

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902023942A1

Publication Date

20130817

Applicant

STMICROELECTRONICS S.R.L.

Title

TRASDUTTORE INTEGRATO PROVVISIO DI UN SENSORE DI
TEMPERATURA, E METODO PER RILEVARE UNA TEMPERATURA DI TALE
TRASDUTTORE

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"TRASDUTTORE INTEGRATO PROVVISIO DI UN SENSORE DI TEMPERATURA, E METODO PER RILEVARE UNA TEMPERATURA DI TALE TRASDUTTORE"

di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA C. OLIVETTI, 2

AGRATE BRIANZA (MB)

Inventori: VAIANA Michele, CHIRICOSTA Mario, MAIORE Mario, BALDO Lorenzo, ROSE Paul Georges Marie

La presente invenzione è relativa ad un trasduttore, in particolare un sensore di pressione piezoresistivo, provvisto di un sensore di temperatura, e ad un metodo per rilevare una temperatura di tale trasduttore.

Sono note tecniche di microlavorazione ("micromachining") per realizzare sensori di pressione integrati di materiale semiconduttore. Tali sensori possiedono numerosi vantaggi in termini di basso costo, alto grado di funzionalità e affidabilità, buon rapporto segnale/rumore, integrabilità con circuiti di memoria per la realizzazione di sensori intelligenti, e elevata riproducibilità. I micro sensori di pressione a

semiconduttore presenti sul mercato si basano sostanzialmente su due effetti fisici: effetto piezoresistivo, in base al quale l'inflessione di una membrana di silicio causata dalla pressione squilibra un ponte di Wheatstone realizzato con resistenze diffuse nella membrana; ed effetto capacitivo, in base al quale la pressione induce lo spostamento di una membrana che costituisce l'elettrodo mobile di un condensatore (determinandone una variazione di capacità). Nel seguito verranno considerati solo sensori di pressione che utilizzano il primo effetto, cioè sensori piezoresistivi.

Un metodo di fabbricazione di un sensore di pressione piezoresistivo tipo noto è descritto, ad esempio, in EP 822398 o in EP 1577656. Le membrane di tali sensori, per garantire un buon funzionamento, devono avere uno spessore omogeneo ben controllato ed inoltre non devono presentare stress meccanici intrinseci (tensili e compressivi). Un metodo di fabbricazione di una membrana atta all'uso in sensori di pressione piezoresistivi è, ad esempio, descritto in US 7871894.

Uno dei principali svantaggi dei sensori di pressione piezoresistivi è l'elevata deriva termica che essi subiscono al variare della temperatura. In assenza

di compensazione, una variazione di temperatura di circa 10 °C in un sensore di pressione piezoresistivo può provocare una deriva del segnale d'uscita non trascurabile, in particolare per applicazioni che richiedono elevata sensibilità (es., applicazioni mediche quali respiratori artificiali, spirometri, altimetri, barometri, ecc.). Per questo motivo è necessario equipaggiare questi sensori con un sistema di compensazione della deriva termica. Uno dei metodi noti comprende inserire tali sensori in un circuito di trasduzione basato sul ponte di Wheatstone. Questa modalità prevede di inserire sul ramo opposto del ponte, elementi piezoresistivi sostanzialmente uguali a quelli montati sull'elemento sensore, ma disposti in modo da non subire deformazioni legate alla pressione applicata alla membrana. Al variare della temperatura, tutti i piezoresistori subiscono circa la stessa deriva termica. In questo modo, gli elementi usati per la compensazione riequilibrano il ponte di Wheatstone riducendo la dipendenza del segnale di pressione di uscita dalla temperatura del trasduttore.

Tuttavia, a causa di variazioni di layout del sensore, variazioni di morfologia dei piezoresistori legate a variazioni del processo di fabbricazione, concentrazioni locali di impurità, e in generale altre

condizioni di "mismatch" fisici, anche nel caso di collegamento dei piezoresistori a ponte di Wheatstone, variazioni del segnale di pressione di uscita dal ponte non sono completamente indipendenti da variazioni di temperatura del sensore. Una ulteriore fase di compensazione delle variazioni del segnale di uscita causate dalla temperatura è pertanto necessaria. A tal fine, è necessario acquisire un segnale correlato alla temperatura a cui i piezoresistori sono sottoposti durante l'uso. Sono stati pertanto proposti sensori di temperatura disposti in prossimità del sensore di pressione, atti ad essere utilizzati per la compensazione termica del sensore di pressione. Tali sistemi a doppio sensore mostrano un gradiente di temperatura tra il sensore di temperatura e la membrana del sensore, a causa della diversa dislocazione fisica. Il tempo che intercorre per la stabilizzazione del gradiente di temperatura è noto come "warm-up drift".

Una soluzione a questo problema è, ad esempio, proposta da Kuo Huan Peng, C. M. Uang and Yih Min Chang, "The temperature compensation of the silicon piezoresistive pressure sensor using the half-bridge technique", Proc. SPIE 5343, 292 (2004). Qui, il drift di uscita del ponte a causa della variazione di temperatura è minimizzato mediante circuiti di auto-

guadagno (AGC) per regolare ("adjust") automaticamente la tensione alimentata al ponte. Questa soluzione ha tuttavia alcuni svantaggi. In particolare la dimensione del sensore di pressione è notevolmente aumentata per alloggiare il circuito di rilevamento della temperatura; inoltre, un elevato numero di piazzole ("pads") è utilizzato, per polarizzare correttamente sia i piezoresistori che il circuito di rilevamento della temperatura.

Scopo della presente invenzione è fornire un trasduttore provvisto di un sensore di temperatura, e un metodo per rilevare una temperatura di tale trasduttore.

Secondo la presente invenzione viene realizzato un trasduttore provvisto di un sensore di temperatura, e un metodo per rilevare una temperatura di tale trasduttore, come definito nelle rivendicazioni allegate.

Per una migliore comprensione della presente invenzione ne vengono ora descritte forme di realizzazione preferite, a puro titolo di esempio non limitativo, con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

- la figura 1 mostra una vista in sezione di un dispositivo sensore di pressione piezoresistivo MEMS

("MEMS piezoresistive pressure-sensing device"), secondo una forma di realizzazione di tipo noto;

- la figura 2 mostra una vista in sezione di un dispositivo sensore di pressione piezoresistivo MEMS, secondo una ulteriore forma di realizzazione di tipo noto;

- la figura 3 mostra, in vista superiore, un dispositivo di pressione piezoresistivo MEMS, secondo una qualsiasi delle forme di realizzazione di figura 1 e figura 2;

- la figura 4 è un circuito equivalente che illustra la connessione a ponte di Wheatstone dei piezoresistori del trasduttore di figura 3;

- la figura 5 è un circuito equivalente che illustra diodi parassiti del trasduttore secondo una qualsiasi delle forme di realizzazione delle figure 1 e 2;

- la figura 6 mostra, in vista superiore, un dispositivo sensore di pressione piezoresistivo MEMS accoppiato ad un circuito elettrico atto a polarizzare diodi parassiti del trasduttore al fine di ricavare una informazione relativa alla temperatura del trasduttore;

- la figura 7 mostra, in vista superiore, il dispositivo sensore di pressione piezoresistivo MEMS di figura 6 accoppiato ad un circuito elettrico di lettura

della tensione ai capi dei ("across") diodi parassiti, quando polarizzati come mostrato in figura 6;

- la figura 8 mostra una curva che descrive l'andamento della tensione ai capi dei diodi parassiti del trasduttore di figura 7 in funzione della temperatura;

- la figura 9 mostra, in vista superiore, un dispositivo sensore di pressione piezoresistivo MEMS secondo una ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione;

- le figure 10a e 10b mostrano un circuito elettrico equivalente di diodi parassiti del trasduttore di figura 9; e

- la figura 11 mostra un sensore di pressione comprendente un dispositivo sensore di pressione piezoresistivo MEMS secondo una qualsiasi delle forme di realizzazione della presente invenzione.

La presente invenzione si riferisce ad un trasduttore, in particolare realizzato in tecnologia MEMS, provvisto di un sensore di temperatura integrato nello stesso substrato o corpo che alloggia il trasduttore. Secondo una forma di realizzazione della presente invenzione, il trasduttore è un sensore di pressione comprendente una struttura di rilevamento atta a ("adapted to") rilevare una pressione esterna

applicata. La struttura di rilevamento è, in particolare, una membrana flessibile provvista di uno o più piezoresistori che variano il proprio valore di resistenza elettrica dipendentemente dalla flessione della membrana quando la pressione esterna è applicata.

Il trasduttore è nel seguito indicato genericamente con il numero di riferimento 100, ed è fabbricato secondo tecniche di tipo noto. Nel seguito vengono descritte alcune fasi per la realizzazione di un sensore di pressione provvisto di una membrana flessibile, in cui la dislocazione ("displacement") della membrana da una posizione di riposo ad una posizione operativa viene rilevata mediante l'utilizzo di piezoresistori. L'applicazione di una pressione P alla membrana provoca, come noto, una variazione del valore di resistenza dei piezoresistori. Tale variazione del valore di resistenza può essere associato ad una entità di dislocazione della membrana, e dunque ad un valore della pressione P applicata.

Le fasi di fabbricazione del trasduttore 100 sono descritte nel seguito con riferimento alla figura 1. Innanzitutto, si dispone una fetta 1 di materiale semiconduttore, avente un lato fronte 1a e un lato retro 1b. La fetta 1 comprende, secondo una forma di realizzazione, un substrato 2 di silicio drogato tipo N

ed uno strato epitassiale 3 anch'esso di silicio drogato di tipo N. Il substrato 2 e lo strato epitassiale 3 formano, genericamente, un corpo semiconduttore. Il corpo semiconduttore può essere formato di, o comprendere, materiali semiconduttori diversi dal silicio, sono utilizzabili. Quindi, nello strato epitassiale 3, vengono realizzati piezoresistori 5 (due piezoresistori sono mostrati in vista in sezione in figura 1a). I piezoresistori 5 sono formati, tipicamente, mediante una fase di impianto, nello strato epitassiale 3, di specie droganti di tipo P, e successivo processo termico di diffusione.

In seguito, la fetta 1 viene mascherata in modo da coprire il lato retro 1b ad eccezione di una zona del lato retro 1b in cui si desidera formare la membrana del trasduttore 100. Viene quindi effettuato un attacco del lato retro 1b della fetta 1 (ad esempio attacco anisotropo) in modo da rimuovere porzioni del substrato 2 esposte. Tra il substrato 2 e lo strato epitassiale 3 può essere previsto (in modo non mostrato in figura 1) uno strato di interruzione dell'attacco ("etch-stop layer"). In questo modo, l'attacco del substrato 2 si ferma allo strato di etch-stop e non prosegue verso lo strato epitassiale 3. Si forma così una membrana sospesa 6, formata da porzioni dello strato epitassiale

3 sospese al di sopra della cavità formata nel substrato 2 mediante la fase di attacco precedente. I piezoresistori 5 si estendono in regioni periferiche della membrana sospesa 6, in corrispondenza di porzioni di quest'ultima maggiormente soggette a stress quando la membrana sospesa 6 deflette, durante l'uso.

Secondo diverse forme di realizzazione, la membrana sospesa 6 può essere formata senza necessità di attaccare la fetta 1 dal lato retro 1b. Tale variante è mostrata in figura 2 in cui, tra il substrato 2 e lo strato epitassiale 3, viene formato uno strato di interfaccia 7, ad esempio di nitruro di silicio. In generale, lo strato di interfaccia 7 è di un materiale che può essere selettivamente rimosso senza danneggiare il substrato 2 e lo strato epitassiale 3. Quindi, mediante attacco mascherato, vengono formate trincee 8 in corrispondenza del lato fronte 1a della fetta 1, attraverso lo strato epitassiale 3 fino a raggiungere lo strato di interfaccia 7. Una successiva fase di attacco umido attraverso le trincee 8 così formate consente di rimuovere selettivamente porzioni dello strato di interfaccia 7 estendentisi al di sotto dello strato epitassiale 3, formando la membrana sospesa 6. I piezoresistori 5 si estendono in regioni periferiche

della membrana sospesa 6 così formata, in corrispondenza di porzioni di quest'ultima maggiormente soggette a stress quando la membrana sospesa 6 deflette, durante l'uso.

Risulta evidente che altre forme di fabbricazione sono possibili. In particolare, il substrato 2 e lo strato epitassiale 3 possono essere sostituiti da un substrato SOI ("silicon over insulator").

Indipendentemente dalla forma di fabbricazione della membrana sospesa 6, sono inoltre formate piazzole di contatto elettrico (non mostrate nelle figure 1 e 2) al di sopra dello strato epitassiale 3 ed in contatto elettrico con ciascun piezoresistore 5. Le piazzole di contatto elettrico sono, ad esempio, di materiale metallico. Le piazzole di contatto elettrico possono essere formate sulla fetta 1 a distanza dai rispettivi piezoresistori 5, ed elettricamente collegate con questi ultimi mediante piste conduttive (ad esempio anche esse di materiale metallico). Tipicamente, uno strato dielettrico si estende tra lo strato epitassiale 3 e le piste conduttive, in modo tale che queste ultime sono elettricamente isolate dallo strato epitassiale 3.

È così possibile, durante l'uso, polarizzare i piezoresistori 5 in modo da realizzare un collegamento a ponte di Wheatstone (si vedano ad esempio le figure 3

e 4).

La figura 3 mostra, in vista superiore, una membrana sospesa 6 provvista di quattro piezoresistori 5. La membrana sospesa 6 di figura 3 ha forma circolare, ma altre forme sono possibili, ad esempio quadrangolare. Due piezoresistori 5 si estendono allineati tra loro lungo un asse X passante per il centro O della membrana sospesa 6 (ovvero speculari rispetto ad un asse Y passante per il centro O della membrana sospesa 6 e ortogonale all'asse X); altri due piezoresistori 5 si estendono allineati tra loro lungo l'asse Y passante per il centro O della membrana sospesa 6 (ovvero speculari rispetto all'asse X).

Ciascun piezoresistore 5 possiede un primo e un secondo terminale di conduzione 5a, 5b, e ciascun terminale di conduzione 5a, 5b è elettricamente accoppiato ad una rispettiva piazzola ("pad") formata in corrispondenza del lato fronte 1a della fetta 1 (in figura 3 tale collegamento è mostrato mediante una linea tratteggiata). In figura 3 le piazzole sono mostrate in modo schematico e identificate con i numeri di riferimento 18a, 18b, 20a, 20b. Inoltre, piezoresistori 5 immediatamente adiacenti tra loro lungo il perimetro della membrana sospesa 6 hanno un rispettivo terminale di conduzione 5a, 5b

elettricamente accoppiato ad una stessa piazzola 18a, 18b, 20a, 20b, in modo tale che i quattro piezoresistori 5 sono tra loro collegati a ponte di Wheatstone (si veda anche la figura 4).

Come detto, i piezoresistori 5 sono realizzati da regioni drogate di tipo P estendentisi nello strato epitassiale 3 di tipo N. Ciascun piezoresistore 5 forma, con lo strato epitassiale 3, un rispettivo diodo (giunzione PN). In particolare, sono presenti quattro diodi (D1-D4 in figura 5), ciascuno formato da un rispettivo piezoresistore 5 (P) e dallo strato epitassiale 3 (N). Lo strato epitassiale 3 ha la funzione di terminale di conduzione 21 comune a tutti i diodi così formati.

Collegando elettricamente le piazzole 18a, 18b, 20a, 20b ad uno stesso terminale di conduzione, tutti i diodi D1-D4 risultano essere collegati tra gli stessi terminali di conduzione, e dunque sono tra loro collegati in parallelo. Poiché i diodi D1-D4 così connessi hanno i terminali di conduzione in comune, essi possono essere visti come un singolo diodo equivalente D_{eq} . La caratteristica corrente-tensione (I , V) del diodo equivalente D_{eq} ottenuto connettendo in parallelo i diodi D1-D4, al variare della pressione, non subisce variazioni poiché le variazioni dei singoli

diodi D1, D3 e D2, D4 sono tra loro complementari in corrente e si compensano. In altre parole, al variare della pressione, la caratteristica I, V del diodo equivalente D_{eq} può essere considerata anch'essa come "equivalente" a quella di un diodo di area pari alla somma delle aree dei diodi D1-D4 e caratteristica, con area unitaria, pari a quella ottenuta dalla media delle caratteristiche dei diodi D1, D3 o dei diodi D2, D4.

Il diodo equivalente D_{eq} è utilizzato, secondo la presente invenzione, come sensore di temperatura integrato nella fetta 1, disposto in corrispondenza del trasduttore 100 e dunque non soggetto a fenomeni di "warm-up drift".

Secondo una forma di realizzazione della presente invenzione, il metodo per rilevare il valore di temperatura a cui il trasduttore 100 è soggetto durante l'uso, comprende le seguenti fasi: alimentare una corrente $I_{DIODE}=I_1$, avente un primo valore noto, ai diodi D1-D4 collegati in parallelo tra loro come da figura 5; rilevare un valore di tensione $V_{DIODE}=V_1$ ai capi dei ("across") diodi D1-D4 collegati in parallelo quando la corrente $I_{DIODE}=I_1$ è alimentata; e correlare il valore di tensione $V_{DIODE}=V_1$ così rilevato ad un valore di temperatura (ad esempio mediante associazione lineare tra il valore di tensione $V_{DIODE}=V_1$ rilevato e il valore di temperatura che si desidera ricavare). Questa ultima

fase di correlare è resa possibile dal fatto che l'andamento della tensione ai capi di un diodo (ed equivalentemente ai capi dei diodi D1-D4 collegati in parallelo) varia con una legge conosciuta che dipende dalla temperatura a cui il diodo opera. Questa legge è descritta nel seguito (si veda l'equazione (3)).

Durante l'uso dei diodi D1-D4 come sensore di temperatura, l'associazione immediata tra un valore di tensione V_{DIODE} e la temperatura a cui il diodi D1-D4 operano, è realizzata utilizzando una opportuna funzione di correlazione (ipotizzando che i diodi D1-D4 operino in regione lineare, tale funzione è una funzione lineare). Questa funzione può essere definita dal produttore del sensore di pressione, ad inizio vita dello stesso, o, alternativamente, dall'utilizzatore del sensore di pressione. È altresì possibile prevedere fasi automatiche di aggiornamento di tale funzione da svolgersi automaticamente durante la vita operativa del sensore di pressione. Il metodo per ottenere tale funzione è descritto in dettaglio in seguito (equazioni (8)-(11b)).

Secondo una diversa forma di realizzazione, il metodo qui sopra descritto può essere implementato applicando la corrente I_1 ad un singolo diodo scelto tra i diodi D1-D4, e rilevando la tensione V_1 ai capi di tale diodo. Alternativamente, il metodo qui sopra descritto può essere implementato applicando la

corrente I_1 ad una pluralità di diodi, collegati tra loro in parallelo, scelti come sottoinsieme dei diodi D1-D4 (ad esempio ai soli diodi D1, D2), e rilevando la tensione ai capi di tali diodi.

Secondo una ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione, il metodo per rilevare il valore di temperatura a cui il trasduttore 100 è soggetto durante l'uso, comprende le seguenti fasi: alimentare una corrente $I_{\text{DIODE}}=I_1$, avente un primo valore noto, ai diodi D1-D4 collegati in parallelo tra loro come da figura 5; rilevare un valore di tensione $V_{\text{DIODE}}=V_1$ ai capi dei ("across") diodi D1-D4 collegati in parallelo quando la corrente $I_{\text{DIODE}}=I_1$ è alimentata; alimentare una seconda corrente $I_{\text{DIODE}}=I_2$, avente valore diverso dal valore della prima corrente $I_{\text{DIODE}}=I_1$, ai diodi D1-D4 collegati in parallelo come da figura 5; rilevare un secondo valore di tensione $V_{\text{DIODE}}=V_2$ ai capi dei diodi D1-D4 collegati in parallelo quando la corrente $I_{\text{DIODE}}=I_2$ è alimentata; eseguire una operazione di sottrazione tra il primo e il secondo valore della tensione rilevata (cioè V_1-V_2) ottenendo un valore differenza ΔV_{DIODE} ; e associare il valore differenza ad un valore di temperatura. Questa ultima fase di associare è resa possibile dal fatto che l'andamento della tensione differenziale ΔV_{DIODE} ai capi di un diodo (ed equivalentemente ai capi dei diodi D1-D4 collegati in parallelo) varia con una legge conosciuta che dipende

dalla temperatura a cui il diodo opera. Questa legge è descritta nel seguito (si veda l'equazione (6)). Secondo una diversa forma di realizzazione, anche questa ulteriore forma di realizzazione del metodo può essere implementata applicando le correnti I_1 , I_2 ad un singolo diodo scelto tra i diodi D1-D4, e rilevando le tensioni V_1 , V_2 ai capi di tale singolo diodo. Alternativamente, lo stesso metodo può essere implementato applicando le correnti I_1 , I_2 ad una pluralità di diodi, collegati tra loro in parallelo, scelti come sottoinsieme dei diodi D1-D4 (ad esempio ai soli diodi D1, D2), e rilevando le tensioni V_1 , V_2 ai capi di tali diodi.

Per comprendere in maggior dettaglio come il diodo equivalente D_{eq} è utilizzato per misurare la temperatura della fetta 1, vengono qui introdotte alcune equazioni descrittive del funzionamento di un diodo come sensore di temperatura. La corrente I_{DIODE} che scorre attraverso il diodo equivalente D_{eq} quando esso è polarizzato ad una tensione V_{DIODE} , è data, come noto, dall'equazione (1):

$$I_{DIODE} = I_s e^{\frac{V_{DIODE}}{nV_T}} \quad (1)$$

dove V_{DIODE} è la tensione applicata ai capi del diodo equivalente, tra il terminale 21 e i terminali 18a, 18b, 20a, 20b; " I_s " è una costante che dipende da una pluralità di fattori tra cui l'area

equivalente del diodo D_{eq} e la sua temperatura (in particolare, $I_s = J_s \cdot A_D$, con J_s pari alla densità di carica, variabile con la temperatura, e A_D pari all'area equivalente del diodo D_{eq}); ed "n" è il coefficiente di emissione (costante), approssimabile con il valore 1 nel caso di diodo in silicio e per bassi valori di corrente I_{DIODE} .

Il fattore " V_T " nell'equazione (1) è la tensione termica ed è data dall'equazione (2):

$$V_T = \frac{KT}{q}$$

(

2)

dove "K" è la costante di Boltzman; "T" è la temperatura assoluta (in gradi Kelvin); e "q" è la carica di un elettrone.

Un diodo polarizzato con una corrente costante mostra, tipicamente, una variazione della tensione ai suoi capi dell'ordine di circa $-2\text{mV}/^\circ\text{C}$. Questa variazione è dovuta alla dipendenza dell'equazione (1) dalla temperatura; in particolare, il termine I_s varia al variare della temperatura raddoppiando il proprio valore circa ogni 5°C , mentre il termine V_T varia secondo l'equazione (2).

Risulta evidente che la temperatura del diodo D_{eq} è relazionata alla tensione V_{DIODE} che si instaura tra i

sui terminali di conduzione. La temperatura del diodo D_{eq} è misurabile misurando la tensione V_{DIODE} quando attraverso il diodo D_{eq} scorre una corrente I_{DIODE} di valore costante. Tuttavia, il valore ottenuto da tale misura è soggetto ad una pluralità di varianti non prevedibili, quali variazioni di processo del fabbricazione dei diodi (in particolare variazioni del processo di fabbricazione dello strato epitassiale 3, dei piezoresistori 5, ecc.). Per superare tale inconveniente, è consigliabile misurare una tensione differenziale ΔV_{DIODE} in funzione di due diversi valori di corrente costante che viene fatta scorrere attraverso il diodo D_{eq} .

La seguente descrizione fa riferimento alle figure 6 e 7 che mostrano, rispettivamente, il sensore MEMS 100 polarizzato in modo tale che attraverso il diodo D_{eq} fluisca una corrente desiderata (figura 6), e il sensore MEMS 100 durante il rilevamento della tensione V_{DIODE} ai capi del diodo D_{eq} (figura 7).

In figura 6, è mostrato un generatore di corrente 27 avente un primo terminale di conduzione 27' elettricamente accoppiato alla piazzola conduttiva 21 (cioè allo strato epitassiale 3 o substrato 2), ed un secondo terminale di conduzione 27'' elettricamente accoppiato alle piazzole conduttive 18a, 18b, 20a, 20b.

In questo modo, si realizza il collegamento in parallelo dei diodi D1-D4 mostrato in figura 5. Il generatore di corrente 27 è configurato per alimentare una pluralità di valori di corrente attraverso i diodi D1-D4. In particolare, come meglio descritto nel seguito, il generatore di corrente 27 alimenta ai diodi D1-D4 una prima corrente I_1 ed una seconda corrente I_2 , di valore di verso tra loro.

In figura 7 è mostrato il trasduttore 100 di figura 6 durante una diversa fase operativa. In particolare, durante una fase di rilevamento della tensione V_{DIODE} ai capi dei diodi D1-D4 (ovvero ai capi del diodo equivalente D_{eq} , tra il terminale 21 e i terminali 18a, 18b, 20a, 20b; si veda anche la figura 5). La misura del valore di tensione V_{DIODE} può essere effettuata mediante una strumentazione 29 di tipo noto, ad esempio confrontando la V_{DIODE1} con una tensione di riferimento (V_{ref}), memorizzando il dato di uscita (ad esempio in un DSP), e successivamente confrontando V_{DIODE2} con la stessa V_{ref} e calcolandone la differenza ΔV_{DIODE} .

Il valore di tensione V_{DIODE} così misurato viene quindi utilizzato per successive elaborazioni (ad esempio eseguite da un generico circuito integrato 31 o altro circuito di elaborazione dati, o dispositivo di

elaborazione dati). Il circuito integrato 31 comprende generici mezzi di calcolo, ad esempio un microcontrollore, o altri mezzi di calcolo di tipo noto. Il circuito integrato 31 svolge l'operazione descritta, nel seguito, dalle equazioni (5) e (6), e, durante fasi di calibrazione, le operazioni descritte dalle equazioni (7)-(11b).

Vengono ora descritte dettagliatamente le fasi che portano al rilevamento della temperatura, mediante le configurazioni del trasduttore 100 mostrate nelle figure 6 e 7.

Viene fatta scorrere, attraverso il diodo D_{eq} , una corrente $I_{DIODE}=I_1$. La tensione V_{DIODE} ai capi del diodo D_{eq} , quando attraverso di esso scorre la corrente I_1 , è esprimibile come:

$$V_{DIODE} = V_1 = nV_T \ln\left(\frac{I_1}{I_s}\right) \quad (3).$$

Quindi, la corrente I_1 viene rimossa e viene fatta scorrere, attraverso il diodo D_{eq} , una corrente $I_{DIODE}=I_2$. La tensione V_{DIODE} , quando attraverso il diodo D_{eq} scorre una corrente $I_{DIODE}=I_2$, è esprimibile come:

$$V_{DIODE} = V_2 = nV_T \ln\left(\frac{I_2}{I_s}\right) \quad (4).$$

I valori di I_1 e I_2 sono scelti, ad esempio, in

modo tale che $I_1=10 \cdot I_2$. Ad esempio, $I_1=1\mu A$ e $I_2=10\mu A$. Risulta evidente che altri valori di I_1 e I_2 possono essere scelti, anche utilizzando una diversa proporzione (un fattore diverso da 10) tra I_1 e I_2 .

L'intervallo temporale in cui vengono eseguite le operazioni di applicazione della corrente I_1 e misura della tensione V_1 è dell'ordine di centinaia di microsecondi. L'intervallo temporale in cui vengono eseguite le operazioni di applicazione della corrente I_2 e misura della tensione V_2 è dell'ordine di centinaia di microsecondi. Applicata la corrente ai capi del diodo la lettura della relativa tensione attende il trascorrere di un tempo minimo per raggiungere il regime della tensione V_{DIODE} di uscita.

La tensione differenziale ΔV_{DIODE} è dunque data dall'equazione (5):

$$\Delta V_{DIODE} = V_1 - V_2 = nV_T \ln\left(\frac{I_2}{I_S}\right) - nV_T \ln\left(\frac{I_1}{I_S}\right) = nV_T \ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right) \quad (5)$$

Esprimendo la tensione differenziale ΔV_{DIODE} in modo da esplicitare il termine relativo alla temperatura si ha che:

$$\Delta V_{DIODE} = \alpha T \quad (6)$$

dove $\alpha = n \frac{K}{q} \ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right)$.

Dunque, poiché la tensione differenziale ΔV_{DIODE} è

proporzionale alla temperatura assoluta T del diodo D_{eq} , misurando ΔV_{DIODE} si ottiene una misura proporzionale (con fattore di proporzionalità pari a α) della temperatura a cui il diodo D_{eq} si trova. Di conseguenza si ottiene il valore di temperatura a cui gli elementi piezoresistivi 5 del trasduttore 100 sono soggetti. Con riferimento alla figura 7, queste operazioni sono eseguite dal circuito integrato 31.

La figura 8 mostra l'andamento di ΔV_{DIODE} al variare della temperatura (curva 35). La curva 35 di è identificativa di un possibile andamento di ΔV_{DIODE} e non è limitativa dello stesso. I valori indicati sugli assi hanno dunque valore esclusivamente esemplificativo.

La richiedente ha verificato che la curva 35 di figura 8 può essere approssimata, per gli scopi di interesse pratico della presente invenzione, mediante una funzione lineare 37. In questo modo, è possibile tenere in considerazione un valore effettivo di α diverso dal valore teorico precedentemente esposto, ed inoltre di un fattore di offset β che si ripercuote ("affect") su tutte le misure di ΔV_{DIODE} .

Dunque, si assume che la relazione tra la tensione differenziale ΔV_{DIODE} e la temperatura T è lineare, ed è la seguente:

$$\Delta V_{\text{DIODE}} = \alpha \cdot T + \beta \quad (7).$$

Da un punto di vista pratico, per calcolare α e β , è possibile procedere come segue. Si applica alla membrana sospesa 6 una pressione costante entro l'intervallo di pressioni di utilizzo. Ad esempio, considerando un intervallo di pressioni compreso tra circa 200 mbar e 1300 mbar, si applica alla membrana sospesa 6 una pressione costante pari a circa 600 mbar. Secondo una diversa forma di realizzazione, la tensione applicata alla membrana sospesa 6 è la pressione nulla. Quindi, mantenendo la pressione applicata costante, si fa variare la temperatura. Ad esempio la temperatura viene fatta variare entro l'intervallo di temperature previste per l'utilizzo del trasduttore 100, ad esempio comprese tra -40°C e $+85^{\circ}\text{C}$. Ad esempio si scelgono due valori di temperatura tra: 27°C , 40°C , 55°C , e 70°C . Dunque, si porta il trasduttore 100 (e dunque anche il diodo D_{eq}) ad un primo valore di temperatura controllato T_{eq1} (ad esempio inserendo il trasduttore 100 in un forno a temperatura regolabile).

La temperatura T_{eq1} corrisponde, ad esempio, a 27°C . Si ha che:

$$V_{\text{DIODE1a}} = \alpha \cdot T_{\text{eq1}} + \beta \quad (8)$$

dove V_{DIODE1a} è il valore di tensione diretta misurata ai capi di D_{eq} alla temperatura T_{eq1} .

Quindi, si porta il trasduttore 100 (e dunque anche il diodo D_{eq}) ad un secondo valore di temperatura controllato $T_{eq2} \neq T_{eq1}$. La temperatura T_{eq2} corrisponde, ad esempio, a 55°C. Si ha che:

$$V_{DIODE2a} = \alpha \cdot T_{eq2} + \beta \quad (9)$$

dove $V_{DIODE2a}$ è il valore di tensione diretta misurata ai capi di D_{eq} alla temperatura T_{eq2} .

Il valore di α è dato da:

$$\alpha = (V_{DIODE1a} - V_{DIODE2a}) / (T_{eq1} - T_{eq2}). \quad (10)$$

Il valore di β è dato da:

$$\beta = V_{DIODE1a} - \alpha \cdot T_{eq1} \quad (11a)$$

o, equivalentemente:

$$\beta = V_{DIODE2a} - \alpha \cdot T_{eq2}. \quad (11b)$$

Quanto qui descritto consente di ottenere una associazione lineare tra i valori di tensione e di temperatura, tale da descrivere il comportamento del diodo D_{eq} in regione di linearità. Risulta evidente che, volendo descrivere il comportamento del diodo D_{eq} fuori dalla regione di linearità, è possibile determinare una funzione quadratica misurando un ulteriore valore di tensione V_{DIODE} quando al trasduttore 100 è applicata una terza temperatura $T_{eq3} \neq T_{eq2} \neq T_{eq1}$.

Durante l'uso, il valore di temperatura T_{eq} a cui è soggetto il diodo D_{eq} può essere corretto in tempo

reale dal circuito integrato 31 utilizzando i valori α e β così calcolati. Tali valori sono calcolati ad inizio vita del sensore di pressione, e sono memorizzati in una memoria interna al circuito integrato 31.

Secondo una forma di realizzazione, le fasi descritte per ricavare la temperatura a cui il trasduttore 100 si trova sono eseguite ogniqualvolta il trasduttore 100 deve essere utilizzato per rilevare una pressione che agisce sulla membrana sospesa 6. Secondo una diversa forma di realizzazione, le fasi descritte per ricavare la temperatura a cui il trasduttore 100 si trova sono eseguite ad intervalli regolari, e non ad ogni utilizzo del trasduttore 100.

Durante le operazioni standard del trasduttore 100, cioè per rilevare una pressione che agisce sulla membrana sospesa 6, il valore di temperatura T_{eq} rilevato è utilizzabile per correggere il valore di tensione V_o fornito in uscita dal trasduttore 100 stesso (uscita del ponte di Wheatstone, tra i terminali 20a e 20b delle figure 3 e 4), come da arte nota. Il metodo di correzione della tensione V_o , di per sé noto, non è oggetto della presente invenzione e dunque non è qui descritto.

La figura 9 mostra, utilizzando la stessa vista

superiore del trasduttore 100 di figura 3, una ulteriore forma di realizzazione per operare il diodo formato dalla giunzione PN realizzata dai piezoresistori 5 e dallo strato epitassiale 3.

Secondo questa forma di realizzazione, sono presenti due ulteriori piazzole di contatto elettrico 22a e 22b.

La piazzola 22a è collegata al terminale di conduzione 5b del piezoresistore 5 che, durante l'uso per la misurazione della temperatura, forma il diodo D2; la piazzola 22b è collegata al terminale di conduzione 5a del piezoresistore 5 che, durante l'uso per la misurazione della temperatura, forma il diodo D1. Le restanti piazzole di contatto elettrico 18a, 18b sono inalterate rispetto alla forma di realizzazione di figura 3. Le piazzole di contatto elettrico 20a e 20b sono rispettivamente collegate, analogamente alla forma di realizzazione di figura 3, ai terminali di conduzione 5a e 5b dei piezoresistori 5 che, in uso per la misurazione della temperatura, formano i diodi D4 e D3, ma, a differenza di quanto mostrato in figura 3, in questo caso le piazzole di contatto elettrico 20a e 20b non sono collegate ai diodi D1 e D2.

Questa configurazione consente di realizzare un primo collegamento in parallelo tra i diodi D1 e D2

(figura 10a) e un secondo collegamento in parallelo tra i diodi D3 e D4 (figura 10b).

Le operazioni di rilevamento della temperatura sono analoghe a quelle precedentemente descritte. Tuttavia, in questo caso, si hanno a disposizione, per eseguire le operazioni secondo le equazioni (1)-(6), due diodi equivalenti, cioè il diodo equivalente D_{eq} come precedentemente identificato e descritto, più un diodo equivalente D_{eq_2} dato dal parallelo di D1 e D2, e collegato tra il terminale 21 e i terminali 18a, 22a, 22b. Il diodo equivalente D_{eq_2} considerato può essere, indifferentemente, il diodo dato dal parallelo di D3 e D4, e collegato tra il terminale 21 e i terminali 18b, 20a, 20b.

La tensione V_{DIODE} , quando attraverso il diodo D_{eq} scorre una corrente $I_{DIODE}=I_1$, è esprimibile secondo la summenzionata equazione (3), qui riportata per completezza:

$$V_{DIODE} = V_1 = nV_T \ln\left(\frac{I_1}{I_S}\right)$$

Quando viene fatta scorrere la stessa corrente I_1 attraverso il diodo equivalente D_{eq_2} , ai capi di esso si instaura una tensione V_{DIODE_2} esprimibile come:

$$V_{DIODE_2} = nV_T \ln\left(\frac{I_1}{I_{S_2}}\right)$$

(12).

Il valore di " I_{s_2} " è diverso dal valore di I_s secondo l'equazione (3), in quanto relativo ad un diodo avente diversa area rispetto a quella del diodo D_{eq} . I valori di $V_{DIODE}=V_1$ e V_{DIODE_2} sono pertanto diversi tra loro.

Il valore di I_1 è scelto, ad esempio, pari a $1\mu A$, per limitare il consumo di corrente. Risulta evidente che altri valori di I_1 possono essere scelti, secondo necessità.

La tensione differenziale ΔV_{DIODE} è dunque, in questo caso, data $\Delta V_{DIODE}=V_1-V_{DIODE_2}$.

Esprimendo la tensione differenziale ΔV_{DIODE} in modo da esplicitare il termine relativo alla temperatura anche in questo caso si ottiene un valore di ΔV_{DIODE} che varia linearmente con la temperatura, analogamente a quanto descritto con riferimento.

Dunque, poiché la tensione differenziale ΔV_{DIODE} è proporzionale alla temperatura assoluta T (comune ai diodi D_{eq} e D_{eq_2}), misurando ΔV_{DIODE} si ottiene una misura proporzionale alla temperatura che si desidera misurare. Di conseguenza si ottiene il valore di temperatura a cui gli elementi piezoresistivi 5 del sensore MEMS 100 sono soggetti.

Mediante equazioni analoghe alle equazioni (8)-

(11b) è possibile ricavare i parametri che descrivono la variazione, supposta lineare, del potenziale ΔV_{DIODE} con la temperatura.

La lettura della tensione di uscita V_o del ponte di Wheatstone, quando il sensore MEMS 100 è operato per rilevare una pressione applicata alla membrana sospesa 6, richiede che il segnale di uscita a potenziale positivo " V_o^+ " sia prelevato ai terminali 20a e 22a contemporaneamente, mentre il segnale di uscita a potenziale negativo " V_o^- " sia prelevato ai terminali 20b e 22b contemporaneamente.

Questa forma di realizzazione ha il vantaggio, rispetto a quella descritta con riferimento alle figure 5-7, di richiedere un unico valore di corrente (I_1) per eseguire la misurazione della temperatura. Scegliendo un valore di corrente I_1 sufficientemente basso, è possibile ridurre il consumo di corrente. Inoltre, poiché si utilizza un unico generatore di corrente, configurato per operare allo stesso valore di corrente I_1 , non si hanno disadattamenti ("mismatch") che invece si osservano nel caso di utilizzo di generatori diversi o di uno stesso generatore operato per fornire correnti di valore diverso. Di contro, tuttavia, sono richieste due piazzole conduttive ulteriori rispetto al caso delle figure 3, 6 e 7.

La figura 11 mostra, mediante diagramma a blocchi, un sensore di pressione 200 provvisto del sensore MEMS 100 e di una pluralità di blocchi di elaborazione dei segnali V_o e V_{DIODE} (o ΔV_{DIODE}).

I blocchi di elaborazione comprendono un multiplexer (MUX) 202, collegato al sensore MEMS 100, per ricevere il segnale di uscita V_o del ponte di Wheatstone (segnale di tensione correlato alla pressione a cui la membrana 6 è soggetta durante l'uso). Il multiplexer 202 riceve inoltre, in ingresso, un segnale correlato alla temperatura a cui opera il sensore MEMS 100. Secondo una forma di realizzazione, il multiplexer 202 confronta la V_{DIODE1} con la tensione di riferimento V_{ref} memorizzando il dato di uscita in un processore digitale 211 (es., un DSP), e successivamente confronta V_{DIODE2} con la stessa tensione di riferimento V_{ref} per calcolarne la differenza ΔV_{DIODE} .

L'uscita del multiplexer 202 è fornita ad un front-end analogico 206, includente un amplificatore capacitivo a basso rumore ("low noise capacitive amplifier") che converte il segnale resistivo e non bilanciato del sensore MEMS 100 in un segnale di tensione analogico. L'uscita del front-end analogico 206 è fornita ad un convertitore analogico-digitale

208, che converte il segnale di tensione analogico in un flusso di dati digitale ("digital bitstream"). Il convertitore analogico-digitale 208 è accoppiato con un filtro di ricostruzione 209 (opzionale), che rimuove le componenti ad alta frequenza del rumore quantizzato presente nel bitstream digitale e fornisce in uscita parole digitali ad alta risoluzione. I valori di pressioni così elaborati possono essere forniti ad un microcontrollore 214 mediante un circuito di interfaccia 212 (interfaccia I²C/SPI). Tra il filtro di ricostruzione 209 e il circuito di interfaccia 212 è inoltre presente il processore digitale 211, atto ad eseguire operazioni di compensazione della temperatura, secondo fasi di per se note. I valori di α e β come precedentemente definiti, per la calibrazione del sensore di temperatura, possono essere memorizzati in una memoria non-volatile interna al DSP 211.

Da un esame delle caratteristiche del trovato realizzato secondo la presente invenzione sono evidenti i vantaggi che essa consente di ottenere.

In particolare, consente di ottenere una riduzione dei tempi di "warm-up" grazie alla lettura "in situ" della temperatura del sensore di pressione; un risparmio di area utilizzando lo stesso sensore MEMS con la duplice funzione di sensore di pressione e di

temperatura, sfruttando i diodi integrati già presenti in seguito alle fase di fabbricazione e formazione dei piezoresistori; infine, secondo alcune forme di realizzazione della presente invenzione, non sono necessarie, nel sensore MEMS, piazzole dedicate, mantenendo area e disegno (layout) del sensore come da arte nota.

Risulta infine chiaro che al trovato qui descritto ed illustrato, possono essere apportate modifiche e varianti senza per questo uscire dall'ambito protettivo della presente invenzione, come definito nelle rivendicazioni allegate.

In particolare, la descrizione fa riferimento ad una fetta 1 che alloggia il sensore di pressione. Tuttavia, quanto descritto è ovviamente applicabile a sensori di pressioni alloggiati su una piastrina ("chip"), o "die", cioè dopo l'operazione di taglio della fetta 1.

Inoltre, secondo altre forme di realizzazione, le conducibilità N e P possono essere tra loro scambiate rispetto a quanto precedentemente descritto. In particolare, i piezoresistori possono essere formati da regioni impiantate di tipo N, e lo strato epitassiale 3 ed il substrato 2 sono di tipo P.

Inoltre, la presente invenzione non è limitata

alla forma di realizzazione della membrana sospesa qui descritta ed illustrata, ma è applicabile a qualsiasi sensore di pressione piezoresistivo in cui i piezoresistori formano una giunzione PN con uno strato o substrato sottostante.

Infine, l'insegnamento secondo la presente invenzione può essere applicato a qualsiasi sensore o trasduttore il cui segnale di uscita è dipendente dalla temperatura di funzionamento del sensore stesso, e pertanto deve essere corretto o compensato.

RIVENDICAZIONI

1. Metodo per rilevare una temperatura (T) di un trasduttore (100), il trasduttore comprendendo: un corpo (2, 3, 7) includente una struttura di rilevamento (6) di materiale semiconduttore avente un primo tipo di conducibilità (N), detta struttura di rilevamento alloggiando un primo elemento trasduttore (5, R1) avente un secondo tipo di conducibilità (P), detto primo elemento trasduttore formando con detta struttura di rilevamento un primo diodo a giunzione (D1),

il metodo comprendendo le fasi di:

- generare una prima corrente (I_1) attraverso detto primo diodo a giunzione;

- rilevare un primo valore di tensione (V_1) ai capi di ("across") detto primo diodo a giunzione quando la prima corrente (I_1) è alimentata; e

- correlare detto primo valore di tensione rilevata ad un valore di temperatura di detto primo diodo a giunzione.

2. Metodo secondo la rivendicazione 1, comprendente inoltre le fasi di:

- generare una seconda corrente (I_2), avente valore diverso dal valore della prima corrente (I_1), attraverso detto primo diodo a giunzione;

- rilevare un secondo valore di tensione (V_2) ai capi di ("across") detto primo diodo a giunzione quando la seconda corrente (I_2) è alimentata;

- eseguire una operazione di sottrazione tra il primo

e il secondo valore della tensione rilevata ottenendo un valore differenza (ΔV_{DIODE}); e

- associare detto valore differenza ad un valore di temperatura di detto diodo a giunzione.

3. Metodo secondo la rivendicazione 2, in cui la fase di associare comprende eseguire una associazione lineare.

4. Metodo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detto trasduttore (100) è un sensore di pressione, la struttura di rilevamento (6) è una membrana flessibile, e detto primo elemento trasduttore (5) è un piezoresistore.

5. Metodo secondo la rivendicazione 2, in cui la struttura di rilevamento alloggia inoltre un secondo elemento trasduttore (5, R2) avente il secondo tipo di conducibilità (P), detto secondo elemento trasduttore formando con detta struttura di rilevamento un secondo diodo a giunzione (D2), detti primo e secondo diodo a giunzione (D1, D2) essendo collegati in parallelo tra terminali di conduzione comuni (18a, 21),

il metodo comprendendo inoltre le fasi di:

- polarizzare i terminali di conduzione comuni così da generare la prima corrente attraverso il primo e il secondo diodo a giunzione;

- rilevare il primo valore di tensione (V_1) tra ("across") i terminali di conduzione comuni quando la prima corrente (I_1) è alimentata;

- polarizzare i terminali di conduzione comuni così da

generare una seconda corrente (I_2), avente valore diverso dal valore della prima corrente (I_1), tra detti terminali di conduzione comuni;

- rilevare un secondo valore di tensione (V_2) tra ("across") detti terminali di conduzione comuni quando la seconda corrente (I_2) è alimentata;

- eseguire una operazione di sottrazione tra il primo e il secondo valore della tensione rilevata ottenendo un valore differenza (ΔV_{DIODE}); e

- associare detto valore differenza ad un valore di temperatura di detti primo e secondo diodo a giunzione.

6. Metodo secondo la rivendicazione 1, in cui la struttura di rilevamento alloggia inoltre un secondo elemento trasduttore (5, R2) avente il secondo tipo di conducibilità (P), detto secondo elemento trasduttore formando con detta struttura di rilevamento un secondo diodo a giunzione (D2),

il metodo comprendendo inoltre:

- generare una seconda corrente (I_2) uguale alla prima corrente (I_1) attraverso detto secondo diodo a giunzione;

- rilevare un secondo valore di tensione (V_2) ai capi di ("across") detto secondo diodo a giunzione quando la seconda corrente (I_2) è alimentata;

- eseguire una operazione di sottrazione tra il primo e il secondo valore della tensione rilevata ottenendo un valore differenza (ΔV_{DIODE}); e

- associare detto valore differenza ad un valore di

temperatura di detti primo e secondo diodo a giunzione.

7. Trasduttore (100) atto a ("adapted to") rilevare ("sense") una grandezza esterna ("external quantity"), comprendente:

- un corpo (2, 3, 7) includente una struttura di rilevamento (6) di materiale semiconduttore avente un primo tipo di conducibilità (N);

- un primo elemento trasduttore (5) estendentesi in detta struttura di rilevamento, avente un secondo tipo di conducibilità (P), e formando con detta struttura di rilevamento un primo diodo a giunzione (D1);

- un generatore di corrente (27), collegato tra il primo elemento trasduttore e la struttura di rilevamento, configurato per alimentare una prima corrente (I_1) attraverso il primo diodo a giunzione;

- un misuratore di tensione (29), collegato tra il primo elemento trasduttore e la struttura di rilevamento, configurato per rilevare un primo valore di tensione (V_1) ai capi di ("across") del primo diodi a giunzione quando la prima corrente (I_1) è alimentata; e

- un dispositivo di elaborazione ("processing device") (31), configurato per acquisire il primo valore della tensione rilevata e correlare detto primo valore di tensione ad un valore di temperatura del primo diodo a giunzione.

8. Trasduttore secondo la rivendicazione 7, in cui:

- il generatore di corrente (27) è inoltre configurato

per alimentare una seconda corrente (I_2), avente valore diverso dal valore della prima corrente (I_1), al primo diodo a giunzione;

- il misuratore di tensione (29) è inoltre configurato per rilevare un secondo valore di tensione (V_2) ai capi del primo diodo a giunzione quando la seconda corrente (I_2) è alimentata; e

- il dispositivo di elaborazione (31) è inoltre configurato per acquisire il secondo valore della tensione rilevata; eseguire una operazione di sottrazione tra il primo e il secondo valore della tensione rilevata ottenendo un valore differenza (ΔV_{DIODE}); e associare detto valore differenza ad un valore di temperatura di detti primo e secondo diodo a giunzione.

9. Trasduttore secondo la rivendicazione 8, in cui il dispositivo di elaborazione (31) è inoltre configurato per eseguire una associazione lineare tra il valore differenza ed il valore di temperatura.

10. Trasduttore secondo la rivendicazione 8 o 9, comprendente inoltre un secondo elemento trasduttore (5, R2) avente il secondo tipo di conducibilità (P), detto secondo elemento trasduttore formando con detta struttura di rilevamento un secondo diodo a giunzione (D2), detti primo e secondo diodo a giunzione (D1, D2) essendo collegati in parallelo tra terminali di conduzione comuni (18a, 21),

in cui il generatore di corrente (27) è collegato tra

detti terminali di conduzione comuni (18a, 21) ed è configurato per alimentare la prima corrente (I_1) e la seconda corrente (I_2) ai terminali di conduzione comuni,

e in cui il misuratore di tensione (29) è configurato per rilevare il primo valore di tensione (V_1) tra ("across") i terminali di conduzione comuni quando la prima corrente (I_1) è alimentata, e per rilevare il secondo valore di tensione (V_2) tra ("across") i terminali di conduzione comuni quando la seconda corrente (I_2) è alimentata.

11. Trasduttore di pressione secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 10, comprendente inoltre un terzo e un quarto elemento trasduttore (5, R3, R4) aventi il secondo tipo di conducibilità (P), detti terzo e quarto elemento trasduttore formando con detta struttura di rilevamento un rispettivo terzo e quarto diodo a giunzione (D3, D4), detti primo, secondo, terzo e quarto diodo a giunzione (D1-D4) essendo collegati in parallelo tra detti terminali di conduzione comuni (18a, 18b, 20a, 20b, 21),

detti primo, secondo, terzo e quarto elementi trasduttori (5, R1-R4) essendo inoltre collegati tra loro a formare un ponte di Wheatstone.

12. Trasduttore secondo la rivendicazione 11, in cui la struttura di rilevamento (6) è una membrana flessibile, detti primo, secondo, terzo e quarto elementi trasduttori (5) sono piezoresistori diffusi nella struttura di rilevamento, detto trasduttore (100) essendo un sensore di

pressione.

13. Trasduttore secondo la rivendicazione 12, in cui detti primo, secondo , terzo e quarto elementi trasduttori (5) hanno un rispettivo valore di resistenza che varia in funzione della pressione applicata alla membrana flessibile.

14. Trasduttore secondo la rivendicazione 7, in cui la struttura di rilevamento alloggia inoltre un secondo elemento trasduttore (5, R2) avente il secondo tipo di conducibilità (P), detto secondo elemento trasduttore formando con detta struttura di rilevamento un secondo diodo a giunzione (D2),

in cui il generatore di corrente (27) è inoltre configurato per generare una seconda corrente (I_2), uguale alla prima corrente (I_1), attraverso il secondo diodo a giunzione,

e in cui il misuratore di tensione (29) è inoltre configurato per rilevare un secondo valore di tensione (V_2) ai capi del secondo diodo a giunzione quando la seconda corrente (I_2) è alimentata; e

- il dispositivo di elaborazione (31) è inoltre configurato per acquisire il secondo valore della tensione rilevata; eseguire una operazione di sottrazione tra il primo e il secondo valore della tensione rilevata ottenendo un valore differenza (ΔV_{DIODE}); e associare detto valore differenza ad un valore di temperatura di detti primo e secondo diodo a giunzione.

15. Trasduttore secondo una qualsiasi delle

rivendicazioni 7-14, in cui la struttura di rilevamento (6) è configurata per rilevare una pressione esterna, e generare un segnale di tensione di uscita (V_o) correlato alla tensione esterna rilevata,

il dispositivo di elaborazione (31) comprendendo inoltre:

- un multiplexer (202), collegato al di pressione (100) per ricevere il segnale di tensione di uscita (V_o) e un segnale correlato alla temperatura a cui opera il sensore di pressione (100), configurato per confrontare il primo valore di tensione (V_1) con una tensione di riferimento (V_{ref}), confrontare il secondo valore di tensione (V_2) con la tensione di riferimento (V_{ref}), calcolare il valore differenza (ΔV_{DIODE});

- un front-end analogico (206), includente un amplificatore capacitivo a basso rumore ("low noise capacitive amplifier") configurato per convertire il valore differenza (ΔV_{DIODE}) in un segnale di tensione analogico;

- un convertitore analogico-digitale (208), configurato per convertire il segnale di tensione analogico in un flusso di dati digitale ("digital bitstream"); e

- un processore digitale (211), configurato per eseguire operazioni di compensazione del segnale di tensione di uscita (V_o) sulla base del segnale correlato alla temperatura a cui opera il trasduttore (100).

p.i.: STMICROELECTRONICS S.R.L.

Elena CERBARO

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

CLAIMS

1. A method for sensing a temperature (T) of a transducer (100), the transducer comprising: a body (2, 3, 7) including a sensing structure (6) of semiconductor material having a first type of conductivity (N), said sensing structure housing a first transducer element (5, R1) having a second type of conductivity (P), said first transducer element forming with said sensing structure a first junction diode (D1), the method comprising the steps of:
 - generating a first current (I_1) through said first junction diode;
 - detecting a first voltage value (V_1) across said first junction diode when the first current (I_1) is supplied; and
 - correlating said first voltage value detected to a value of a temperature of said first junction diode.
2. The method according to claim 1, further comprising the steps of:
 - generating a second current (I_2), having a value different from the value of the first current (I_1), through said first junction diode;
 - detecting a second voltage value (V_2) across said first junction diode when the second current (I_2) is supplied;
 - carrying out an operation of subtraction between the first and the second values of the detected voltages, obtaining a difference value (ΔV_{DIODE}); and
 - associating said difference value to a value of temperature of said junction diode.
3. The method according to claim 2, wherein the associating step comprises carrying out a linear association.
4. The method according to any one of the preceding claims,

wherein said transducer (100) is a pressure sensor, the sensing structure (6) is a flexible membrane, and said first transducer element (5) is a piezoresistor.

5 5. The method according to claim 2, wherein the sensing structure further houses a second transducer element (5, R2) having the second type of conductivity (P), said second transducer element forming with said sensing structure a second junction diode (D2), said first and second junction
10 diodes (D1, D2) being connected in parallel between common conduction terminals (18a, 21), the method further comprising the steps of:

- biasing the common conduction terminals so as to generate the first current through the first and second junction
15 diodes;

- detecting the first voltage value (V_1) across the common conduction terminals when the first current (I_1) is supplied;

- biasing the common conduction terminals so as to generate a second current (I_2), having a value different from the value
20 of the first current (I_1), between said common conduction terminals;

- detecting a second voltage value (V_2) across said common conduction terminals when the second current (I_2) is supplied;

- carrying out an operation of subtraction between the first
25 and second values of the voltage detected to obtain a difference value (ΔV_{DIODE}); and

- associating said difference value to a value of temperature of said first and second junction diodes.

30 6. The method according to claim 1, wherein the sensing structure moreover houses a second transducer element (5, R2) having the second type of conductivity (P), said second transducer element forming with said sensing structure a second junction diode (D2), the method further comprising:

- generating a second current (I_2) equal to the first current (I_1) through said second junction diode;
- detecting a second voltage value (V_2) across said second junction diode when the second current (I_2) is supplied;
- 5 - carrying out an operation of subtraction between the first value and the second value of the voltage detected to obtain a difference value (ΔV_{DIODE}); and
- associating said difference value to a value of temperature of said first and second junction diodes.

10

7. A transducer (100) adapted to sense an external quantity, comprising:

- a body (2, 3, 7) including a sensing structure (6) made of semiconductor material having a first type of conductivity
- 15 (N);

- a first transducer element (5), extending in said sensing structure, having a second type of conductivity (P), and forming with said sensing structure a first junction diode (D1);

20

- a current generator (27), connected between the first transducer element and the sensing structure, configured for supplying a first current (I_1) through the first junction diode;

25

- a voltage-measuring device (29), connected between the first transducer element and the sensing structure, configured for detecting a first voltage value (V_1) across the first junction diodes when the first current (I_1) is supplied; and

30

- a processing device (31), configured for acquiring the first value of the voltage detected and correlating said first voltage value to a value of temperature of the first junction diode.

8. The transducer according to claim 7, wherein:

- the current generator (27) is moreover configured for

supplying a second current (I_2), having a value different from the value of the first current (I_1), to the first junction diode;

- the voltage-measuring device (29) is moreover configured for detecting a second voltage value (V_2) across the first junction diode when the second current (I_2) is supplied; and

- the processing device (31) is moreover configured for: acquiring the second value of the voltage detected; carrying out an operation of subtraction between the first value and the second value of the voltage detected to obtain a difference value (ΔV_{DIODE}); and associating said difference value to a value of temperature of said first and second junction diodes.

9. The transducer according to claim 8, wherein the processing device (31) is moreover configured for carrying out a linear association between the difference value and the temperature value.

10. The transducer according to claim 8 or claim 9, further comprising a second transducer element (5, R2) having the second type of conductivity (P), said second transducer element forming with said sensing structure a second junction diode (D2), said first and second junction diodes (D1, D2) being connected in parallel between common conduction terminals (18a, 21),

wherein the current generator (27) is connected between said common conduction terminals (18a, 21) and is configured for supplying the first current (I_1) and the second current (I_2) to the common conduction terminals,

and wherein the voltage-measuring device (29) is configured for detecting the first voltage value (V_1) across the common conduction terminals when the first current (I_1) is supplied, and for detecting the second voltage value (V_2) across the

common conduction terminals when the second current (I_2) is supplied.

11. The transducer of pressure according to claim 10, further
5 comprising a third transducer element and a fourth transducer
element (5, R3, R4) having the second type of conductivity
(P), said third and fourth transducer elements forming with
said sensing structure a respective third junction diode (D3)
and fourth junction diode (D4), said first, second, third and
10 fourth junction diodes (D1-D4) being connected in parallel
between said common conduction terminals (18a, 18b, 20a, 20b,
21),
said first, second, third, and fourth transducer elements (5,
R1-R4) being moreover connected together to form a Wheatstone
15 bridge.

12. The transducer according to claim 11, wherein the sensing
structure (6) is a flexible membrane, said first, second,
third, and fourth transducer elements (5) are piezoresistors
20 diffused in the sensing structure, said transducer (100) being
a pressure sensor.

13. The transducer according to claim 12, wherein said first,
second, third, and fourth transducer elements (5) have a
25 respective value of resistance that varies as a function of
the pressure applied to the flexible membrane.

14. The transducer according to claim 7, wherein the sensing
structure moreover houses a second transducer element (5, R2)
30 having the second type of conductivity (P), said second
transducer element forming with said sensing structure a
second junction diode (D2),
wherein the current generator (27) is moreover configured for
generating a second current (I_2), equal to the first current

(I_1), through the second junction diode,
and wherein the voltage-measuring device (29) is moreover
configured for sensing a second voltage value (V_2) across the
second junction diode when the second current (I_2) is
5 supplied; and

- the processing device (31) is moreover configured for:
acquiring the second value of the voltage detected; carrying
out an operation of subtraction between the first value and
the second value of the voltage detected to obtain a
10 difference value (ΔV_{DIODE}); and associating said difference
value to a value of temperature of said first and second
junction diodes.

15. The transducer according to any one of claims 7-14,
15 wherein the sensing structure (6) is configured for sensing an
external pressure and generating an output voltage signal (V_o)
correlated to the external pressure detected, the processing
device (31) further comprising:

- a multiplexer (202), connected to the pressure sensor (100)
20 for receiving the output voltage signal (V_o) and a signal
correlated to the temperature at which the pressure sensor
(100) operates, configured for comparing the first voltage
value (V_1) with a reference voltage (V_{ref}), comparing the
second voltage value (V_2) with the reference voltage (V_{ref}),
25 and calculating the difference value (ΔV_{DIODE});

- an analog front-end (206), including a low-noise capacitive
amplifier configured for converting the difference value (ΔV_{DIODE})
into an analog voltage signal;

- an analog-to-digital converter (208), configured for converting
30 the analog voltage signal into a digital bitstream; and

- a digital processor (211), configured for carrying out operations
of compensation of the output voltage signal (V_o) on the basis of
the signal correlated to the temperature at which the transducer
(100) operates.

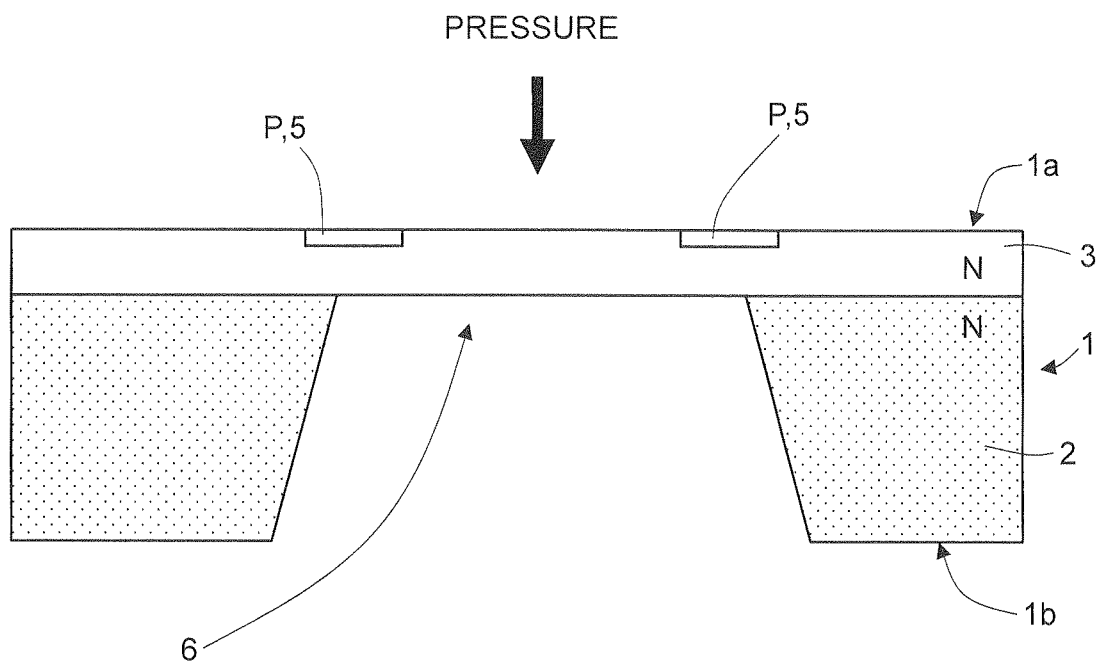


Fig.1

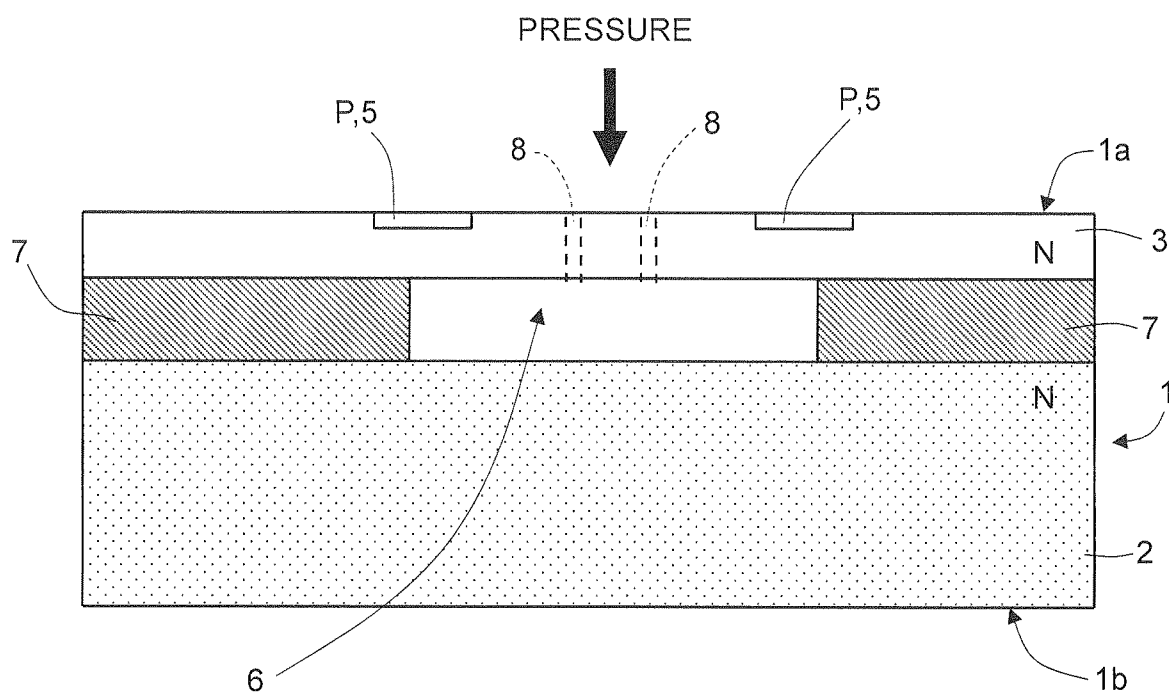


Fig.2

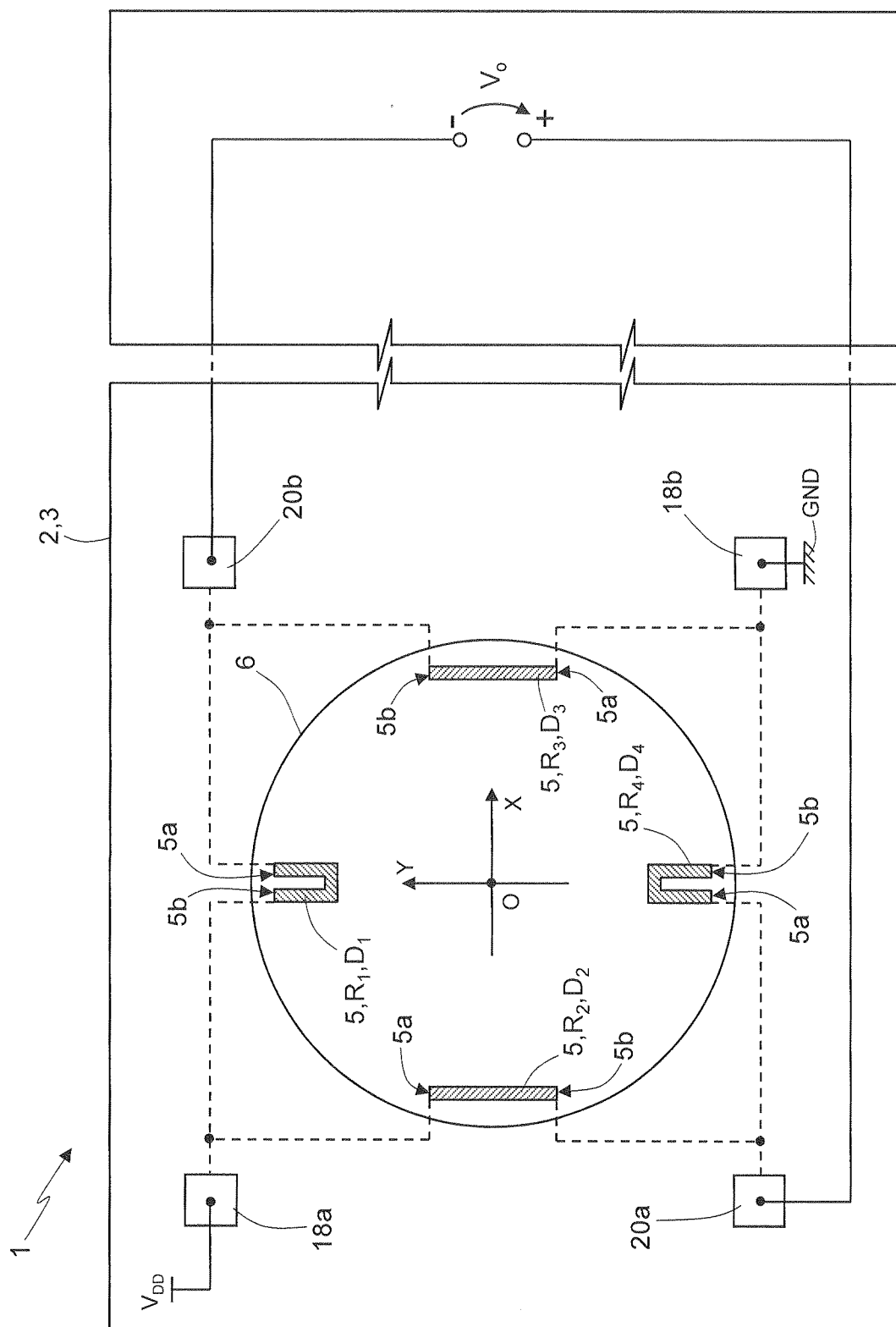


Fig.3

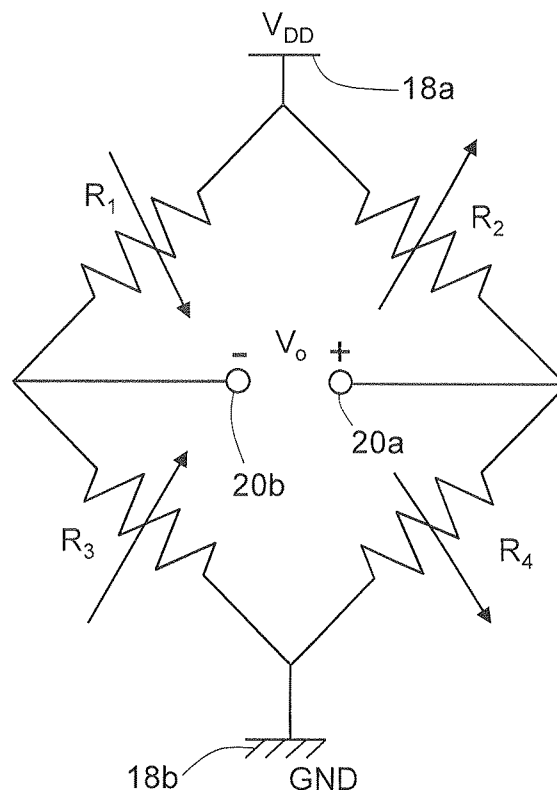


Fig.4

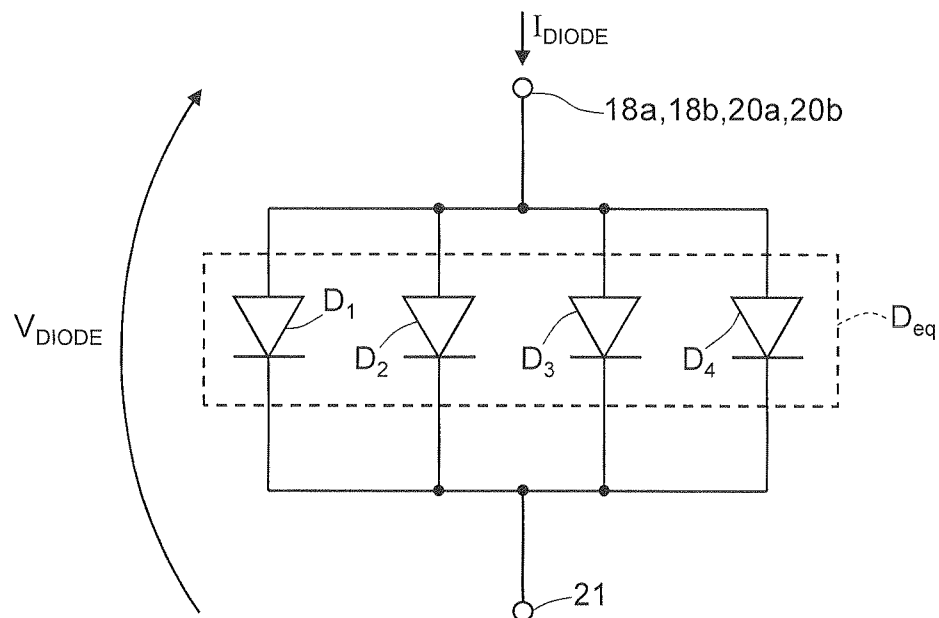


Fig.5

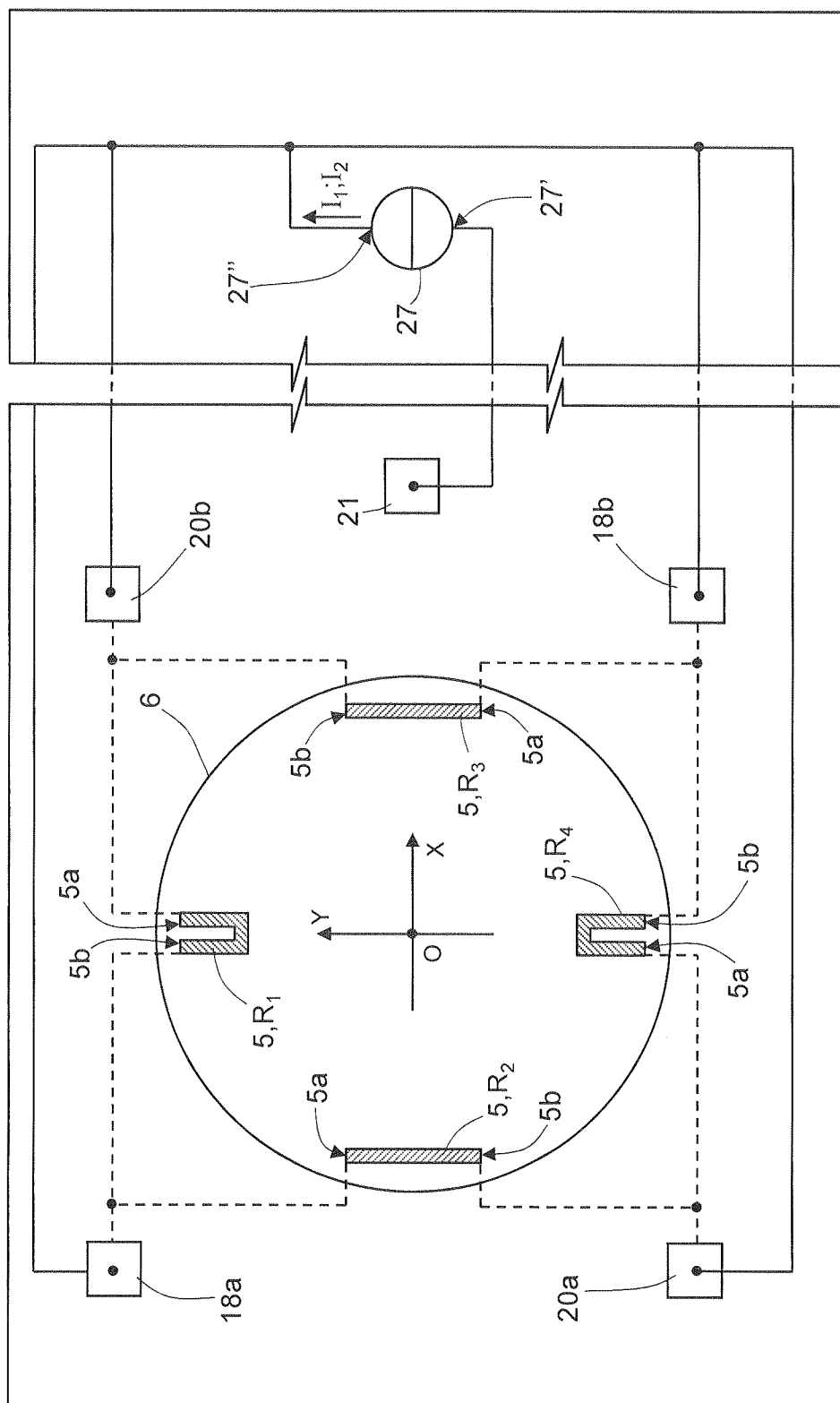


Fig.6

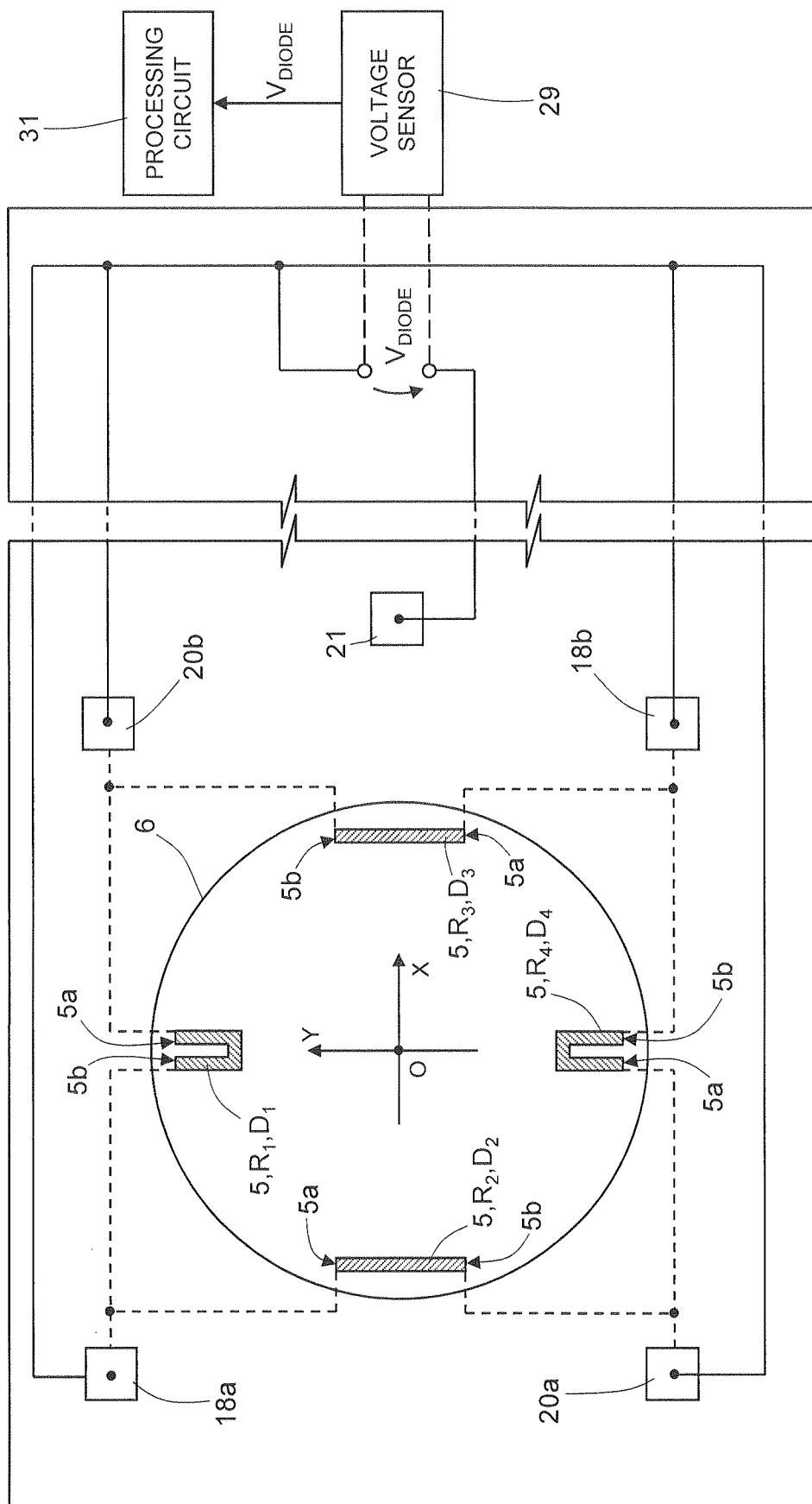


Fig.7

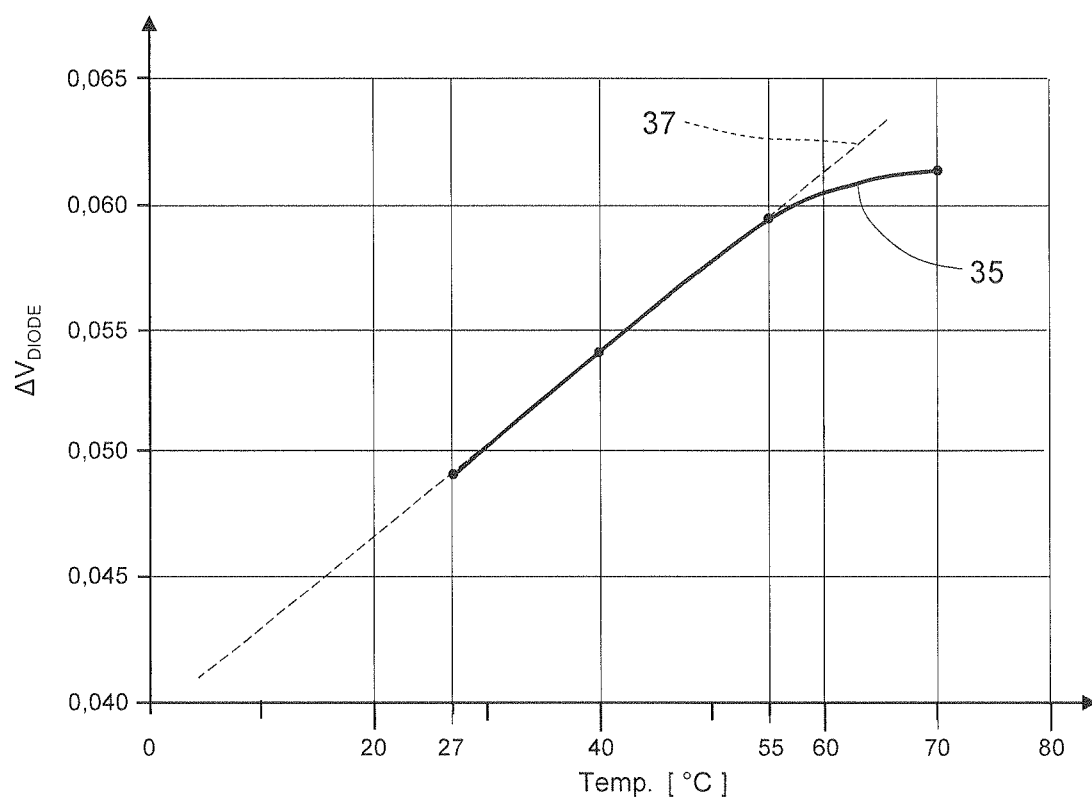


Fig.8

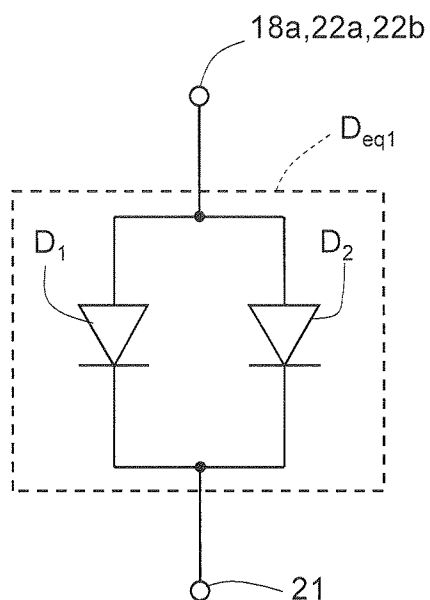


Fig.10a

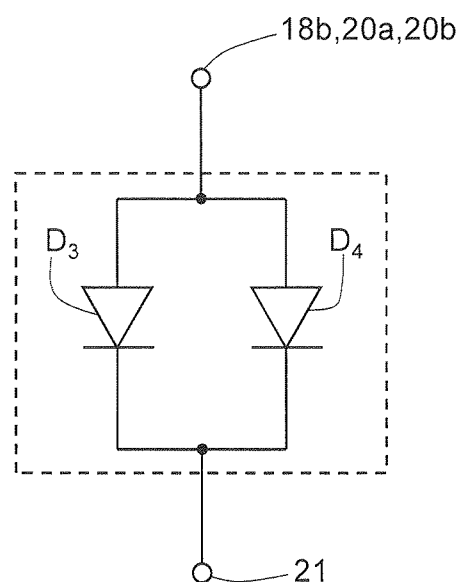


Fig.10b

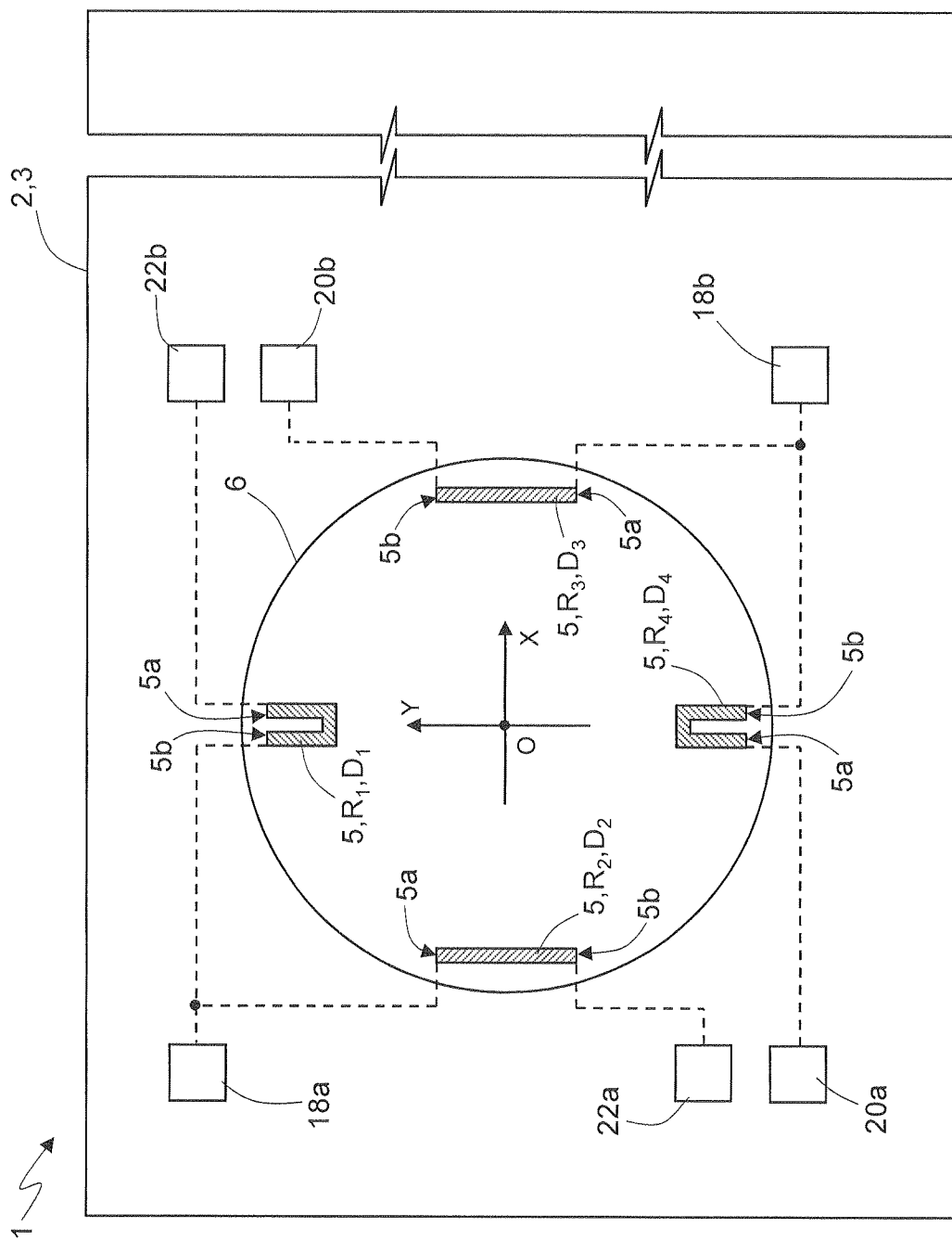


Fig.9

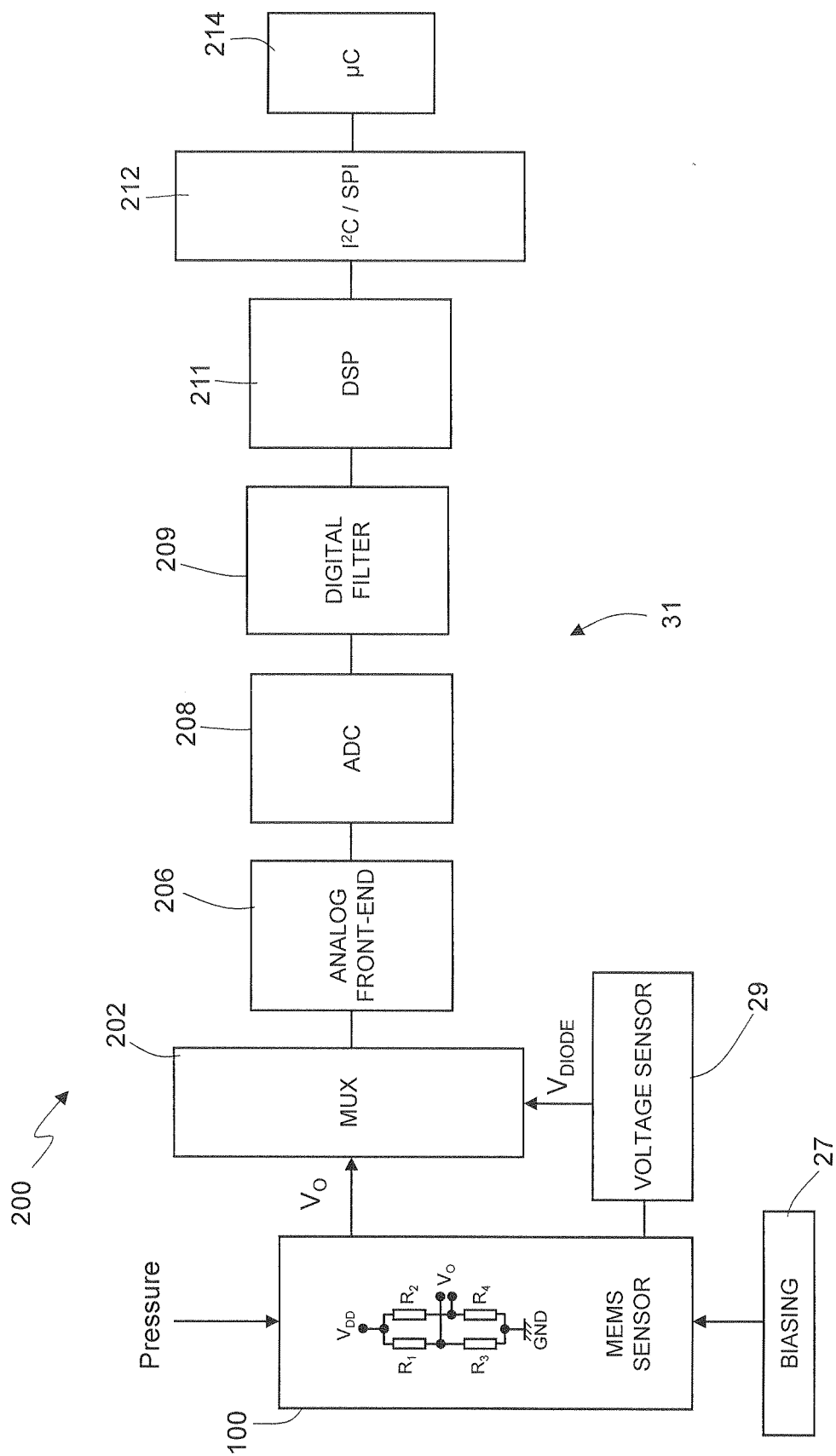


Fig.11