

Sensore e dispositivo per il monitoraggio di fluidi

*Original*

Sensore e dispositivo per il monitoraggio di fluidi / Lora, Davide; Ripandelli, Simone; Pezzarossa, Michele. - (2019).

*Availability:*

This version is available at: 11583/2918912 since: 2021-08-28T09:19:05Z

*Publisher:*

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)



**MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO**  
**DIREZIONE GENERALE PER LA LOTTA ALLA CONTRAFFAZIONE**  
**UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI**

<b>DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO</b>	<b>102019000019532</b>
<b>Data Deposito</b>	<b>22/10/2019</b>
<b>Data Pubblicazione</b>	<b>22/04/2021</b>

Classifiche IPC

Titolo

**SENSORE E DISPOSITIVO PER IL MONITORAGGIO DI FLUIDI**

## TITOLO

### **SENSORE E DISPOSITIVO PER IL MONITORAGGIO DI FLUIDI**

## DESCRIZIONE

### Campo di applicazione dell'invenzione

- 5 La presente invenzione riguarda in generale il settore del monitoraggio di fluidi. In particolare, la presente invenzione riguarda un sensore ed un dispositivo per il monitoraggio di un fluido.

### Stato della tecnica

10 Sono note diverse tipologie di sensori per fluidi. Questi sensori sono comunemente divisi in sensori di pressione e sensori di portata.

I sensori di portata più comuni sono, per esempio, i sensori a ventola ed i sensori elettromagnetici. I sensori di pressione possono essere classificati in due tipologie: sensori basati sulla nota legge di Pascal; sensori di pressione basati sulla deformazione di un elemento elastico.

15 Come noto, i sensori di pressione a deformazione di un elemento elastico possono essere realizzati come sensori di pressione integrati, in particolare sono noti sensori di pressione piezoelettrici a membrana. Questi sensori di pressione piezoelettrici sfruttano una membrana comprendente un materiale piezoelettrico che deformandosi genera un segnale proporzionale alla pressione esercitata da un  
20 fluido sulla membrana stessa.

La Richiedente ha notato che in alcune applicazioni, come il monitoraggio di condotti dell'acqua potabile cittadina, sia i sensori di pressione sia i sensori di portata noti non sono adatti ad essere utilizzati per un monitoraggio in tempo reale.

25 In particolare, la Richiedente ha notato che i sensori a ventola presentano la necessità di interventi di manutenzione ordinaria per garantirne il corretto funzionamento, causando un elevato costo di gestione. Inoltre, i sensori a ventola non sono in grado di fornire misure precise sulla differenza di pressione all'interno di una condotta (es. transitori dovuti a manovre di apertura/chiusura).

I sensori elettromagnetici presentano un elevato consumo energetico e di

conseguenza il loro utilizzo per acquisire misure in tempo reale comporta dei costi non sostenibili.

### Sommario dell'invenzione

5 Scopo della presente invenzione è fornire un dispositivo di monitoraggio per fluidi che superi i suddetti problemi.

In particolare, scopo della presente invenzione è fornire un dispositivo di monitoraggio per fluidi che sia affidabile, poco costoso, che non presenti un alto consumo energetico.

10 Un ulteriore scopo della presente invenzione è fornire un dispositivo di monitoraggio per la valutazione delle caratteristiche fisiche di un fluido utilizzabile in tempo reale e che sia in grado di evincere parametri fisici caratteristici del flusso in un'unica misura.

Secondo un primo aspetto, la presente invenzione fornisce un sensore di pressione comprendente:

- 15
- una base sostanzialmente piatta;
  - una pluralità di supporti flessibili, estendentisi da detta base;
  - una pluralità di elementi piezoelettrici, ciascun elemento piezoelettrico essendo fissato ad un rispettivo supporto flessibile e atto a generare un rispettivo segnale di flessione in funzione della deformazione di detto

20

  - rispettivo supporto flessibile;

in cui ciascun supporto flessibile presenta dimensioni differenti rispetto ad almeno un altro supporto flessibile.

Secondo un secondo aspetto, la presente invenzione fornisce un dispositivo di monitoraggio comprendente:

- 25
- un sensore di pressione secondo forme di realizzazione della presente invenzione;
  - una scheda elettronica configurata per acquisire un segnale di flessione proveniente da detto sensore di pressione e per generare, in funzione di detto segnale di flessione, un segnale di uscita rappresentativo di una

30

  - pressione rilevata da detto sensore di pressione.
  - un elaboratore configurato per leggere detto segnale di uscita

rappresentativo di una pressione e calcolare un valore di pressione ed un valore di portata.

Ulteriori caratteristiche vantaggiose della presente invenzione sono oggetto delle rivendicazioni dipendenti allegate.

## 5 Breve descrizione delle figure

La presente invenzione risulterà più chiara dalla seguente descrizione dettagliata, da leggersi con riferimento ai disegni allegati forniti a titolo di esempio e non di limitazione, in cui:

- le Figure 1a e 1b mostrano uno schema di un sensore di pressione;
- 10 - la Figura 2 mostra un'immagine SEM di un sensore di pressione;
- la Figura 3 mostra uno schema di collegamento elettrico esemplificativo di alcuni componenti del sensore di pressione di Figura 2;
- la Figura 4 mostra uno schema a blocchi esemplificativo del sensore di pressione secondo la presente invenzione;
- 15 - la Figura 5 mostra uno schema a blocchi esemplificativo di un dispositivo di monitoraggio secondo forme di realizzazione della presente invenzione;
- la Figura 6 mostra un'immagine parziale di un dispositivo di monitoraggio secondo la presente invenzione;
- la Figura 7 mostra uno schema parziale di un sensore di pressione secondo  
20 una forma di realizzazione della presente invenzione;
- la Figura 8 mostra la deformazione di elementi del sensore di pressione di Figura 7 in presenza di una pressione uniforme;
- la Figura 9 mostra la deformazione di ulteriori elementi del sensore di pressione di Figura 7 in presenza di una pressione uniforme;
- 25 - la Figura 10 mostra una stima esemplificativa della deformazione massima subita da alcuni elementi del sensore di pressione secondo la presente invenzione quando un'onda di pressione viene rivelata;
- la Figura 11 mostra un ulteriore schema di un sensore di pressione secondo una seconda forma di realizzazione della presente invenzione.

Nel seguito con il termine "sensore di pressione" si indicherà un trasduttore che genera un segnale di tensione in funzione di una forza percepita dal sensore di pressione stesso.

#### Descrizione di dettaglio di esempi di realizzazione

5 Secondo un primo aspetto della presente invenzione, è fornito un dispositivo di monitoraggio 200. Come sarà più chiaro in seguito, il dispositivo di monitoraggio 200 può essere impiegato per rilevare la pressione e/o la portata di un fluido.

Il dispositivo di monitoraggio 200 comprende un sensore di pressione 100.

Il sensore di pressione 100 comprende una base 101 sostanzialmente piatta.

10 Preferibilmente, la base 101 è realizzata in silicio.

Il sensore di pressione 100 comprende una pluralità di supporti flessibili 102a, 102b, 102c, ..., 102i.

Nel seguito, per motivi di chiarezza, è descritto il funzionamento di un singolo supporto flessibile 102.

15 Il supporto flessibile 102 si estende dalla base 101. Il supporto flessibile 102 presenta una prima estremità fissata alla base 101 ed una seconda estremità libera di muoversi. In altre parole, il supporto flessibile 102 è fissato a sbalzo alla base 101. Preferibilmente, il supporto flessibile 102 è realizzato in silicio.

Considerando una vista in pianta, il supporto flessibile 102 ha un lato maggiore  
20 L (anche chiamato lunghezza L nel seguito), sostanzialmente parallelo all'asse X, preferibilmente compreso tra 100  $\mu\text{m}$  e 500  $\mu\text{m}$ . Il supporto flessibile 102 ha un lato minore W (anche chiamato larghezza W nel seguito), sostanzialmente parallelo all'asse Y, preferibilmente compreso tra 50  $\mu\text{m}$  e 300  $\mu\text{m}$ . Il supporto flessibile ha una dimensione H (anche chiamata spessore H nel seguito), sostanzialmente  
25 parallela all'asse Z, preferibilmente compresa tra 100  $\mu\text{m}$  e 500  $\mu\text{m}$ . Preferibilmente, il supporto flessibile 102 ha uno spessore H minore o uguale allo spessore H della base 101. Per motivi di chiarezza lo spessore H è mostrato in Figura 1a, la lunghezza L e la larghezza W sono mostrati in Figura 1b

La Richiedente osserva che i supporti flessibili 102 e la base 101 del sensore di  
30 pressione 100 possono avere anche dimensioni maggiori di 500  $\mu\text{m}$ .

Come mostrato nelle Figure 1b e 2, il sensore di pressione 100 comprende un

elemento piezoelettrico 110. In particolare, l'elemento piezoelettrico 110 è fissato al supporto flessibile 102. Preferibilmente l'elemento piezoelettrico 110 è fissato sulla prima estremità del supporto flessibile 102, come spiegato in dettaglio nel seguito. L'elemento piezoelettrico 110 genera un segnale di tensione  $V$  proporzionale alla propria deformazione.

In particolare, preferibilmente, l'elemento piezoelettrico 110 comprende una prima piezoresistenza 111 e una seconda piezoresistenza 112. Ciascuna piezoresistenza 111, 112 è posizionata nella regione di contatto tra il supporto flessibile 102 e la base 101. In questo modo, una flessione del supporto flessibile 102 causa la deformazione reticolare delle piezoresistenze 111, 112 e di conseguenza una variazione della loro resistenza. Infatti, ciascuna piezoresistenza 111, 112 è caratterizzata da una diretta e misurabile correlazione tra la propria resistività intrinseca e la deformazione reticolare subita.

Preferibilmente, l'elemento piezoelettrico 110 comprende una prima resistenza 113 ed una seconda resistenza 114 montate entrambe sulla base 101.

Con riferimento alle Figure 2 e 3, secondo una forma di realizzazione, le piezoresistenze 111, 112 e le resistenze 113, 114 sono collegate in modo da formare un ponte di *Wheatstone* in configurazione a mezzo ponte. In altre parole, la prima piezoresistenza 111 e la prima resistenza 113 sono collegate in serie formando un primo ramo. Analogamente, la seconda piezoresistenza 112 e la seconda resistenza 114 sono collegate in serie formando un secondo ramo. Il primo ed il secondo ramo sono collegati elettricamente in parallelo.

Secondo questa forma di realizzazione, il sensore di pressione 100 comprende:

- un primo elettrodo 115 collegato tra la prima piezoresistenza 111 e la prima resistenza 113;
- un secondo elettrodo 116 collegato tra la prima piezoresistenza 111 e la seconda resistenza 114;
- un terzo elettrodo 117 collegato tra la seconda resistenza 114 e la seconda piezoresistenza 112;
- un quarto elettrodo 118 collegato tra la seconda piezoresistenza 112 e la prima resistenza 113.

Si noterà pertanto che, applicando una tensione di alimentazione tra il primo

elettrodo 115 ed il terzo elettrodo 117, è possibile leggere un segnale di tensione  $V$  tra il secondo elettrodo 116 ed il quarto elettrodo 118 proporzionale alla deformazione delle piezoresistenze 111, 112 e di conseguenza proporzionale alla flessione del supporto flessibile 102 del sensore di pressione 100. Nel seguito il  
5 segnale di tensione  $V$  sarà indicato come "segnale di flessione".

Quando una forza (per esempio un delta di pressione causata da un fluido) flette il supporto flessibile 102, l'elemento piezoelettrico 110 genera un segnale di flessione  $V$  in funzione della, e preferibilmente proporzionale alla, flessione del supporto flessibile 102 stesso. Tale segnale di flessione  $V$  è fornito in output dal  
10 sensore di pressione 100.

Preferibilmente, la prima e la seconda piezoresistenza 111, 112 possono avere un valore di resistenza compreso tra 0.5 e 2 kOhm; la prima e la seconda resistenza 113, 114 possono avere un valore di resistenza compreso tra 0.5 e 2 kOhm.

Come sopra anticipato, il sensore di pressione 100 comprende una pluralità di  
15 supporti flessibili 102a, 102b, 102c, ..., 102i (Figura 4).

Il sensore di pressione 100 è dotato di una pluralità di elementi piezoelettrici 110a, 110b, 110c, ..., 110i. Ciascun elemento piezoelettrico 110a, 110b, 110c, ..., 110i è fissato alla prima estremità fissa di un rispettivo supporto flessibile 102a, 102b, 102c, ..., 102i. Pertanto, il sensore di pressione 100 genera in output una  
20 pluralità di segnali di flessione  $V_a, V_b, V_c, \dots, V_i$ . Ciascun segnale di flessione  $V_a, V_b, V_c, \dots, V_i$  è generato sostanzialmente come descritto sopra.

Preferibilmente, ciascun supporto flessibile 102a, 102b, 102c, ..., 102i presenta una o più dimensioni differenti rispetto ad almeno un altro supporto flessibile 102a, 102b, 102c, ..., 102i.

25 Preferibilmente, ciascun supporto flessibile 102a, 102b, 102c, ..., 102i si estende dal medesimo lato della base 101. Preferibilmente, ciascun supporto flessibile 102a, 102b, 102c, ..., 102i si estende dal medesimo lato lungo direzioni sostanzialmente parallele.

Nel seguito i segnali di flessione  $V_a, V_b, V_c, \dots, V_i$  generati dal sensore di  
30 pressione 100 saranno indicati generalmente con l'espressione segnale di flessione  $V$ .

Il dispositivo di monitoraggio 200 comprende una scheda elettronica 150.

Con riferimento alla Figura 5, il segnale di flessione  $V$  del sensore di pressione 100 è ricevuto in input dalla scheda elettronica 150. In particolare, il secondo elettrodo 116 ed il quarto elettrodo 118 sono collegati in input alla scheda elettronica 150.

5 Preferibilmente, la scheda elettronica 150 alimenta il sensore di pressione 100 attraverso un circuito di alimentazione 152 dedicato. Per esempio, il circuito di alimentazione 152 è atto a portare una tensione di alimentazione  $V_{dd}$  al primo elettrodo 115 e a collegare a massa il terzo elettrodo 117.

10 Preferibilmente, la scheda elettronica di acquisizione 150 comprende uno stadio di amplificazione 151. In tal caso, il secondo elettrodo 116 ed il quarto elettrodo 118 sono connessi in input allo stadio di amplificazione 151.

15 Lo stadio di amplificazione 151 amplifica il segnale di flessione  $V$  ricevuto in input con un guadagno  $G$ . Per esempio, il guadagno  $G$  è ottenuto tramite un primo amplificatore da strumentazione collegato in cascata ad un secondo amplificatore operativo a basso rumore. In questo modo è possibile ottenere un guadagno  $G$  maggiore o uguale a 50, preferibilmente maggiore o uguale a 100.

Preferibilmente, il sensore di pressione 100 e la scheda elettronica 150 sono posizionati su due superfici opposte di una piastra di connessione 160 come mostrato in Figura 6.

20 Preferibilmente, la piastra di connessione 160 ha dimensioni inferiori o uguali a  $10 \times 10$  mm.

25 Preferibilmente, quando il dispositivo di monitoraggio 200 è impiegato per monitorare un gas, il sensore di pressione 100 e la scheda elettronica 150 sono alloggiati all'interno di una camera di monitoraggio (non mostrata) in comunicazione di fluido con la condotta all'interno della quale è presente il gas stesso. Alternativamente, il sensore di pressione 100 e la scheda elettronica 150 sono installati direttamente all'interno della condotta da monitorare.

30 Preferibilmente, quando il dispositivo di monitoraggio 200 è impiegato per monitorare dei liquidi, il sensore di pressione 100 e la scheda elettronica 150 sono alloggiati all'interno di una camera di monitoraggio a tenuta stagna (non mostrata). Preferibilmente, la camera di monitoraggio a tenuta stagna contiene un volume d'aria noto.

La camera di monitoraggio a tenuta stagna è preferibilmente di forma cilindrica.

Preferibilmente, quando è prevista una camera di monitoraggio o una camera di monitoraggio a tenuta stagna, la piastra di connessione 160 è inserita all'interno della camera di monitoraggio per mezzo di una soluzione plug-and-play.

5 Preferibilmente, in corrispondenza di una base della camera di monitoraggio a tenuta stagna è fornito un elemento separatore. L'elemento separatore è atto a trasferire un'onda di pressione da una regione esterna alla camera a tenuta stagna ad una regione interna alla camera a tenuta stagna. Preferibilmente, l'elemento separatore è scelto tra: una membrana flessibile, un pistone a molla, un pistone a  
10 gas.

La camera di monitoraggio a tenuta stagna è atta ad impegnare una condotta. In particolare, la condotta e la camera di monitoraggio a tenuta stagna sono collegate in modo tale che l'elemento separatore sia l'interfaccia tra l'interno della condotta e l'interno la camera di monitoraggio a tenuta stagna. L'elemento separatore non  
15 permette uno scambio di fluido tra l'interno della camera di monitoraggio a tenuta stagna e l'interno della condotta. La condotta può essere una condotta all'interno della quale scorre un fluido, preferibilmente la condotta è una condotta in pressione. Per esempio, la condotta può essere una condotta di una rete idrica in pressione.

Come noto, un'eventuale apertura di una valvola o una rottura di una tubatura  
20 causa una perturbazione del fluido, la perturbazione a sua volta comporta una variazione di pressione che genera un'onda di pressione all'interno della condotta stessa.

L'onda di pressione, propagandosi internamente alla condotta, raggiunge la camera di monitoraggio (o la camera di monitoraggio a tenuta stagna) e viene  
25 rilevata dal sensore di pressione 100.

In particolare, quando è prevista una camera di monitoraggio a tenuta stagna, l'elemento separatore trasmette per ragioni di continuità, tale onda di pressione all'interno della camera di monitoraggio a tenuta stagna. In altre parole, l'onda di pressione si trasmette all'interno della camera di monitoraggio a tenuta stagna.

30 L'onda di pressione trasmessa può causare la flessione dei supporti flessibili 102a, 102b, 102c ...102i.

Come sopra descritto, la flessione dei supporti flessibili 102a, 102b, 102c, ...,

102i genera un corrispondente segnale di flessione  $V_a, V_b, V_c...V_i$  proporzionale alla deformazione di ciascun supporto flessibile 102a, 102b, 102c, ..., 102i. In questo modo, si ottiene un segnale di flessione  $V$  proporzionale alla perturbazione all'interno della condotta.

5 Il dispositivo di monitoraggio 200 comprende un elaboratore 300. L'elaboratore 300 riceve i segnali di flessione  $V$  per mezzo di una interfaccia di comunicazione 153.

Preferibilmente, il dispositivo di monitoraggio 200 comprende uno stadio di adattamento 220 ed uno stadio di conversione 230.

10 Il segnale di flessione  $V$ , proporzionale alla variazione di pressione, è inviato in input attraverso l'interfaccia di comunicazione 210 all'elaboratore 300.

Preferibilmente, prima di essere ricevuto dall'elaboratore 300, il segnale di flessione  $V$  attraversa lo stadio di adattamento 220. Tale stadio di adattamento 220, per esempio, è configurato per disaccoppiare ed amplificare il segnale di flessione  
15  $V$ . Per esempio, tale stadio di adattamento 220 comprende un primo amplificatore operativo in configurazione inseguitore ed un secondo amplificatore in configurazione sommatore non-invertente in cascata al primo amplificatore operativo.

Preferibilmente, il segnale di flessione  $V$ , dopo lo stadio di adattamento 220, è  
20 digitalizzato per mezzo dello stadio di conversione 230 prima di essere inviato all'elaboratore 300.

Vantaggiosamente, il segnale di flessione  $V$ , inviato all'elaboratore 300 e acquisito come sopradescritto, è rilevato con una sensibilità compresa tra 1 e 6  $\mu\text{V}/\text{nm}$ , preferibilmente compresa tra 1 e 2  $\mu\text{V}/\text{nm}$ .

25 Preferibilmente, lo stadio di conversione 230 digitalizza il valore del segnale di flessione  $V$  per mezzo di un microprocessore. In particolare, per digitalizzare il valore del segnale di flessione  $V$ , il microprocessore è dotato di un convertitore analogico digitale con almeno 12 bit. Il convertitore analogico digitale può campionare segnali con frequenze maggiori di 50 kHz. Inoltre, tale convertitore  
30 analogico digitale deve operare con tempistiche di conversione pari a 10  $\mu\text{s}$ .

Preferibilmente, il microprocessore è dotato di una memoria RAM. Tale memoria RAM è utilizzata per memorizzare il segnale di flessione  $V$  letto dal sensore di

pressione 100.

Preferibilmente lo stadio di adattamento 220, lo stadio di conversione 230 e la scheda elettronica 150 sono alimentati alla tensione di alimentazione Vdd.

Preferibilmente, la tensione Vdd è inferiore o uguale a 10 Volt, ancora più  
5 preferibilmente, la tensione Vdd è inferiore o uguale a 5 Volt.

Vantaggiosamente, il dispositivo di monitoraggio 200 viene alimentato con una bassa tensione di alimentazione Vdd e comporta quindi bassi consumi; di conseguenza è utilizzabile per il monitoraggio di una condotta in tempo reale, senza causare consumi energetici di difficile gestione.

10 L'elaboratore 300 elabora un valore di pressione P in funzione del valore del segnale di flessione V campionato.

Come noto, un gradiente di pressione, all'interno di una condotta all'interno della quale è presente un fluido, è direttamente collegato alla variazione di flusso all'interno del sistema. Pertanto, conoscendo il gradiente di pressione nel tempo è  
15 possibile ricavare la portata del condotto in modo indiretto. Per esempio, è possibile calcolare i valori di pressione e portata all'interno di una condotta in funzione del segnale di flessione V e del diametro della condotta stessa utilizzando la nota teoria del colpo d'ariete.

La teoria del colpo d'ariete è nota pertanto non verrà discussa nel dettaglio nel  
20 seguito.

Preferibilmente, l'elaboratore 300 è configurato per acquisire un segnale di flessione V in tempo reale.

L'elaboratore 300 elabora un valore di pressione P in funzione del valore del segnale di flessione V. Preferibilmente, l'elaboratore 300 elabora un valore di  
25 portata in funzione del valore di pressione P.

Vantaggiosamente, il dispositivo di monitoraggio 200 è in grado di ottenere il valore di pressione P (attraverso la misura diretta del segnale di flessione V generato dal sensore di pressione 100) e/o il valore di portata (calcolato per mezzo di un algoritmo in funzione del valore di pressione P) del fluido all'interno della  
30 condotta.

Nel seguito, facendo riferimento alle Figure 7, 8 e 9, è descritta una simulazione del comportamento di un sensore di pressione 100 esemplificativo quando

sottoposto ad una pressione uniforme P.

Come mostrato in Figura 7, il sensore di pressione 100 comprende, per esempio, un primo supporto flessibile 102a, un secondo supporto flessibile 102b ed un terzo supporto flessibile 102c.

5 Secondo questo esempio, il primo supporto flessibile 102a, il secondo supporto flessibile 102c ed il terzo supporto flessibile 102c hanno uno spessore H pari a 10  $\mu\text{m}$ , una larghezza W pari a 110  $\mu\text{m}$ . Il primo supporto flessibile 102a ha una lunghezza  $L_a$  pari a 600  $\mu\text{m}$ . Il secondo supporto flessibile 102b ha una lunghezza  $L_b$  pari a 450  $\mu\text{m}$ . Il terzo supporto flessibile 102c ha una lunghezza  $L_c$  pari a 300  $\mu\text{m}$ .

10 Come mostrato in Figura 8, ciascun supporto flessibile 102a, 102b, 102c, sotto l'effetto della pressione P, si deforma, flettendosi in modo diverso l'uno dall'altro. In particolare, secondo la presente simulazione, il primo supporto flessibile 102a presenta, in corrispondenza della sua estremità libera, uno spostamento lungo l'asse Y superiore a 100  $\mu\text{m}$ ; il secondo supporto flessibile 102b presenta in corrispondenza della sua estremità libera uno spostamento lungo l'asse Y minore di 50  $\mu\text{m}$ ; il terzo supporto flessibile 102c presenta in corrispondenza della sua estremità libera uno spostamento lungo l'asse Y minore di 5  $\mu\text{m}$ .

15 Come mostrato in Figura 9, la flessione di ciascun supporto flessibile 102a, 102b, 102c causa una diversa deformazione del rispettivo elemento piezoelettrico 110a, 110b, 110c, generando rispettivi segnali di flessione  $V_a$ ,  $V_b$ ,  $V_c$  diversi tra loro.

Tali segnali di flessione  $V_a$ ,  $V_b$ ,  $V_c$  diversi tra loro possono essere utilizzati, vantaggiosamente, per discriminare fenomeni che causano variazioni di pressione diverse all'interno della condotta.

25 Per esempio, considerando un sensore di pressione 100 comprendente quattro supporti flessibili 102a, 102b, 102c, 102d (non mostrato in figura) aventi uno spessore H pari a 10  $\mu\text{m}$ , larghezza L pari a 110  $\mu\text{m}$  e lunghezze pari a rispettivamente 350  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$ , 250  $\mu\text{m}$  e 150  $\mu\text{m}$  in presenza di una variazione di pressione  $\Delta p$  ciascun supporto flessibile 102a, 102b, 102c, 102d subirà una deformazione/flessione massima diversa. In particolare, come mostrato a titolo di esempio in Figura 10

- il supporto flessibile 102a subisce una variazione massima 301;

- il supporto flessibile 102b subisce una variazione massima 302;
- il supporto flessibile 102c subisce una variazione massima 303;
- il supporto flessibile 102d subisce una variazione massima 304.

Si noti che come, precedentemente descritto, a ciascuna variazione 301, 302, 303, 304 corrisponde un rispettivo segnale di flessione Va, Vb, Vc, Vd che viene  
5 acquisito ed inviato all'elaboratore 300.

L'elaboratore 300 elabora tali segnali di flessione Va, Vb, Vc, Vd calcolando la rispettiva variazione massima 301, 302, 303, 304 di ciascun supporto flessibile 102a, 102b, 102c, 102d. Per esempio, l'elaboratore 300 moltiplica ciascun segnale  
10 di flessione Va, Vb, Vc, Vd per una costante moltiplicativa pre-definita.

L'elaboratore 300 successivamente, elabora, in funzione di ciascuna variazione massima 301, 302, 303, 304 una stima della variazione di pressione 400. Per esempio, l'elaboratore 300 utilizza la seguente equazione per ricavare la variazione di pressione a partire da almeno un segnale di flessione V:

15

$$y_{MAX} = \frac{\Delta p * W}{8EI} L^4 = \frac{3}{2} \left( \frac{\Delta p}{E} \right) \frac{L^4}{T^3}$$

dove  $y_{MAX}$  è la variazione massima associata ad un supporto flessibile,  $\Delta p$  è la variazione di pressione, W è la larghezza di tale supporto flessibile, L è la lunghezza  
20 di tale supporto flessibile, T è lo spessore di tale supporto flessibile, E è il modulo di Young del materiale in cui è realizzato tale supporto flessibile, I è il momento di inerzia di tale supporto flessibile.

Infine, l'elaboratore 300, preferibilmente, calcola il valore della portata della condotta alla quale il sensore di pressione 100 è collegato utilizzando il fenomeno  
25 del colpo d'ariete in funzione di tale variazione di pressione 400 e del diametro della condotta monitorata.

Vantaggiosamente, la presenza di una pluralità di supporti flessibili permette di discriminare fenomeni che causano variazioni di pressione di intensità diverse tra loro.

30 Secondo un'ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione, come mostrato in Figura 10, il sensore di pressione 100 preferibilmente comprende una

pluralità di supporti flessibili di alimentazione 102'.

Ciascun supporto flessibile di alimentazione 102' è associato ad un rispettivo elemento piezoelettrico di alimentazione 110'. Preferibilmente, ciascun elemento piezoelettrico di alimentazione 110' è fissato ad un rispettivo supporto flessibile di  
5 alimentazione 102' ed è atto a generare una rispettiva tensione di alimentazione in funzione della deformazione di un rispettivo supporto flessibile di alimentazione 110'. Preferibilmente, l'elemento piezoelettrico di alimentazione 110' comprende un materiale piezoelettrico ceramico, per esempio PZT.

Preferibilmente ciascun supporto flessibile di alimentazione 102' ha dimensioni  
10 maggiori o uguali al supporto flessibile 102a, 102b, 102c, ..., 102i avente dimensioni maggiori.

Preferibilmente, ciascun supporto flessibile di alimentazione 102' si estende nella medesima direzione e parallelamente rispetto alla pluralità di supporti flessibili 102.

Quando una variazione di pressione flette la pluralità di supporti flessibili di  
15 alimentazione 102', ciascun elemento piezoelettrico di alimentazione 110' genera una tensione di alimentazione che è utilizzata per alimentare il dispositivo di monitoraggio 200.

La presente invenzione presenta importanti vantaggi:

- il dispositivo di monitoraggio 200 è adatto ad essere impiegato per il  
20 monitoraggio in tempo reale di una condotta contenendo al contempo i costi di gestione;
- il dispositivo di monitoraggio 200 non richiede particolari interventi di manutenzione per garantirne il funzionamento.
- Il dispositivo di monitoraggio 200 può elaborare parametri fisici caratteristici  
25 del flusso (per esempio la pressione e/o la portata) a partire da un'unica misura (segnale di flessione V);

## RIVENDICAZIONI

1. Un sensore di pressione (100) comprendente:
  - 5 - una base (101) sostanzialmente piatta;
  - una pluralità di supporti flessibili (102a, 102b, 102c, ..., 102i), estendentisi da detta base (101);
  - una pluralità di elementi piezoelettrici (110a, 110b, 110c, ..., 110i), ciascun  
10 elemento piezoelettrico (110a, 110b, 110c, ..., 110i) essendo fissato ad un  
rispettivo supporto flessibile (102a, 102b, 102c, ..., 102i) e atto a generare  
un rispettivo segnale di flessione ( $V_a$ ,  $V_b$ ,  $V_c$ , ...,  $V_i$ ) in funzione della  
deformazione di detto rispettivo supporto flessibile (102a, 102b, 102c, ...,  
102i);  
in cui ciascun supporto flessibile (102a, 102b, 102c, ..., 102i) presenta  
15 dimensioni differenti rispetto ad almeno un altro supporto flessibile (102a, 102b,  
102c, ..., 102i).
2. Il sensore di pressione (100) secondo la rivendicazione precedente in cui  
ciascun elemento piezoelettrico (110a, 110b, 110c, ..., 110i) comprende due  
20 piezoresistenze (111, 112) posizionate su detto rispettivo elemento flessibile  
(102a, 102b, 102c, ..., 102i).
3. Il sensore di pressione (100) secondo la rivendicazione 2 in cui dette  
piezoresistenze (111, 112) sono collegate in una configurazione a mezzo-ponte  
25 di Wheatstone con almeno due resistenze (113, 114) posizionate su detta base  
(101).
4. Il sensore di pressione (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni  
precedenti in cui detti supporti flessibili (102a, 102b, 102c, ..., 102i) si  
30 estendono da un medesimo lato di detta base (101), preferibilmente secondo  
direzioni tra loro sostanzialmente parallele.
5. Il sensore di pressione (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni

precedenti in cui ciascuno di detti supporti flessibili (102a, 102b, 102c, ..., 102i) presenta conformazione in pianta sostanzialmente rettangolare, presentante lato maggiore compreso tra 100  $\mu\text{m}$  e 500  $\mu\text{m}$ , e lato minore compreso tra 50  $\mu\text{m}$  e 300  $\mu\text{m}$ .

5

6. Il sensore di pressione (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti in cui detto sensore di pressione (100) comprende inoltre:

- una pluralità di supporti flessibili di alimentazione (102');

10

- una pluralità di elementi piezoelettrici di alimentazione (110'), ciascun elemento piezoelettrico di alimentazione (110') essendo fissato ad un rispettivo supporto flessibile di alimentazione (102') e atto a generare una rispettiva tensione di alimentazione in funzione della deformazione di detto rispettivo supporto flessibile di alimentazione (102').

15

7. Un dispositivo di monitoraggio (200) comprendente:

- un sensore di pressione (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti;

20

- una scheda elettronica (150) configurata per acquisire un segnale di flessione (V) proveniente da detto sensore di pressione (100) e per generare, in funzione di detto segnale di flessione (V), un segnale di uscita rappresentativo di una pressione rilevata da detto sensore di pressione (100).

- un elaboratore (300) configurato per leggere detto segnale di uscita rappresentativo di una pressione e calcolare un valore di pressione (P) e/o un valore di portata.

25

8. Il dispositivo di monitoraggio secondo la rivendicazione 7, in cui detto sensore di pressione (200) è alloggiato all'interno di una camera stagna contenente un volume d'aria noto; detta camera stagna essendo dotata di un elemento di separazione atto ad impegnare una condotta in cui scorre un liquido; detto elemento di separazione essendo adatto a trasferire un'onda di pressione da una regione esterna a detta camera ad una regione interna a detta camera.

30

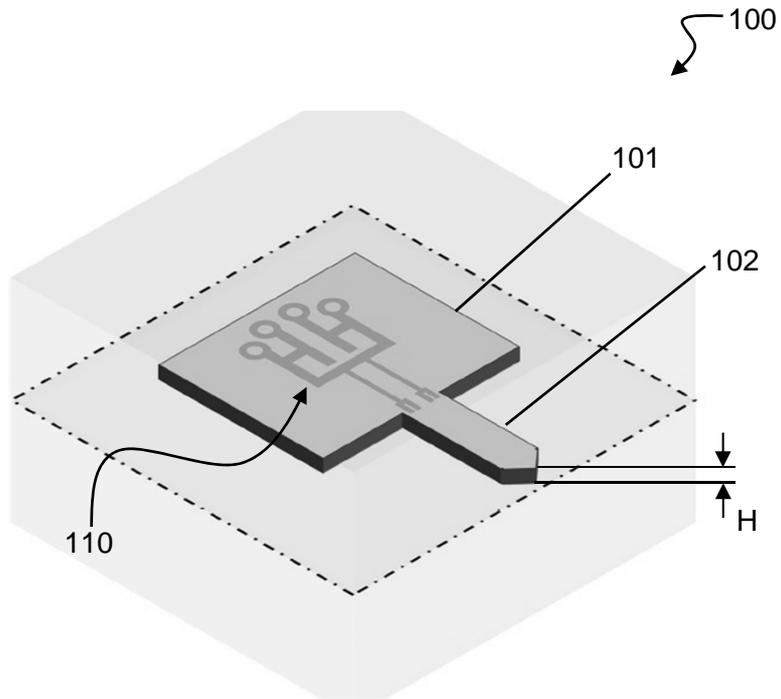


FIG. 1a

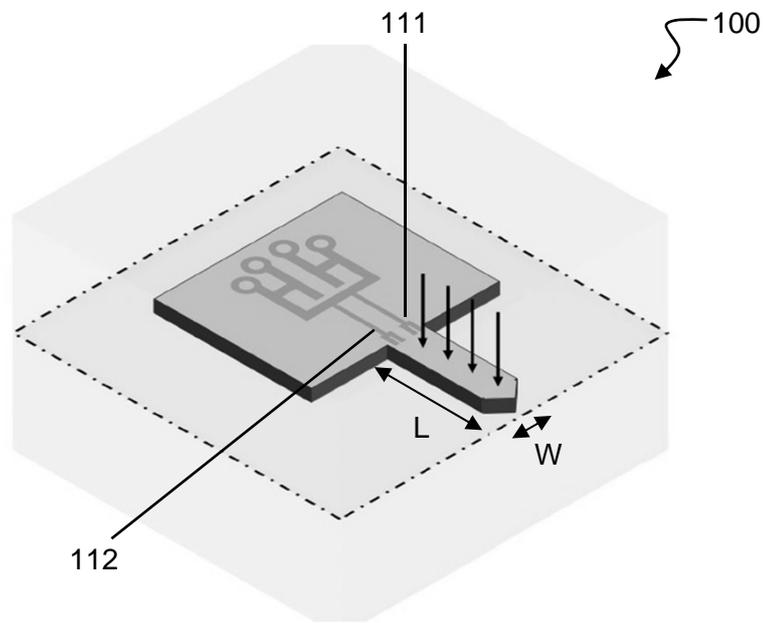


FIG. 1b

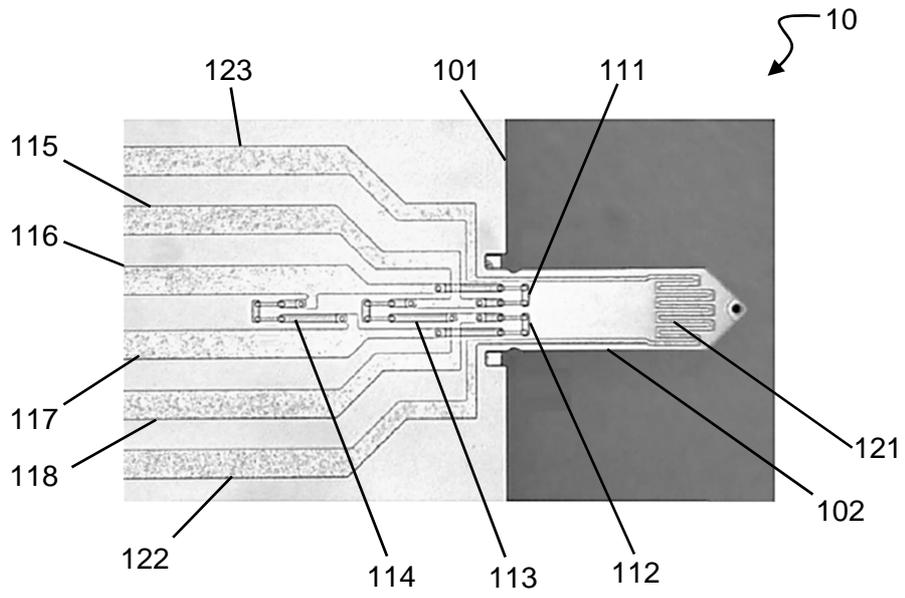


FIG. 2

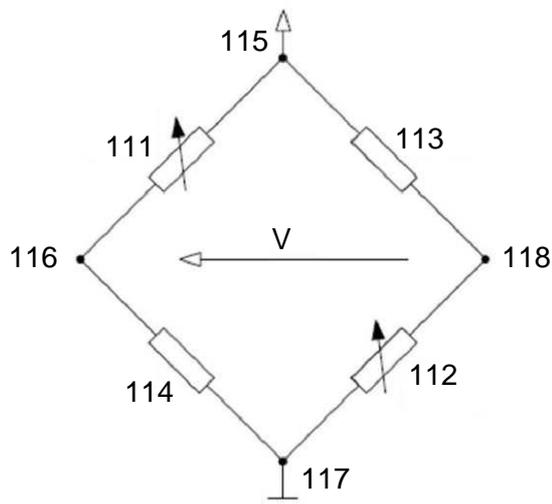


FIG. 3

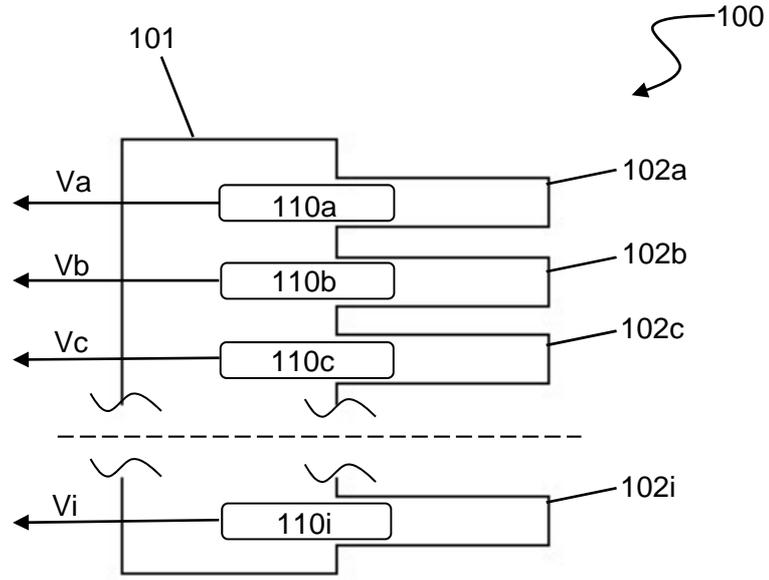


FIG. 4

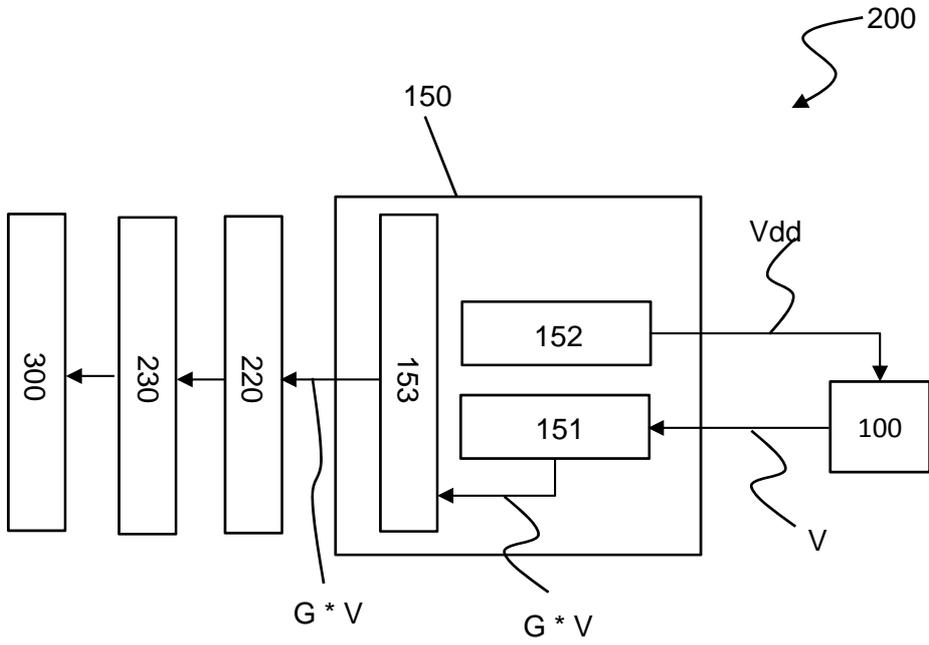


FIG. 5

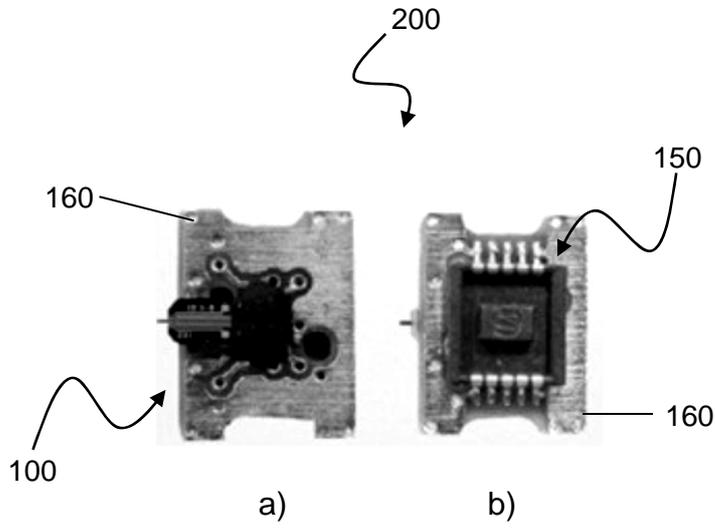


FIG. 6

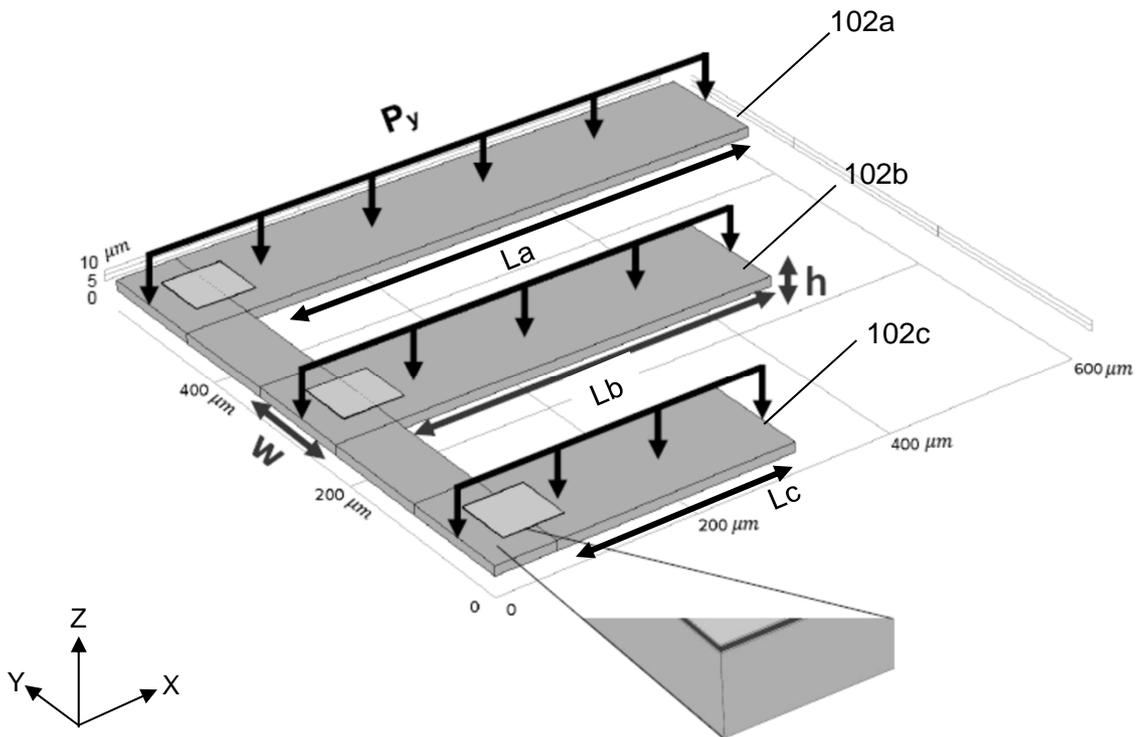


FIG. 7

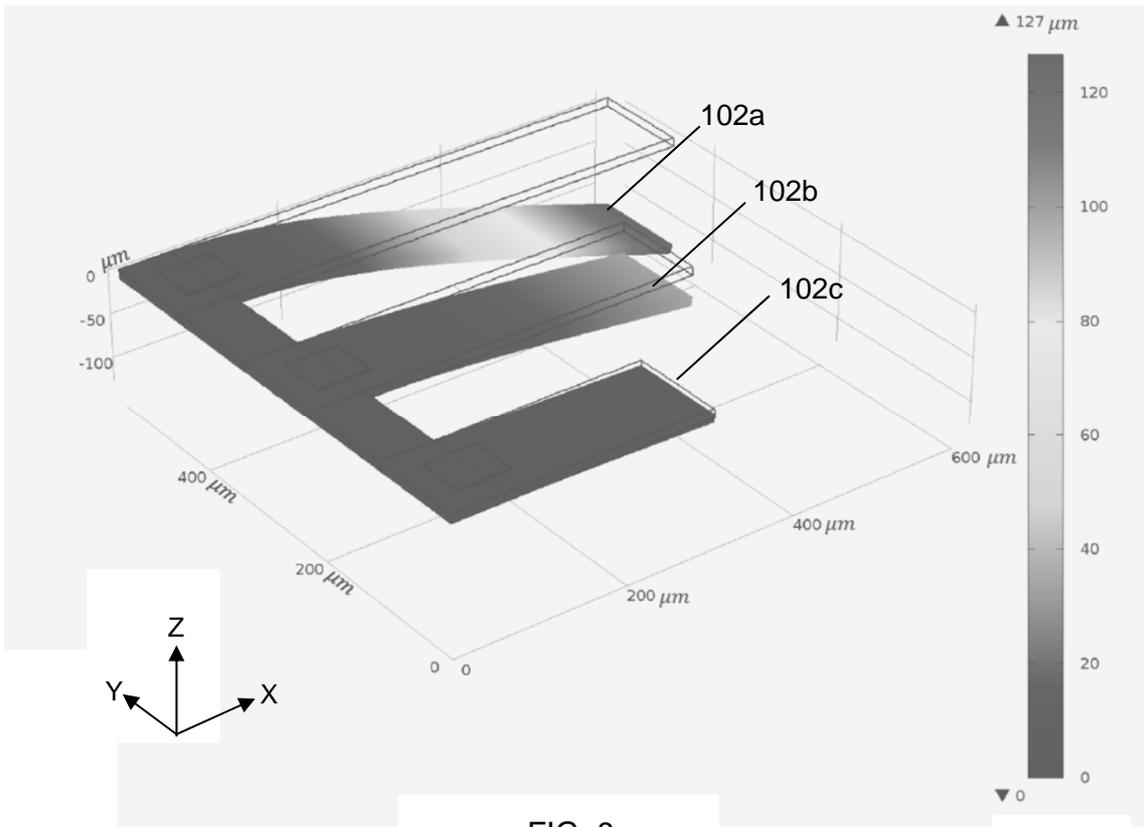


FIG. 8

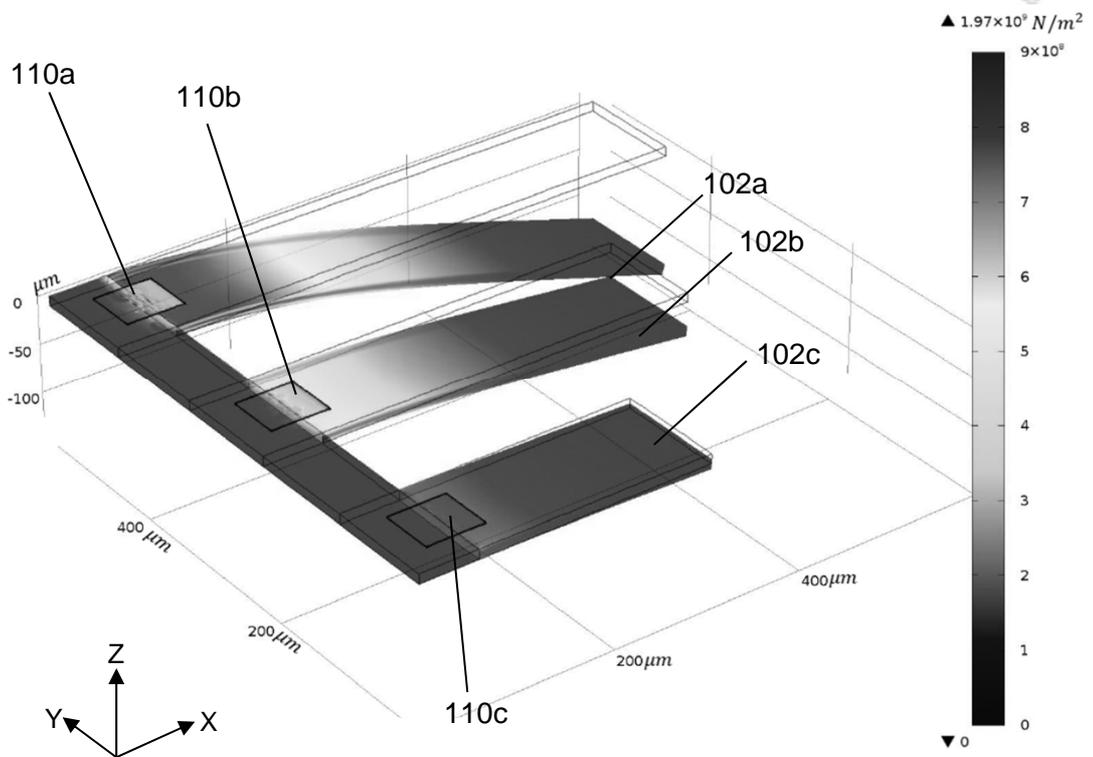


FIG. 9

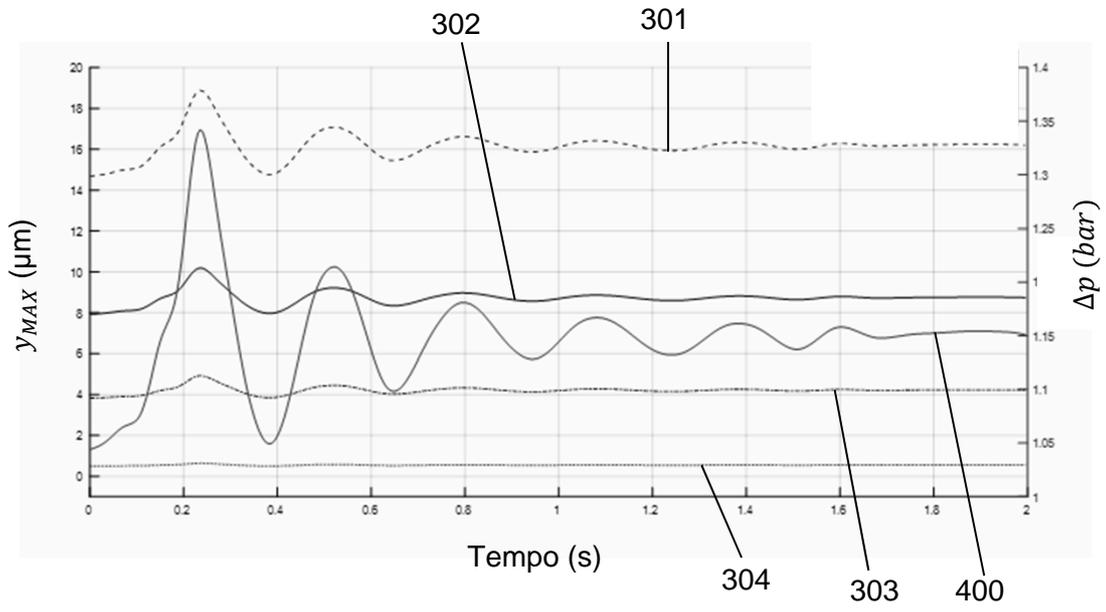


FIG. 10

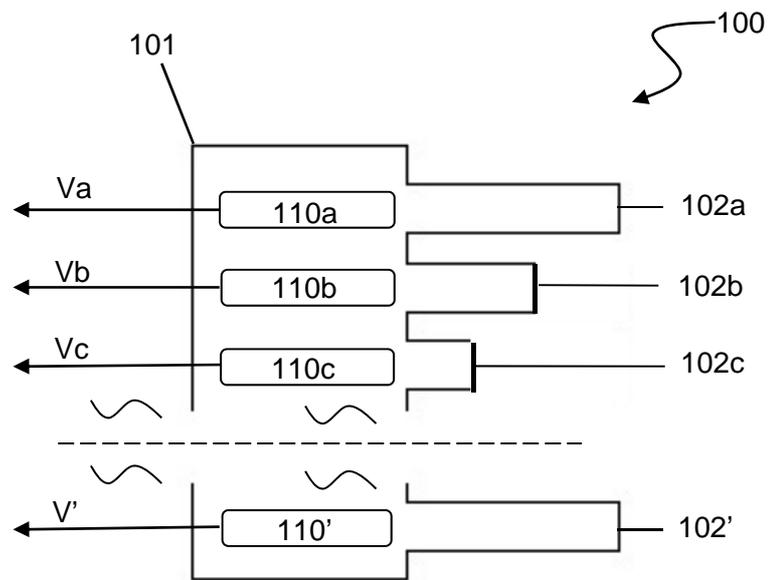


FIG. 11