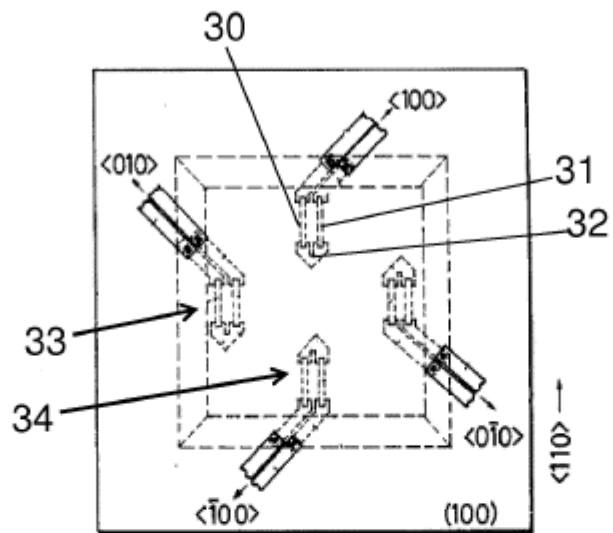


FIG. 1 (TÉCNICA ANTERIOR)

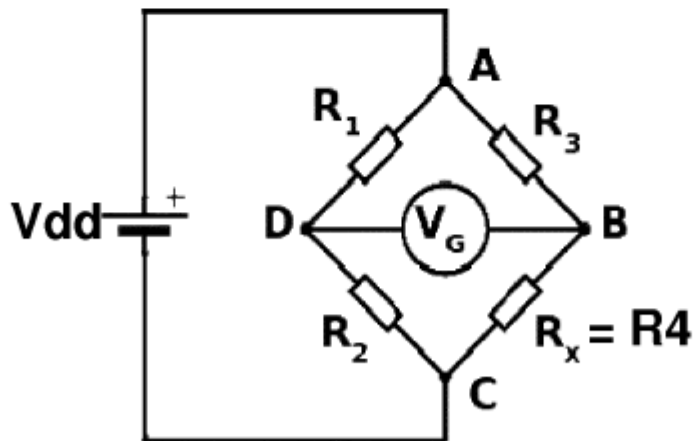


FIG. 2 (TÉCNICA ANTERIOR)

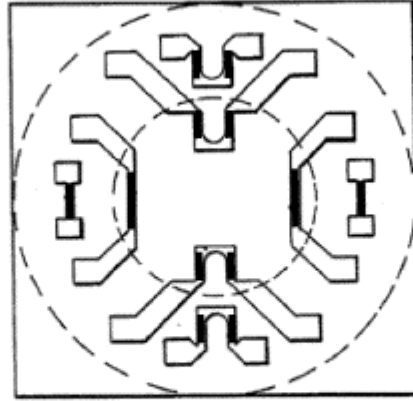


FIG. 3 (TÉCNICA ANTERIOR)

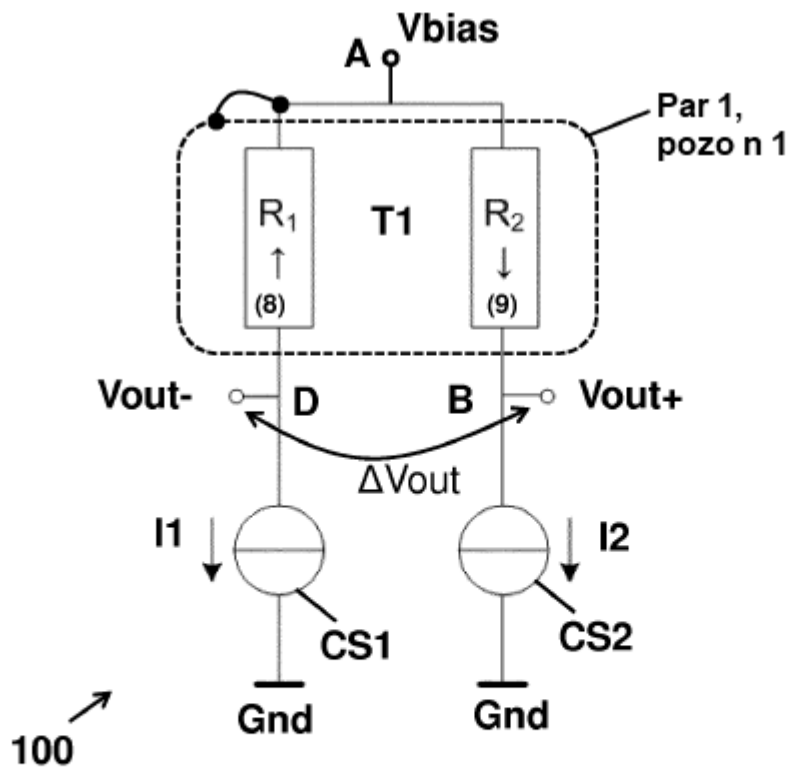
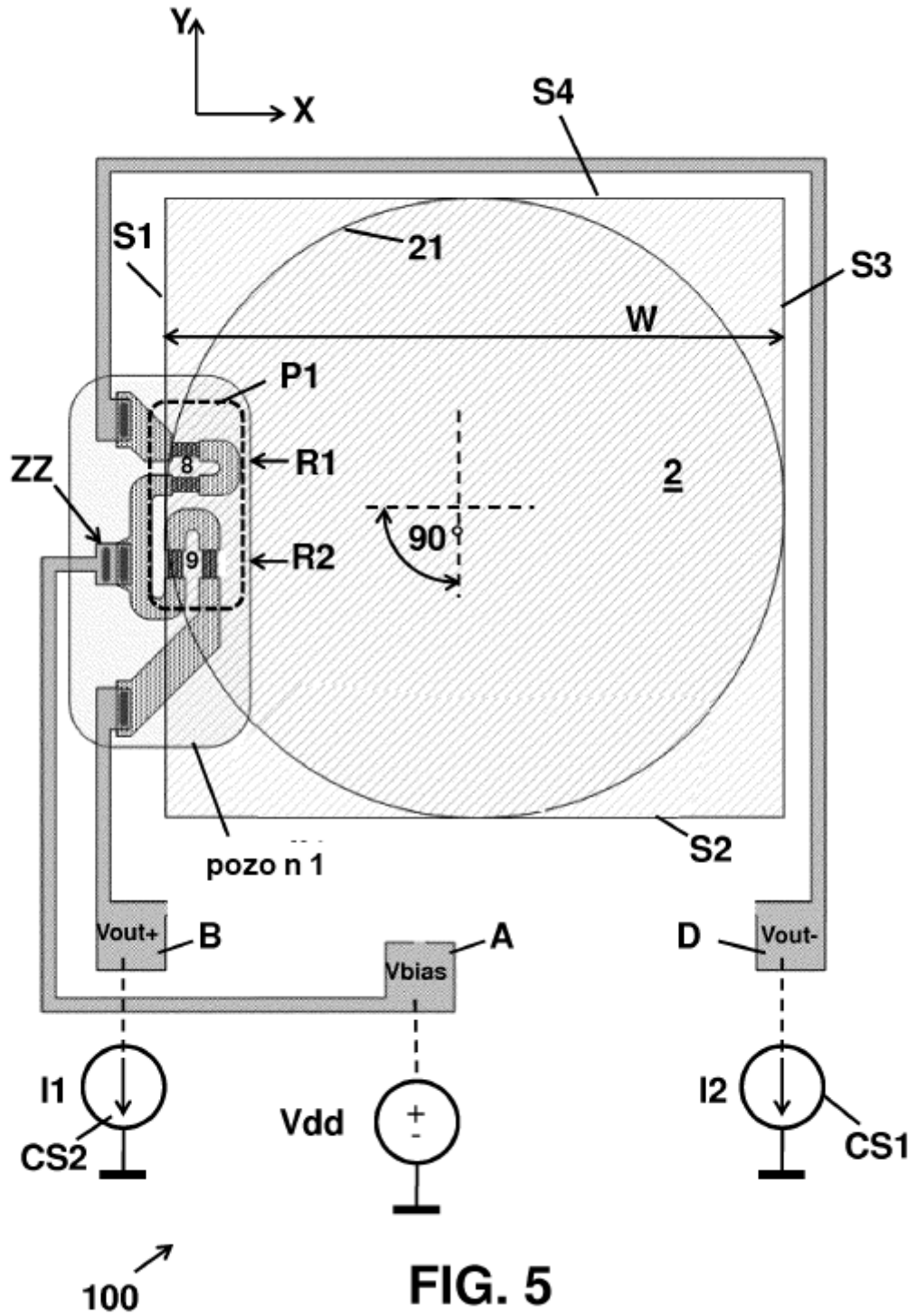


FIG. 4



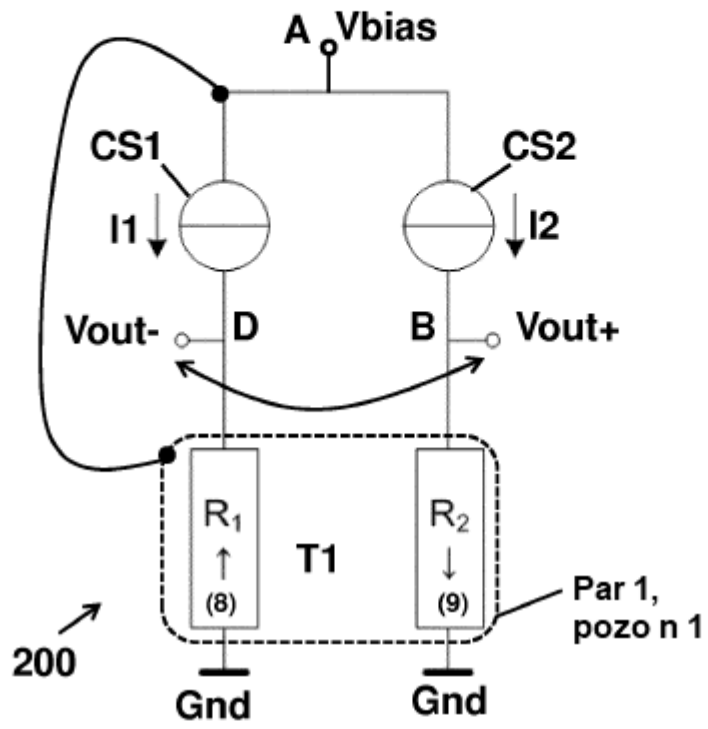


FIG. 6

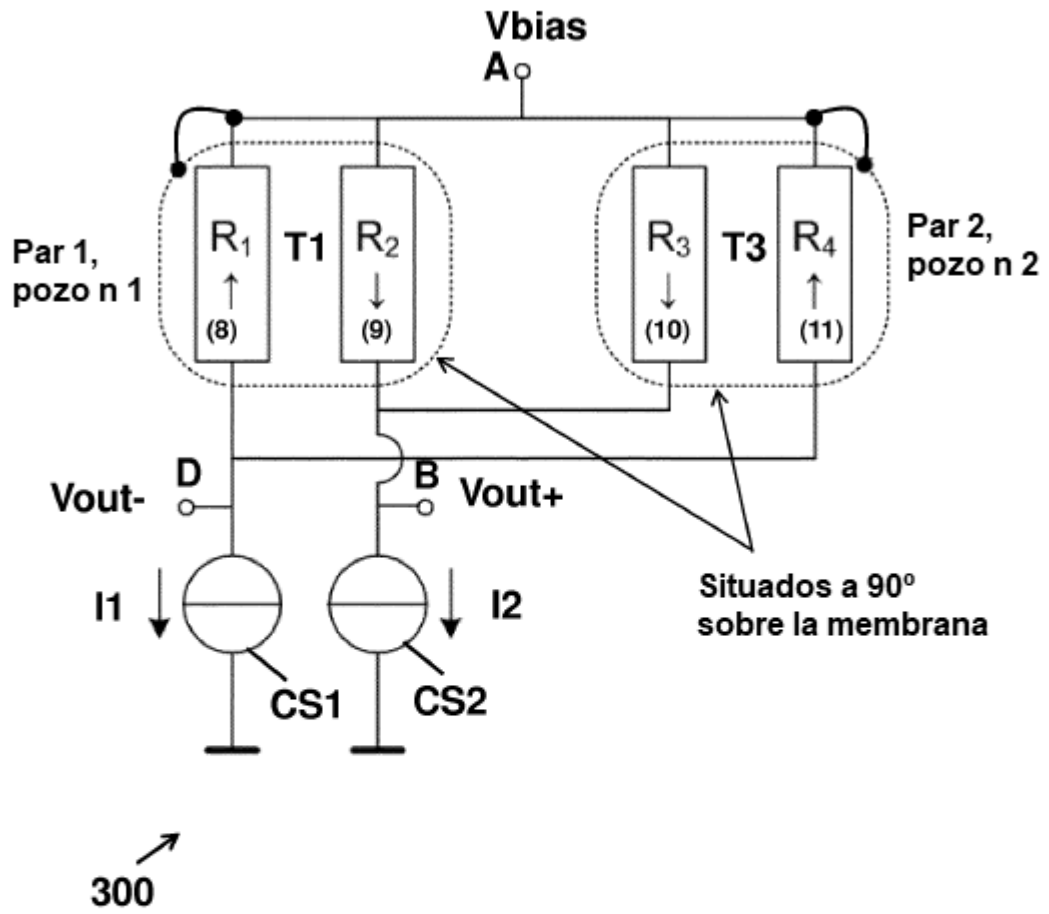


FIG. 7

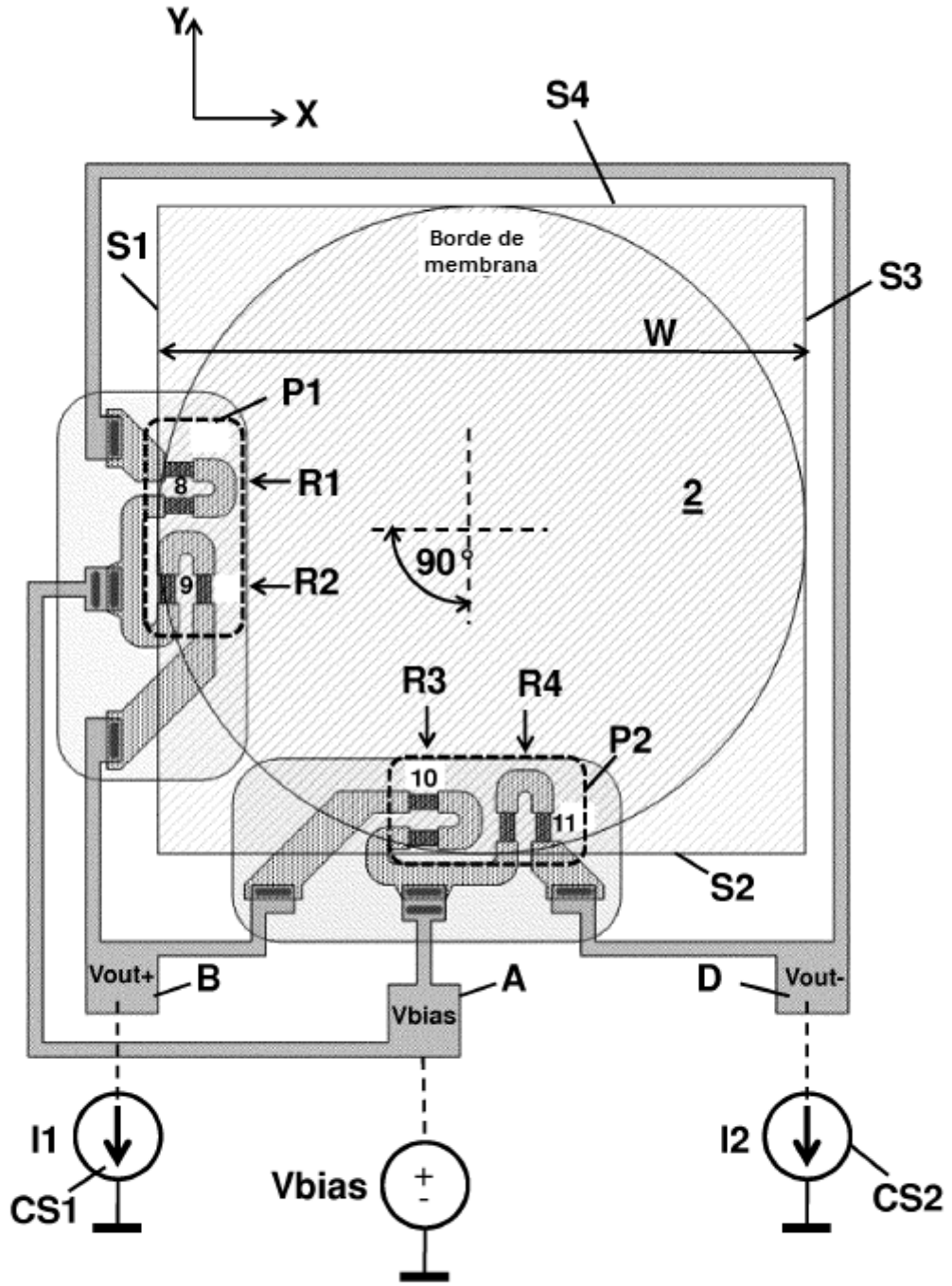


FIG. 8

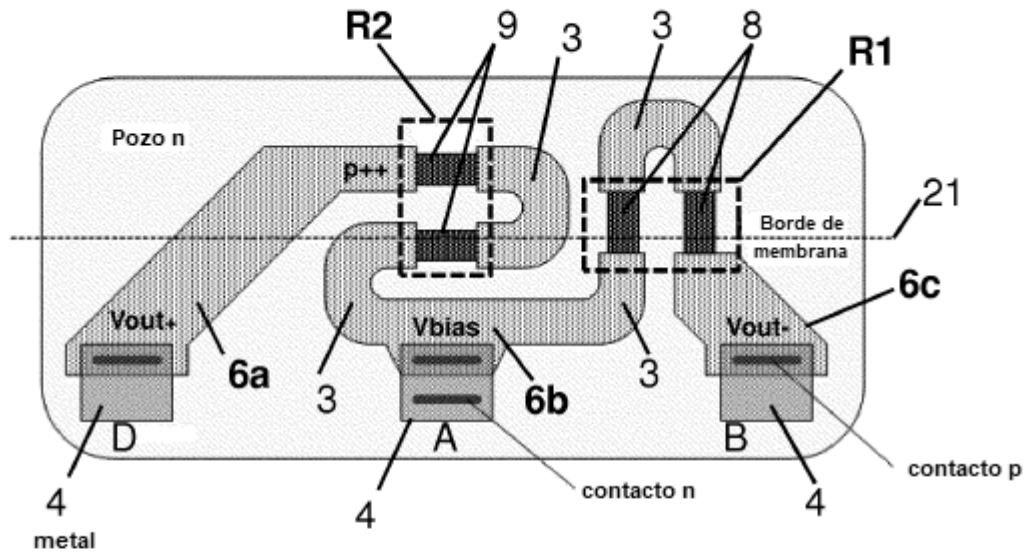


FIG. 9

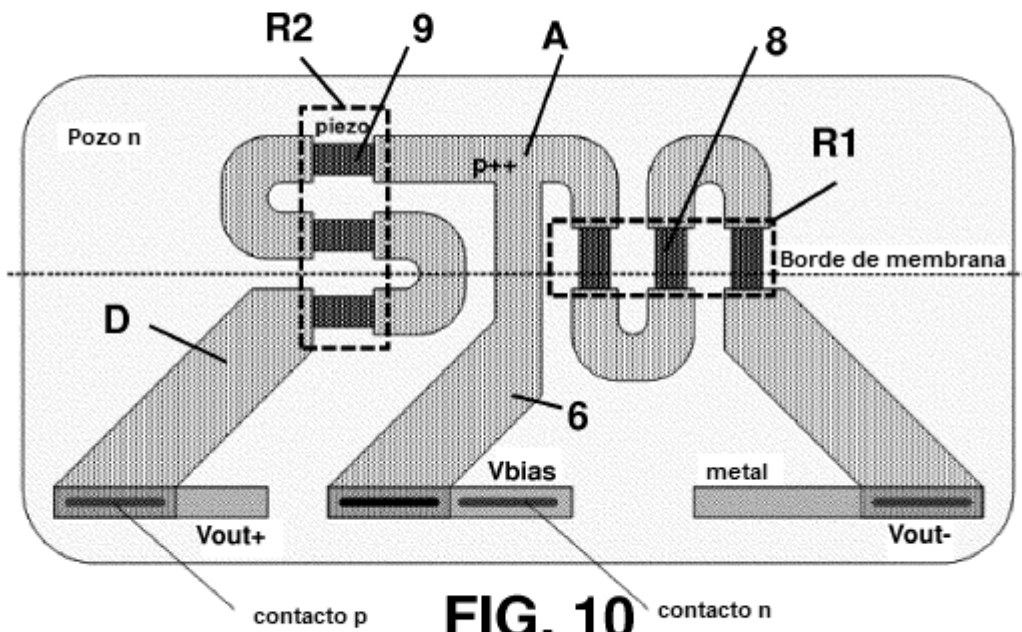


FIG. 10

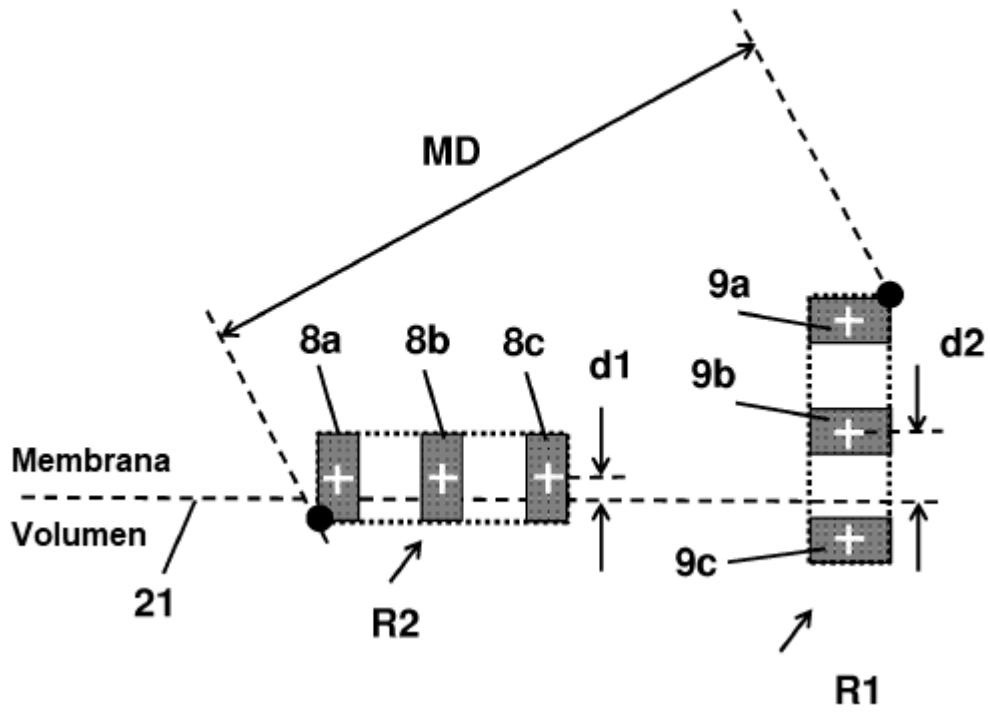


FIG. 11

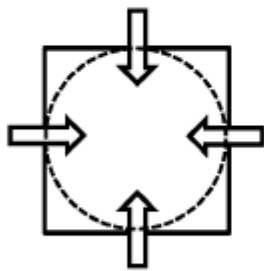


FIG. 12

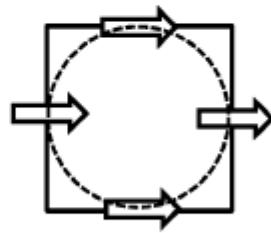


FIG. 13

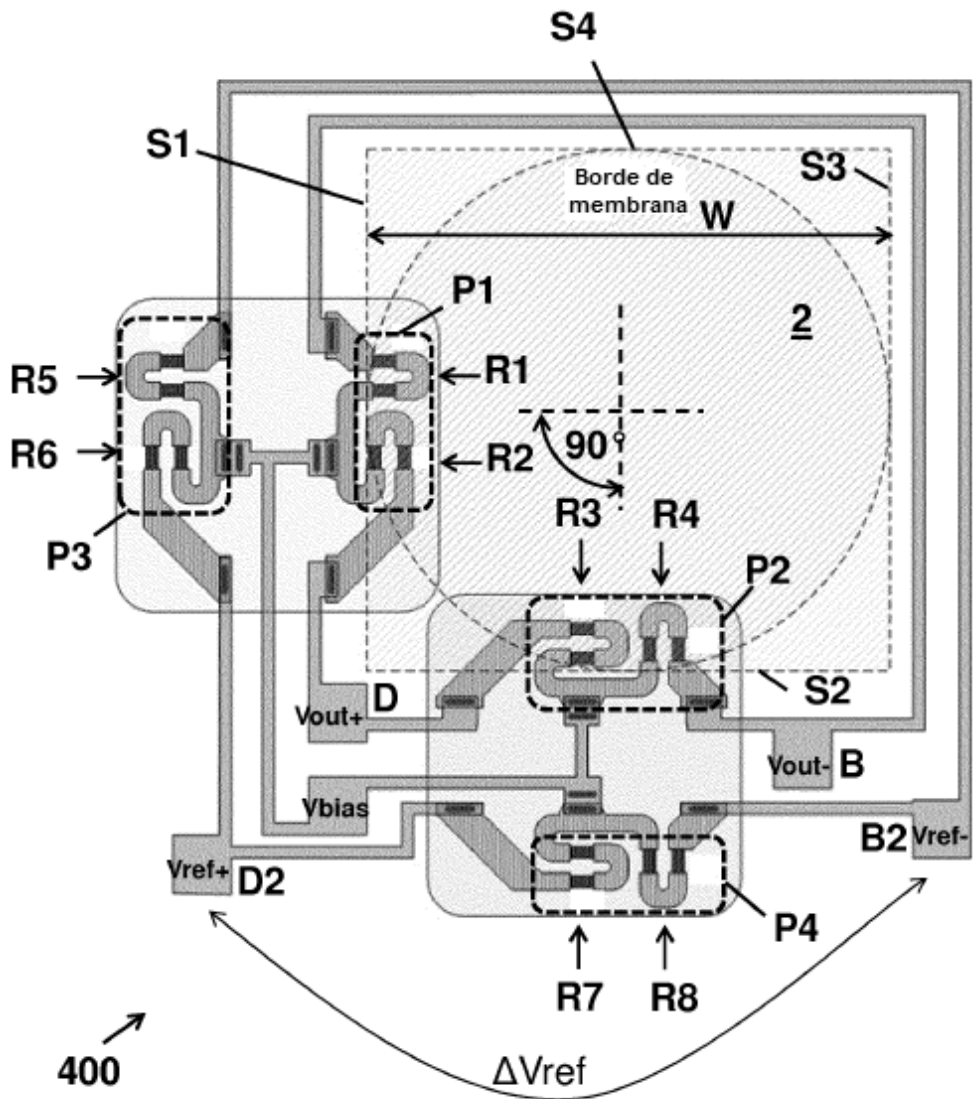


FIG. 14

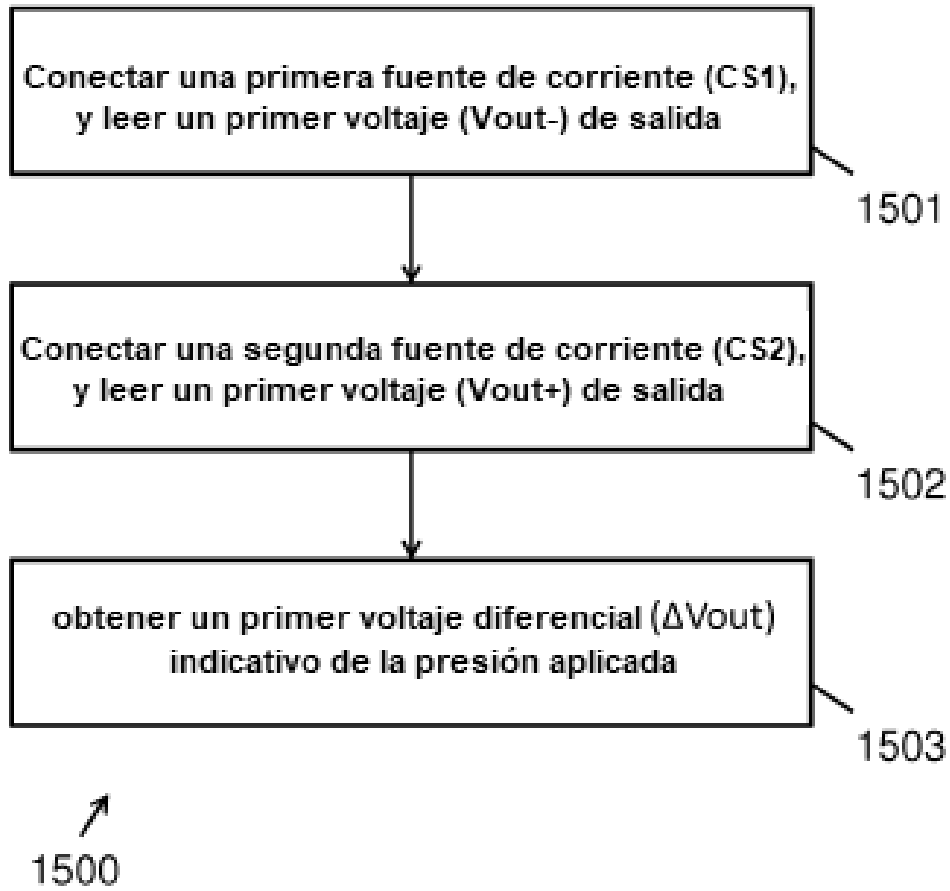


FIG. 15