

| | |
|-------------------------------------|------------------------|
| DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO | 102022000011279 |
| Data Deposito | 27/05/2022 |
| Data Pubblicazione | 27/11/2023 |

Classifiche IPC

| Sezione | Classe | Sottoclasse | Gruppo | Sottogruppo |
|---------|--------|-------------|--------|-------------|
| B | 06 | B | 1 | 06 |

| Sezione | Classe | Sottoclasse | Gruppo | Sottogruppo |
|---------|--------|-------------|--------|-------------|
| G | 01 | H | 11 | 08 |

| Sezione | Classe | Sottoclasse | Gruppo | Sottogruppo |
|---------|--------|-------------|--------|-------------|
| G | 01 | N | 29 | 02 |

| Sezione | Classe | Sottoclasse | Gruppo | Sottogruppo |
|---------|--------|-------------|--------|-------------|
| G | 01 | N | 29 | 24 |

Titolo

TRASDUTTORE DI PRESSIONE MICROLAVORATO PIEZOELETTRICO CON ELEVATA SENSIBILITA' E RELATIVO PROCESSO DI FABBRICAZIONE

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"TRASDUTTORE DI PRESSIONE MICROLAVORATO PIEZOELETTRICO CON
ELEVATA SENSIBILITA' E RELATIVO PROCESSO DI FABBRICAZIONE"

5 di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA C. OLIVETTI 2

20864 AGRATE BRIANZA (MB)

Inventori: GIUSTI Domenico, QUAGLIA Fabio, FERRERA Marco

10

* * *

La presente invenzione è relativa ad un trasduttore di
pressione microlavorato piezoelettrico avente elevata
sensibilità, nonché al corrispondente processo di
fabbricazione.

15

Come è noto, sono oggigiorno disponibili numerosi
trasduttori di pressione, quali ad esempio i cosiddetti
trasduttori ultrasonici microlavorati piezoelettrici
("piezoelectric micromachined ultrasonic transducers",
PMUT), i quali sono dispositivi della categoria dei sistemi
20 microelettromeccanici ("micro-electro-mechanical systems",
MEMS) che consentono di trasdurre un segnale di pressione,
quale ad esempio un segnale acustico, in un segnale
elettrico, e viceversa. Inoltre, è noto come tipicamente i
trasduttori PMUT includano strutture piezoelettriche di
25 attuazione ("actuation"), le quali a loro volta includono

regioni di materiale piezoelettrico; tipicamente, tale materiale piezoelettrico è il cosiddetto PZT.

Per quanto concerne il PZT, è noto che, assumendo una regione di PZT avente forma di parallelepipedo ed un sistema di riferimento ortogonale XYZ, il valore del cosiddetto
5 parametro d_{31} correla l'entità dell'accorciamento lungo X della regione di PZT con l'entità del campo elettrico lungo Z. Il valore del parametro d_{31} del PZT è circa dieci volte superiore ai valori di altri possibili materiali
10 piezoelettrici, quale ad esempio il nitrato di alluminio AlN. Per tale motivo, il PZT risulta particolarmente adatto al caso in cui il trasduttore PMUT funga principalmente da trasduttore di un segnale elettrico in un segnale acustico, cioè funzioni come una sorgente acustica. Tuttavia, il PZT
15 si caratterizza anche per un valore particolarmente elevato dell'elemento ϵ_{33} del tensore della permittività elettrica; ciò significa che ciascuna struttura di attuazione formata da PZT presenta un'elevata capacità elettrica. Conseguentemente, quando il trasduttore PMUT viene impiegato
20 in ricezione, cioè per trasdurre un segnale acustico in un segnale elettrico, si verifica che, a parità di stress meccanico indotto dal segnale acustico, la struttura di attuazione genera una tensione inferiore rispetto a quanto potrebbe avvenire nel caso di impiego di un materiale
25 piezoelettrico avente un valore inferiore dell'elemento ϵ_{33} .

In pratica, i trasduttori PMUT includenti strutture di attuazione formate da PZT risultano poco sensibili quando impiegati, ad esempio, come sensori di pressione. Più in generale, indipendentemente dal tipo di materiale piezoelettrico, è sentita l'esigenza di disporre di trasduttori di pressione che abbiano una buona sensibilità in fase di ricezione, senza compromettere l'efficacia in fase di trasmissione.

Scopo della presente invenzione è quindi fornire una soluzione che consenta di soddisfare almeno in parte tale esigenza.

Secondo la presente invenzione vengono realizzati un trasduttore di pressione ed un processo di fabbricazione, come definiti nelle rivendicazioni allegate.

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

- la figura 1 mostra in modo schematico una vista prospettica di una schiera di dispositivi trasduttori;

- la figura 2 mostra in modo schematico una vista prospettica di un dispositivo trasduttore;

- la figura 3 mostra in modo schematico una vista prospettica di una sezione del dispositivo trasduttore mostrato in figura 2, presa lungo una linea di sezione III-

III;

- la figura 4 mostra in modo schematico una vista prospettica ingrandita di una porzione del dispositivo trasduttore mostrato in figura 3;

5 - le figure 5A-5B mostrano schematicamente viste prospettiche semplificate del dispositivo trasduttore mostrato in figura 2, in differenti condizioni operative;

- la figura 6 mostra uno schema meccanico equivalente del dispositivo trasduttore mostrato in figura 2, in
10 condizioni di riposo (parte in alto) ed in una condizione diversa dalle condizioni di riposo (parte in basso);

- la figura 7 mostra andamenti nel tempo di segnali elettrici;

- la figura 8 mostra schematicamente una vista
15 dall'alto di una variante del dispositivo trasduttore;

- le figure 9-11 e 14-15 mostrano schematicamente sezioni di un dispositivo trasduttore durante corrispondenti fasi di un processo di fabbricazione, riferite ad una medesima linea di sezione W-W, indicata in figura 2;

20 - la figura 12 mostra schematicamente una porzione di una sezione del dispositivo trasduttore durante una corrispondente fase del processo di fabbricazione, riferita ad una linea di sezione K-K, indicata in figura 2; e

- la figura 13 mostra schematicamente una vista
25 prospettica di una porzione di una sezione del dispositivo

trasduttore durante una corrispondente fase del processo di fabbricazione, riferita alla linea di sezione K-K.

La figura 1 mostra una schiera 1 di dispositivi trasduttori 2, i quali sono uguali tra loro, sono formati in modo integrato in un medesimo corpo semiconduttore 4 (formato ad esempio da silicio) di una piastrina ("die) 11 e sono disposti secondo uno schema a matrice. In figura 1 è altresì mostrato un sistema di riferimento ortogonale XYZ.

In particolare, il corpo semiconduttore 4 forma un corpo fisso 5, il quale è delimitato superiormente ed inferiormente da, rispettivamente, una superficie superiore S_t ed una superficie inferiore S_b (visibili in figura 2), le quali sono parallele al piano XY, ed è condiviso tra i dispositivi trasduttori 2.

In aggiunta, per ciascun dispositivo trasduttore 2, il corpo fisso 5 delimita lateralmente una corrispondente cavità 7, alla quale nel seguito ci si riferisce come alla cavità principale 7. La cavità principale 7, visibile in figura 3, è aperta inferiormente e si affaccia sulla superficie inferiore S_b ; inoltre, senza alcuna perdita di generalità, la cavità principale 7 è delimitata da una parete laterale 35, formata del corpo fisso 5 ed avente forma (ad esempio) cilindrica. In aggiunta, ciascun dispositivo trasduttore 2 comprende una corrispondente struttura di trasduzione 6, la quale è sospesa al di sopra della

corrispondente cavità principale 7, come descritto in maggior dettaglio in seguito. A tal proposito, dal momento che i dispositivi trasduttori 2 sono uguali tra loro, nel seguito viene descritto solo uno di essi, mostrato ad esempio
5 nelle figure 2 e 3.

In dettaglio, la struttura di trasduzione 6 comprende una regione mobile 8, formata da materiale semiconduttore (ad esempio, silicio), e tre strutture deformabili, indicate con 10.

10 Le strutture deformabili 10 sono uguali tra loro e sono disposte in modo simmetrico rispetto ad un asse di simmetria H parallelo all'asse Z. In aggiunta, le strutture deformabili 10 hanno forme allungate lungo rispettive direzioni di allungamento, le quali sono disposte in maniera tale per cui
15 coppie di direzioni di allungamento adiacenti sono distanziate angularmente di 120° . In altre parole, e senza alcuna perdita di generalità, le direzioni di allungamento sono direzioni radiali.

Ciascuna struttura deformabile 10 comprende una
20 rispettiva struttura piezoelettrica esterna 12 ed una rispettiva struttura piezoelettrica interna 14, le quali sono strutture di trasduzione piezoelettriche, ed una rispettiva struttura di supporto 15. In condizioni di riposo, le strutture di supporto 15 giacciono in un medesimo piano
25 parallelo al piano XY. Nel seguito, per brevità si descrive

una sola struttura deformabile 10.

In dettaglio, la struttura di supporto 15 comprende una trave ("beam") superiore 20 ed una trave inferiore 22, le quali, senza alcuna perdita di generalità, in condizioni di
5 riposo sono uguali tra loro ed hanno la forma di parallelepipedi con assi longitudinali paralleli alla direzione di allungamento della struttura deformabile 10.

La trave superiore 20 è verticalmente (cioè, parallelamente all'asse Z) sovrapposta, a distanza, alla
10 trave inferiore 22. Inoltre, sia la trave superiore 20 sia la trave inferiore 22 hanno una rispettiva prima estremità, la quale è solidale con il corpo fisso 5, ed in particolare con la parete laterale 35, ed una rispettiva seconda estremità, la quale è solidale con la regione mobile 8. In
15 condizioni di riposo, le travi superiori 20 giacciono in un rispettivo piano parallelo al piano XY; le travi inferiori 22 giacciono in un rispettivo piano parallelo al piano XY.

Inoltre, la trave superiore 20 e la trave inferiore 22 delimitano, rispettivamente superiormente ed inferiormente,
20 una cavità 23, alla quale nel seguito ci si riferisce come alla cavità secondaria 23. In condizioni di riposo, la cavità secondaria 23 ha approssimativamente forma di parallelepipedo e, come spiegato in seguito, è aperta lateralmente.

25 A proposito della regione mobile 8, essa ha forma

planare ed è delimitata superiormente da una prima superficie S_1 , la quale in condizioni di riposo è complanare con la superficie superiore S_t del corpo fisso 5. Inoltre, la regione mobile 8 è delimitata inferiormente da una seconda superficie S_2 , la quale è parallela al piano XY e si affaccia sulla sottostante cavità principale 7.

In condizioni di riposo la regione mobile 8 ed il corpo fisso 5 delimitano lateralmente tre cavità a trincea 29, le quali, senza alcuna perdita di generalità, sono uguali tra loro e si estendono verticalmente per l'intero spessore della regione mobile 8, in modo da affacciarsi sulla prima e sulla seconda superficie S_1 , S_2 . Le cavità a trincea 29 sono quindi aperte inferiormente e superiormente; in particolare, in condizioni di riposo, le cavità a trincea 29 si affacciano inferiormente su corrispondenti porzioni della cavità principale 7.

In maggior dettaglio, considerando una qualsiasi cavità a trincea 29, essa comprende una rispettiva porzione periferica 30A ed una prima ed una seconda porzione lineare 30B, 30C, tra loro comunicanti. La porzione periferica 30A ha approssimativamente la forma di una porzione di circonferenza, mentre la prima e la seconda porzione lineare 30B, 30C hanno forma di segmenti, sono parallele a rispettive direzioni radiali e si estendono a partire da corrispondenti estremità della porzione periferica 30A; a titolo puramente

esemplificativo, la prima porzione lineare 30B è disposta in
senso antiorario rispetto alla seconda porzione lineare 30C.
In pratica, la porzione periferica 30A e la prima e la
seconda porzione lineare 30B, 30C delimitano lateralmente
5 una parte della regione mobile 8 che ha approssimativamente
la forma di un corrispondente settore circolare, in vista
dall'alto. Inoltre, considerata una qualsiasi coppia formata
da una prima ed una seconda cavità a trincea 29, la seconda
cavità a trincea 29 essendo disposta ad esempio in senso
10 antiorario rispetto alla prima cavità a trincea 29, si
verifica che la prima porzione lineare 30B della prima cavità
a trincea 29 si estende tra la regione mobile 8 ed un primo
lato di una corrispondente struttura di supporto 15, mentre
la seconda porzione lineare 30C della seconda cavità a
15 trincea 29 si estende tra la regione mobile 8 ed un secondo
lato di tale corrispondente struttura di supporto 15;
inoltre, le summenzionate prima e seconda porzione lineare
30B, 30C sono parallele alla direzione di allungamento della
struttura deformabile 10 a cui appartiene la summenzionata
20 struttura di supporto 15. In aggiunta, la trave superiore 20
e la trave inferiore 22 della struttura di supporto 15
delimitano lateralmente le summenzionate prima e seconda
porzione lineare 30B, 30C, le quali si estendono su lati
opposti della struttura di supporto 15 e comunicano
25 lateralmente con la corrispondente cavità di struttura 23,

la quale, come detto in precedenza, è aperta lateralmente su entrambi i lati.

Nuovamente con riferimento a una qualsiasi struttura deformabile 10, la rispettiva struttura piezoelettrica esterna 12 si estende in parte al di sopra della prima
5 estremità della trave superiore 20 della sottostante struttura di supporto 15 ed in parte al di sopra della porzione di corpo fisso 5 solidale con la prima estremità di tale trave superiore 20. La rispettiva struttura
10 piezoelettrica interna 14 è lateralmente sfalsata, lungo la direzione di allungamento della struttura deformabile 10, rispetto alla struttura piezoelettrica esterna 12; inoltre, la struttura piezoelettrica interna 14 si estende in parte al di sopra della seconda estremità della trave superiore 20
15 della sottostante struttura di supporto 15 ed in parte al di sopra della porzione di regione mobile 8 solidale con la seconda estremità di tale trave superiore 20.

Senza alcuna perdita di generalità, la struttura piezoelettrica interna 14 e la struttura piezoelettrica
20 esterna 12 possono essere uguali tra loro. Inoltre, come mostrato in figura 4 con riferimento alla struttura piezoelettrica interna 14 (ma uguali considerazioni si applicano anche alla struttura piezoelettrica esterna 12), la struttura piezoelettrica interna 14 può comprendere una
25 pila ("stack") di regioni, la quale include: una regione

dielettrica 31 di forma planare, formata ad esempio da ossido di silicio e disposta sulla prima superficie S_1 ; una regione di elettrodo inferiore 32 di forma planare, formata ad esempio da platino e disposta sulla regione dielettrica 31, in contatto diretto; una regione piezoelettrica 34 di forma planare, formata ad esempio da PZT e disposta sulla regione di elettrodo inferiore 32, con cui è in contatto diretto; una regione di elettrodo superiore 36 di forma planare, formata ad esempio da platino (oppure ad esempio da TiW o IrO₂) e disposta sulla regione piezoelettrica 34, con cui è in contatto diretto; e una regione di passivazione 38 di forma planare, formata ad esempio da nitruro di silicio (SiN) e disposta sulla regione di elettrodo superiore 36, con cui è in contatto diretto.

In modo di per sé noto, la regione di elettrodo inferiore 32 e la regione di elettrodo superiore 36 possono essere messe in contatto elettrico (ad esempio, tramite corrispondenti piazzole) con una circuiteria esterna (non mostrata e formata ad esempio una piastrina semiconduttiva diversa dalla piastrina semiconduttiva 11) atta ad applicare una tensione tra la regione di elettrodo inferiore 32 e la regione di elettrodo superiore 36, in modo da comandare il dispositivo trasduttore 2 in trasmissione, e/o a ricevere ed elaborare la tensione che si stabilisce tra la regione di elettrodo inferiore 32 e la regione di elettrodo superiore

36 in presenza di deformazioni della struttura deformabile
10 causate da un segnale acustico, nel caso in cui il
dispositivo trasduttore 2 venga comandato in ricezione, come
spiegato in seguito.

5 In maggior dettaglio, la regione piezoelettrica 34 ha
uno spessore ad esempio inferiore a $5\mu\text{m}$, cioè forma un
cosiddetto film sottile ("thin film") di PZT. Inoltre, in
modo di per sé noto, quando soggetta a tensione (più
precisamente, a un campo elettrico), la regione
10 piezoelettrica 34 si accorcia lungo la direzione di
allungamento della corrispondente struttura deformabile 10,
rispetto alla situazione in cui non è soggetta a tensione;
tale accorciamento induce una tensione meccanica ed una
corrispondente deformazione della struttura piezoelettrica
15 interna 14, e quindi anche della corrispondente struttura
deformabile 10, come descritto qui di seguito; uguali
considerazioni si applicano al caso in cui la regione
piezoelettrica appartenga a una struttura piezoelettrica
esterna 12.

20 In dettaglio, quando viene applicata una tensione alle
strutture piezoelettriche interne 14, e cioè quando viene
applicata una tensione tra le regioni di elettrodo inferiore
32 e le regioni di elettrodo superiore 36 delle strutture
piezoelettriche interne 14, e nell'ipotesi di non applicare
25 tensione alle strutture piezoelettriche esterne 12, la

deformazione di ciascuna struttura piezoelettrica interna 14
fa sì che la trave superiore 20 e la trave inferiore 22 della
sottostante struttura di supporto 15 flettano verso il basso,
in maniera tale per cui le seconde estremità della trave
5 superiore 20 e della trave inferiore 22 si abbassano,
parallelamente all'asse Z, rispetto a quanto avviene in
condizioni di riposo.

L'abbassamento delle seconde estremità delle travi
superiori 20 e delle travi inferiori 22 delle strutture di
10 supporto 15 delle strutture deformabili 10 causa una
traslazione verso il basso, lungo l'asse di simmetria H,
della regione mobile 8, come mostrato in figura 5A, in cui
per semplicità non sono mostrate le cavità secondarie 23.

Similmente, quando viene applicata una tensione alle
15 strutture piezoelettriche esterne 12, e nell'ipotesi di non
applicare tensione alle strutture piezoelettriche interne
14, la deformazione di ciascuna struttura piezoelettrica
esterna 12 fa sì che la trave superiore 20 e la trave
inferiore 22 della sottostante struttura di supporto 15
20 flettano verso l'alto, in maniera tale per cui le seconde
estremità della trave superiore 20 e della trave inferiore
22 si innalzano, parallelamente all'asse Z, rispetto a quanto
avviene in condizioni di riposo.

L'innalzamento delle seconde estremità delle travi
25 superiori 20 e delle travi inferiori 22 delle strutture di

supporto 15 delle strutture deformabili 10 causa una corrispondente traslazione verso l'alto, lungo l'asse di simmetria H, della regione mobile 8, come mostrato in figura 5B.

5 Sia nel caso di traslazione verso l'alto, sia nel caso di traslazione verso il basso, in prima approssimazione la regione mobile 8 non subisce alcuna rotazione.

 In maggior dettaglio, sia nel caso mostrato in figura 5A, sia nel caso mostrato in figura 5B, la regione mobile 8
10 subisce una traslazione parallela all'asse Z rispetto alle condizioni di riposo. In altre parole, la regione mobile 8 si muove come un pistone, come schematizzato in figura 6, in cui la parte in alto si riferisce alle condizioni di riposo, mentre la parte in basso si riferisce al caso di traslazione
15 verso l'alto della regione mobile 8 (per semplicità, lo schema di figura 6 mostra solo due strutture di supporto 15). Ciò è dovuto al fatto che ciascuna struttura di supporto 15 comprende una coppia di travi; in tal modo, la regione mobile 8 è vincolata a traslare parallelamente all'asse Z,
20 senza subire rotazioni né deformazioni.

 Operativamente, è quindi possibile comandare le strutture piezoelettriche esterne 12 e le strutture piezoelettriche interne 14 in modo da far oscillare la regione mobile 8 attorno alla posizione di riposo, in modo
25 che tale oscillazione generi un segnale acustico. Ad esempio,

è possibile applicare alle strutture piezoelettriche esterne 12 e alle strutture piezoelettriche interne 14 una prima e, rispettivamente, una seconda serie di impulsi unipolari di tensione, ciascun impulso avendo ad esempio una forma sinusoidale, la prima e la seconda serie di impulsi avendo periodo T ed essendo temporalmente sfasate di T/2, come mostrato in figura 7.

Il movimento a pistone della regione mobile 8 si verifica anche quando il dispositivo trasduttore 2 è usato in ricezione, cioè quando il dispositivo trasduttore 2 viene usato per trasdurre un segnale di pressione (ad esempio, un segnale acustico) che incide sul dispositivo trasduttore 2 in corrispondenti segnali elettrici, i quali vengono generati dalle strutture piezoelettriche esterne 12 e dalle strutture piezoelettriche interne 14 in seguito alle deformazioni delle rispettive strutture di supporto 15 (in particolare, delle rispettive travi superiori 20) indotte dalla traslazione della regione mobile 8, tale traslazione essendo appunto causata dal segnale acustico.

Più precisamente, grazie a meccanismo di vincolo descritto, il segnale acustico causa, indipendentemente dalla direzione di provenienza, un'oscillazione della regione mobile 8 lungo l'asse di simmetria H, attorno alla posizione assunta in condizioni di riposo. Il meccanismo di traslazione a pistone della regione mobile 8 consente di

contenere le dimensioni delle regioni piezoelettriche 34, e quindi il valore di capacità delle corrispondenti strutture piezoelettriche, dal momento che ottimizza lo scambio di energia tra il segnale acustico e la regione mobile 8, e
5 conseguentemente massimizza la deformazione delle regioni piezoelettriche, incrementando la sensibilità. Infatti, a differenza di quanto avviene ad esempio nel caso (noto) in cui le strutture piezoelettriche sono accoppiate ad una membrana sospesa, non esistono porzioni della regione mobile
10 8 che mantengono, in presenza del segnale acustico, la posizione assunta in condizioni di riposo. Al contrario, se le strutture piezoelettriche vengono accoppiate ad una membrana sospesa, ed a parità di area delle regioni piezoelettriche, la sensibilità è limitata dal fatto che, in
15 presenza del segnale acustico, solo la porzione centrale della membrana subisce una deformazione, mentre la porzione periferica non subisce alcuna deformazione, in quanto fissata al corpo fisso; in altre parole, la regione piezoelettriche non vengono eccitate meccanicamente in modo
20 efficiente.

Ad esempio, è possibile dimensionare le strutture piezoelettriche esterne 12 e le strutture piezoelettriche interne 14 in modo che ciascuna abbia una capacità pari a circa 2pF. Inoltre, il dispositivo trasduttore 2 può
25 raggiungere valori di sensibilità ("sensitivity")

dell'ordine dei mV per Pascal, molto più elevati rispetto a quanto attualmente ottenibile nel caso di trasduttori in cui le strutture piezoelettriche sono applicate a membrane.

Sono inoltre possibili forme di realizzazione
5 differenti, in cui il numero di strutture deformabili 10 è diverso da tre e/o le strutture deformabili hanno disposizione differente; ad esempio, la figura 8 mostra una forma di realizzazione includente ancora tre strutture deformabili 10, le quali si estendono lungo corrispondenti
10 direzioni di allungamento che sono parallele tra loro. Le forme delle cavità a trincea (qui indicate con 129) si modificano di conseguenza.

Ancora con riferimento al numero di strutture deformabili 10, in generale sono possibili forme di
15 realizzazione (non mostrate) includenti solo due strutture deformabili 10. Inoltre, sono possibili forme di realizzazione (non mostrate) in cui ciascuna struttura di supporto 15 comprende più di due travi.

La schiera 1 di dispositivi trasduttori 2 può essere
20 fabbricata attraverso il processo di fabbricazione descritto qui di seguito, il quale per semplicità si riferisce alle operazioni relative alla fabbricazione di un singolo dispositivo trasduttore 2, del tipo mostrato nelle figure 2-4. Inoltre, le seguenti figure 9-11 e 14-15 si riferiscono
25 alla linea di sezione W-W riportata a titolo esemplificativo

in figura 2.

Inizialmente, come mostrato in figura 9, viene formato il corpo semiconduttore 4, in modo che sia delimitato superiormente da una superficie temporanea S_{temp} ed includa
5 una cavità sepolta principale 107, destinata a formare la cavità principale 7. Il corpo semiconduttore 4 è delimitato inferiormente dalla superficie inferiore S_b .

La cavità sepolta 107 si estende a distanza al di sotto della superficie temporanea S_{temp} , cioè è sovrastata da una
10 corrispondente porzione di corpo semiconduttore 4. Ad esempio, la formazione della cavità sepolta principale 107 può avvenire in modo di per sé noto, e quindi non illustrato in dettaglio, come spiegato in EP 1,577,656, cioè formando inizialmente una pluralità di trincee lateralmente sfalsate
15 in un substrato semiconduttivo e successivamente eseguendo una crescita epitassiale, per chiudere superiormente le trincee, ed infine eseguendo un trattamento termico che causa la migrazione di materiale semiconduttore e la formazione della cavità sepolta principale 107.

20 Successivamente, come mostrato in figura 10, vengono formate cavità sepolte secondaria 123, le quali sono destinate a formare corrispondenti cavità secondarie 23 e sovrastano la cavità sepolta principale 107. A tal fine, può essere eseguito, a partire dalla summenzionata porzione di
25 corpo semiconduttore 4 che sovrasta la cavità sepolta

principale 107, il medesimo metodo impiegato per formare la
cavità sepolta principale 107. Tale fase del processo di
fabbricazione può comportare un aumento di spessore del corpo
semiconduttore 4, il quale, una volta terminata la formazione
5 delle cavità sepolte secondarie 123, è delimitato
superiormente dalla superficie superiore S_t .

In pratica, le cavità sepolte secondarie 123 sono
sostanzialmente uguali tra loro, si estendono ad una medesima
altezza (misurata lungo l'asse Z) rispetto alla sottostante
10 cavità sepolta principale 107, cioè sono complanari, e sono
lateralmente sfalsate. Ciascuna cavità sepolta secondaria
123 è quindi sovrastata da una corrispondente porzione
superiore 120 di corpo semiconduttore 4, la quale si estende
tra la superficie superiore S_t e la sottostante cavità
15 sepolta secondaria 123; inoltre, tra ciascuna cavità sepolta
secondaria 123 e la sottostante cavità sepolta principale
107 si estende una corrispondente porzione del corpo
semiconduttore 4, a cui ci si riferisce come alla porzione
inferiore 122 di corpo semiconduttore 4.

20 In seguito, come mostrato in figura 11, in modo di per
sé noto vengono formate, al di sopra di ciascuna porzione
superiore 120 di corpo semiconduttore 4, una corrispondente
struttura piezoelettrica esterna 12 ed una corrispondente
struttura piezoelettrica interne 14 (mostrate in modo
25 schematico).

Successivamente, viene eseguito un attacco ("etch") (ad esempio, di tipo dry), a partire dalla superficie superiore S_t , in modo da rimuovere selettivamente porzioni di corpo semiconduttore 4 e formare le cavità a trincea 29, e quindi
5 in modo da formare le strutture di supporto 15 e la regione mobile 8.

In particolare, l'effetto di tale attacco è visibile ad esempio nelle figure 12 e 13, le quali si riferiscono alla linea di sezione K-K indicata a titolo esemplificativo in
10 figura 2 e mostrano una porzione di corpo semiconduttore 4 rispettivamente prima e dopo il summenzionato attacco.

In maggior dettaglio, riferendosi alla superficie intermedia S_{107} per indicare la superficie superiore della cavità sepolta principale 107, vengono rimosse porzioni del
15 corpo semiconduttore 4 che si estendono verticalmente tra la superficie superiore S_t del corpo semiconduttore 4 e la superficie intermedia S_{107} , per formare le porzioni periferiche 30A delle cavità a trincea 29; inoltre, per ciascuna cavità sepolta secondaria 123, vengono rimosse
20 parti della corrispondente porzione superiore 120 del corpo semiconduttore 4 che sono lateralmente sfalsate rispetto alla corrispondente struttura piezoelettrica esterna 12 ed alla corrispondente struttura piezoelettrica interna 14, ed sottostanti parti della corrispondente porzione inferiore
25 122 del corpo semiconduttore 4; le parti rimanenti della

porzione superiore 120 e della porzione inferiore 122 del corpo semiconduttore 4 formano rispettivamente la corrispondente trave superiore 20 e la corrispondente trave inferiore 22. Vengono così formate le prime porzioni lineari 5 30B e le seconde porzioni lineari 30C delle cavità a trincea 29, e dunque vengono formate le strutture di supporto 15 e la regione mobile 8. Ciò comporta che ciascuna porzione di cavità sepolta secondaria 123 interposta tra una corrispondente trave superiore 20 ed una corrispondente 10 trave inferiore 20 formi una corrispondente cavità secondaria 23, come mostrato in figura 14, la quale si riferisce nuovamente, come anche la successiva figura 15, alla linea di sezione W-W.

In seguito, come mostrato in figura 15, viene eseguito 15 un attacco (ad esempio, di tipo dry) dal retro, cioè a partire dalla superficie inferiore S_b , in modo da rimuovere porzioni di corpo semiconduttore 4 disposte tra la cavità sepolta principale 107 e la superficie inferiore S_b . In tal modo, la cavità sepolta principale 107 viene aperta 20 inferiormente e forma la cavità principale 7. Il dispositivo trasduttore 2 è quindi formato.

I vantaggi che la presente soluzione consente di ottenere emergono chiaramente dalla descrizione precedente.

In particolare, la presente soluzione consente di 25 adottare regioni piezoelettriche aventi area ridotta, e

quindi ridotta capacità, con conseguente ottimizzazione della sensibilità. Tale soluzione, pur risultando particolarmente utile nel caso in cui le regioni piezoelettriche siano formate da PZT, a causa dell'elevato
5 valore dell'elemento ϵ_{33} , risulta utile anche nel caso in cui il materiale piezoelettrico sia differente, qualora si voglia comunque ottimizzare la sensibilità e contenere le dimensioni del trasduttore.

Risulta infine chiaro che al dispositivo trasduttore ed
10 al processo di fabbricazione qui descritti ed illustrati possono essere apportate modifiche e varianti senza per questo uscire dall'ambito protettivo della presente invenzione, come definito nelle rivendicazioni allegate.

Ad esempio, ciascuna struttura piezoelettrica può
15 comprendere, anziché una singola regione piezoelettrica, uno stack formato da due o più regioni piezoelettriche, intervallate da regioni conduttive intermedie, al fine di aumentare la forza applicata alla regione mobile in fase di trasmissione.

20 Sono inoltre possibili varianti (non mostrate) in cui ciascuna struttura deformabile 10 comprende solo una struttura piezoelettrica; in tal caso, la regione mobile 8 può muoversi solo al di sotto o al di sopra della posizione
25 assunta in condizioni di riposo.

RIVENDICAZIONI

1. Trasduttore di pressione microlavorato comprendente:

- un corpo fisso (5) di materiale semiconduttore, il quale delimita lateralmente una cavità principale (7);

5 - una struttura di trasduzione (6), la quale è sospesa sulla cavità principale (7) e comprende almeno una coppia di strutture deformabili (10) ed una regione mobile (8), la quale è formata da materiale semiconduttore ed è meccanicamente accoppiata al corpo fisso (5) attraverso le
10 strutture deformabili (10);

ed in cui ciascuna struttura deformabile (10) comprende:

- una struttura di supporto (15) di materiale semiconduttore, la quale include una prima ed una seconda
15 trave (20,22), ciascuna delle quali ha estremità fissate rispettivamente al corpo fisso (5) ed alla regione mobile (8), la prima trave (20) essendo sovrapposta, a distanza, alla seconda trave (22); e

- almeno una struttura di trasduzione piezoelettrica
20 (12,14), meccanicamente accoppiata alla prima trave (20);

ed in cui le strutture di trasduzione piezoelettriche (12,14) sono comandabili elettricamente in modo da causare corrispondenti deformazioni delle rispettive strutture di supporto (15) e una conseguente traslazione della regione
25 mobile (8) lungo una direzione di traslazione (H).

2. Trasduttore secondo la rivendicazione 1, in cui, in condizioni di riposo, le prime e le seconde travi (20) si estendono parallelamente ad un piano di riferimento (XY); ed in cui la direzione di traslazione (H) è perpendicolare al piano di riferimento (XY).

3. Trasduttore secondo la rivendicazione 2, in cui la regione mobile (8) ha una forma planare, la quale è parallela al piano di riferimento (XY).

4. Trasduttore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la prima e la seconda trave (20,22) di ciascuna struttura di supporto (15) delimitano superiormente e, rispettivamente, inferiormente una corrispondente cavità secondaria (23), la quale è aperta lateralmente.

5. Trasduttore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui le strutture deformabili (10) sono in numero pari a tre; ed in cui la prima e la seconda trave (20,22) di ciascuna struttura di supporto (15) sono allungate parallelamente ad una corrispondente direzione di allungamento; ed in cui la direzioni di allungamento delle prime e delle seconde travi (20,22) delle strutture deformabili (10) sono angolarmente spaziate di 120° .

6. Trasduttore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui ciascuna struttura

deformabile (10) comprende almeno una tra:

- una rispettiva struttura di trasduzione piezoelettrica esterna (12), la quale sovrasta in parte il corpo fisso (5); e

5 - una rispettiva struttura di trasduzione piezoelettrica interna (14), la quale sovrasta in parte la regione mobile (8).

7. Trasduttore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui ciascuna struttura di trasduzione piezoelettrica (12,14) comprende una rispettiva regione piezoelettrica (34) di PZT.

8. Trasduttore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui le strutture di trasduzione piezoelettriche (12,14) sono inoltre configurate per trasdurre in segnali elettrici le deformazioni delle corrispondenti strutture di supporto (15) causate da traslazioni della regione mobile (8) indotte da un segnale acustico che incide sul trasduttore (2).

9. Schiera di trasduttori (2), comprendente una piastrina semiconduttiva (11) ed una pluralità di trasduttori (2) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, i quali sono integrati nella piastrina semiconduttiva (11).

10. Processo di fabbricazione di un trasduttore di pressione microlavorato, comprendente:

- a partire da un corpo semiconduttore (4), formare una cavità principale (7) circondata lateralmente da un corpo fisso (5) di materiale semiconduttore;

- formare una struttura di trasduzione (6), la quale è
5 sospesa sulla cavità principale (7) e comprende almeno una coppia di strutture deformabili (10) ed una regione mobile (8), la quale è formata di materiale semiconduttore ed è meccanicamente accoppiata al corpo fisso (5) attraverso le strutture deformabili (10);

10 ed in cui formare una struttura di trasduzione (6) comprende, per ciascuna struttura deformabile (10):

- formare una struttura di supporto (15) di materiale semiconduttore, la quale include una prima ed una seconda trave (20,22), ciascuna delle quali ha estremità fissate
15 rispettivamente al corpo fisso (5) ed alla regione mobile (8), la prima trave (20) essendo sovrapposta, a distanza, alla seconda trave (22); e

- formare almeno una struttura di trasduzione piezoelettrica (12,14), meccanicamente accoppiata alla prima
20 trave (20);

ed in cui le strutture di trasduzione piezoelettriche (12,14) sono comandabili elettricamente in modo da causare corrispondenti deformazioni delle rispettive strutture di supporto (15) e una conseguente traslazione della regione
25 mobile (8) lungo una direzione di traslazione (H).

11. Processo di fabbricazione secondo la rivendicazione 10, in cui il corpo semiconduttore (4) è delimitato da una superficie frontale (S_t), detto processo comprendendo inoltre:

5 - formare una cavità sepolta principale (123) nel corpo semiconduttore (4); e

- per ciascuna struttura deformabile (10), formare una corrispondente cavità sepolta secondaria (123), disposta tra la superficie frontale (S_t) del corpo semiconduttore (4) e la cavità sepolta principale (123), in modo che una corrispondente prima porzione (120) di corpo semiconduttore (4) sia interposta tra la superficie frontale (S_t) e la cavità sepolta secondaria (123) ed una corrispondente seconda porzione (122) di corpo semiconduttore (4) sia interposta tra la cavità sepolta secondaria (123) e la cavità sepolta principale (107);

15 - per ciascuna struttura deformabile (10), formare detta almeno una struttura di trasduzione piezoelettrica (12,14) sulla corrispondente prima porzione (120) di corpo semiconduttore (4); e

20 - per ciascuna struttura deformabile (10), rimuovere selettivamente parti delle corrispondenti prima e seconda porzione (120,22) di corpo semiconduttore (4), in modo che le parti rimanenti di dette prima e seconda porzione (120,122) di corpo semiconduttore (4) formino

rispettivamente la corrispondente prima trave (20) e la corrispondente seconda trave (22).

12. Processo di fabbricazione secondo la rivendicazione 11, comprendente inoltre rimuovere selettivamente porzioni
5 di corpo semiconduttore (4) interposte tra la superficie frontale (S_t) e la cavità sepolta principale (107), in modo da formare una trincea (30A) che delimita lateralmente la regione mobile (8).

13. Processo secondo la rivendicazione 11 o 12, in cui
10 il corpo semiconduttore (4) è inoltre delimitato da una superficie posteriore (S_b), detto processo comprendendo inoltre rimuovere selettivamente porzioni del corpo semiconduttore (4) interposte tra la superficie posteriore (S_b) e la cavità sepolta principale (107), in modo da formare
15 la cavità principale (7).

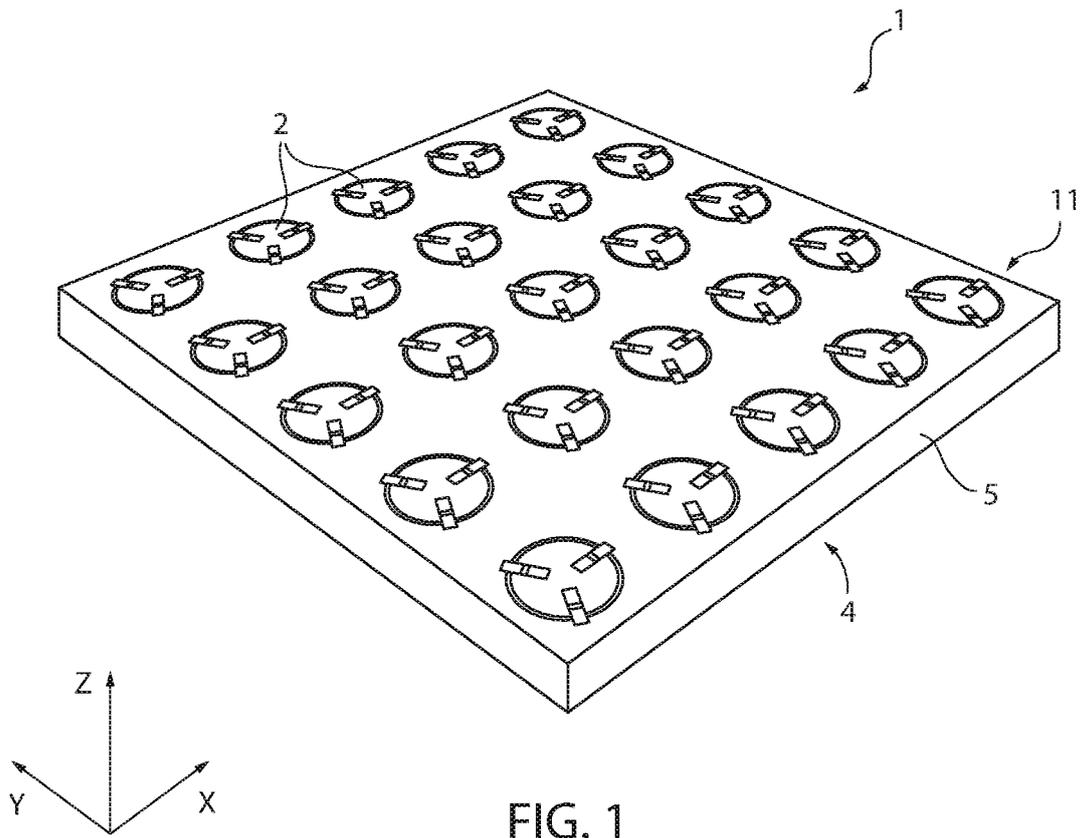


FIG. 1

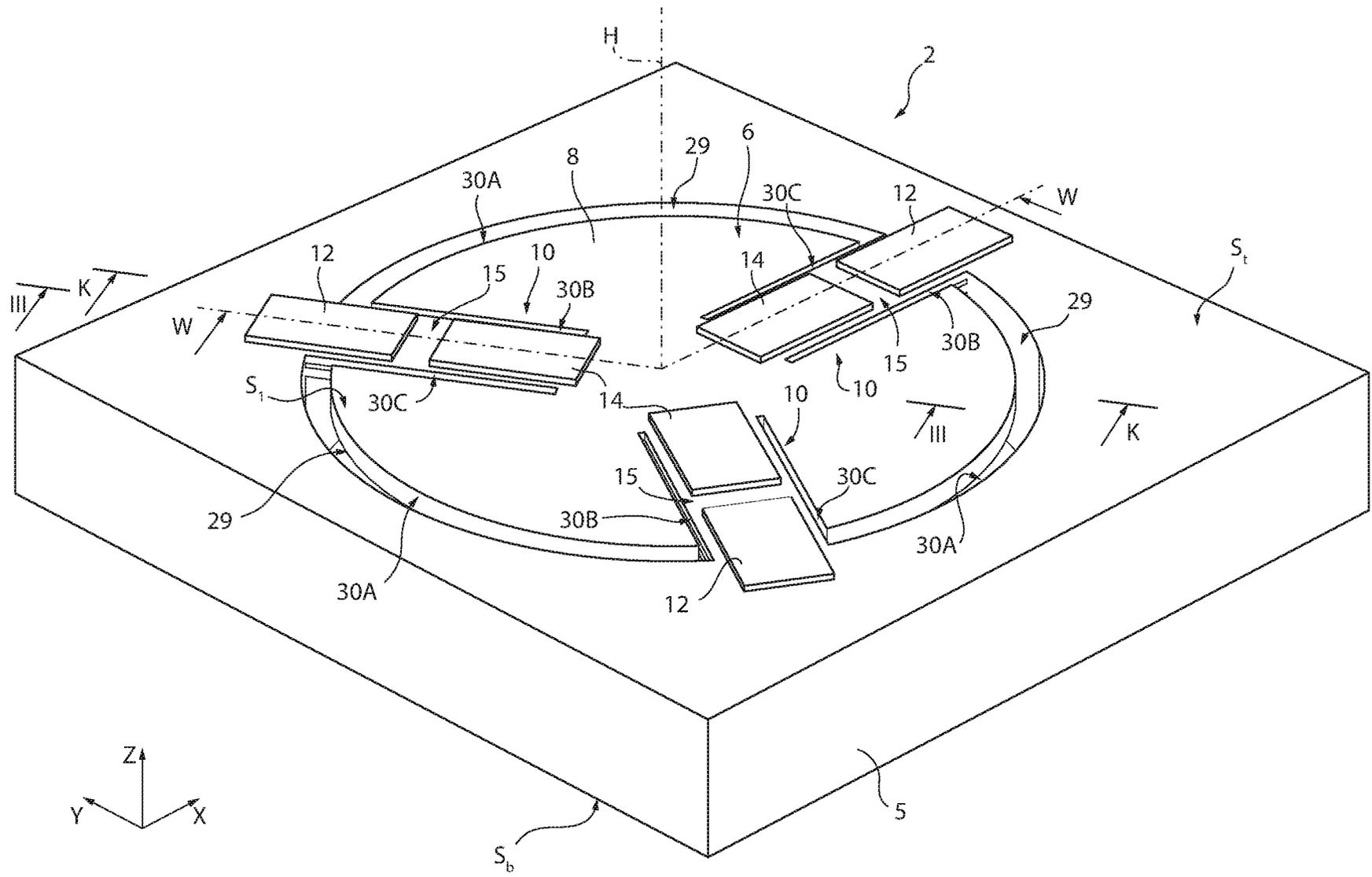


FIG. 2

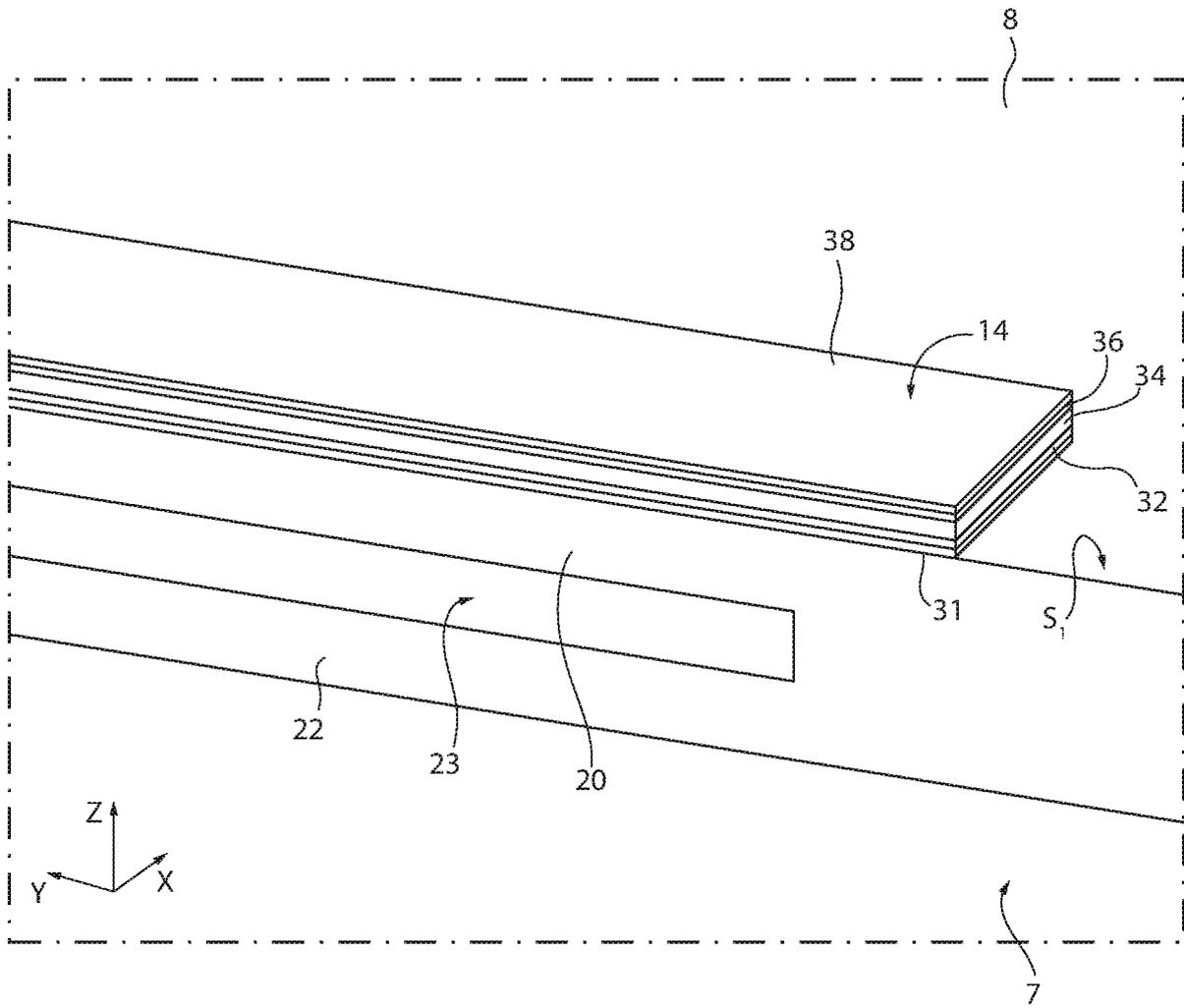


FIG. 4

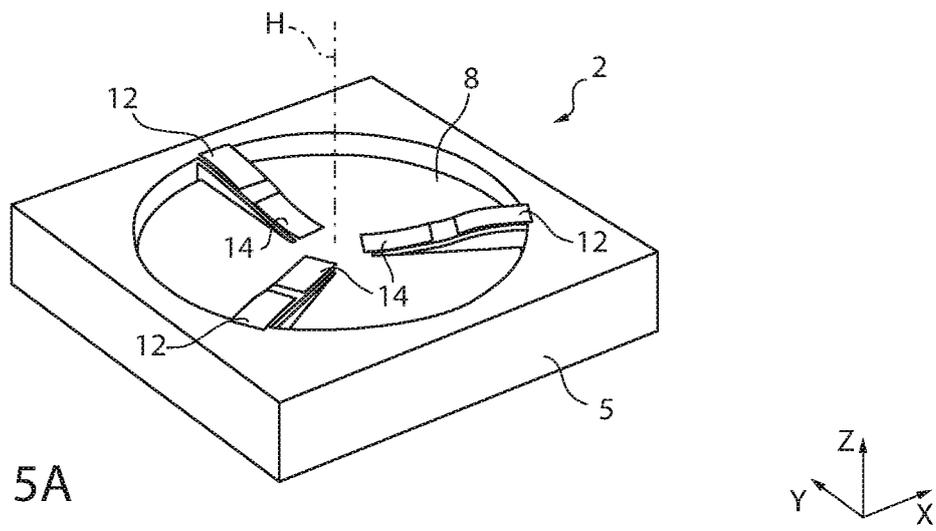


FIG. 5A

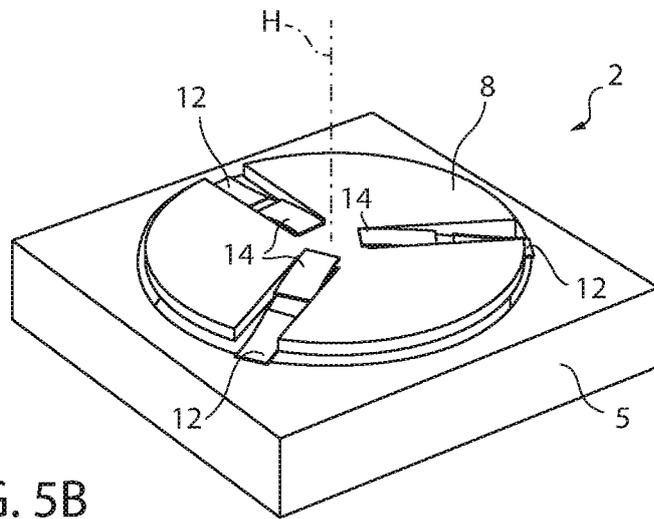


FIG. 5B

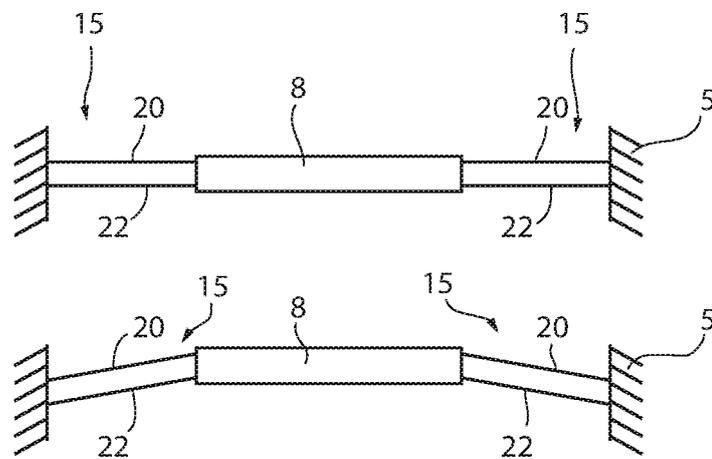


FIG. 6

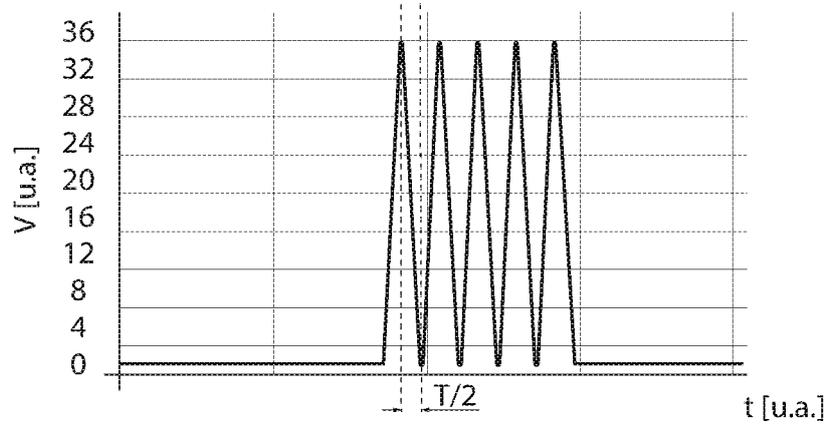
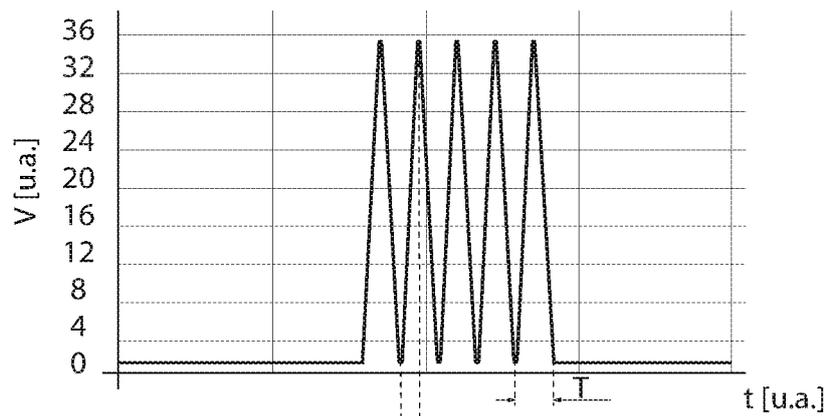


FIG. 7

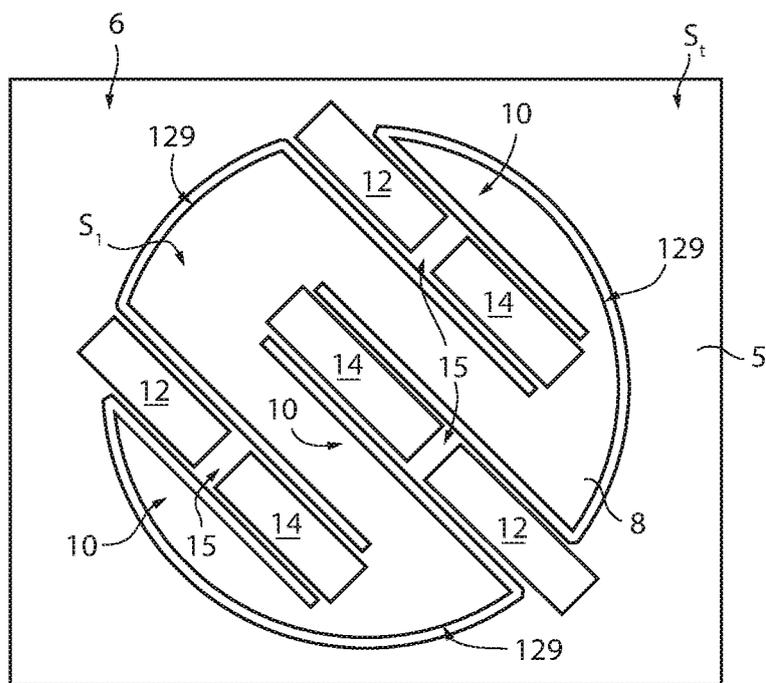
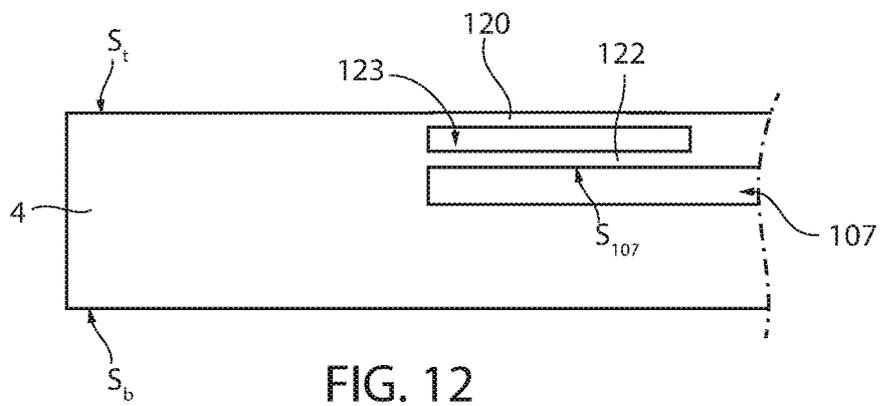
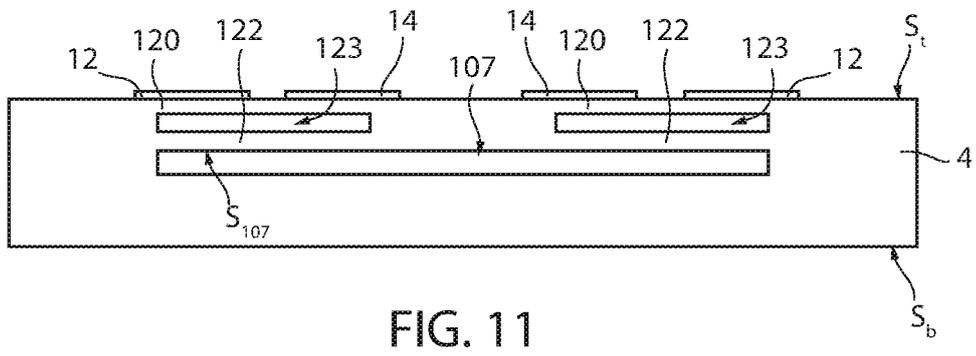
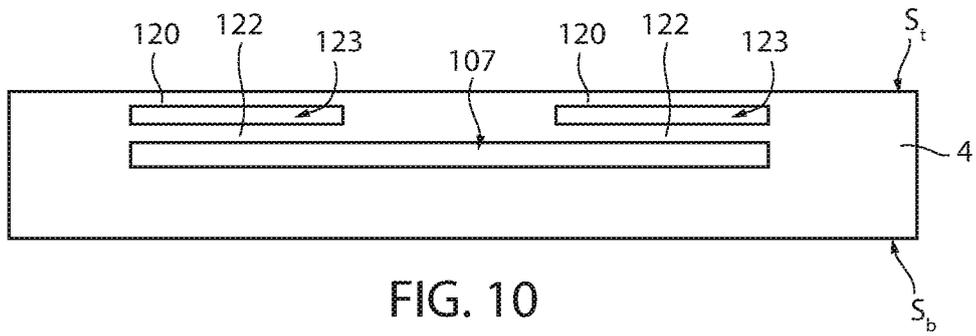
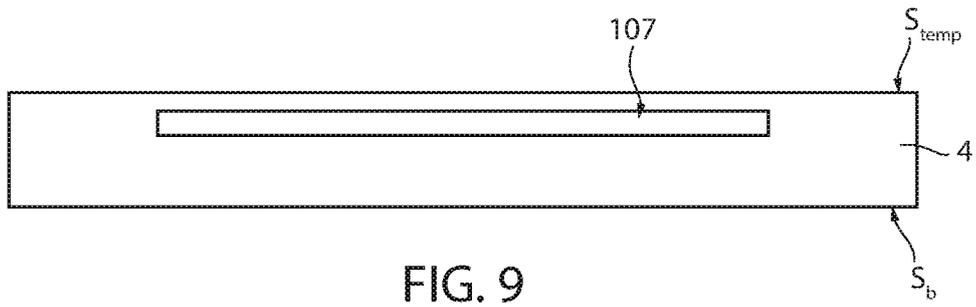


FIG. 8



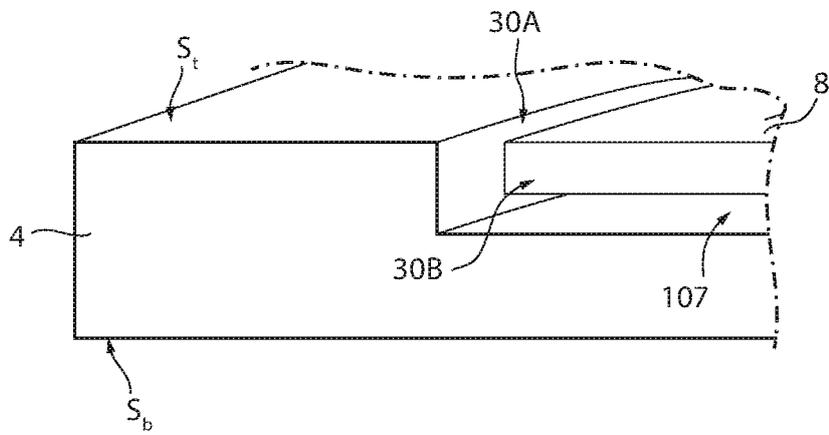


FIG. 13

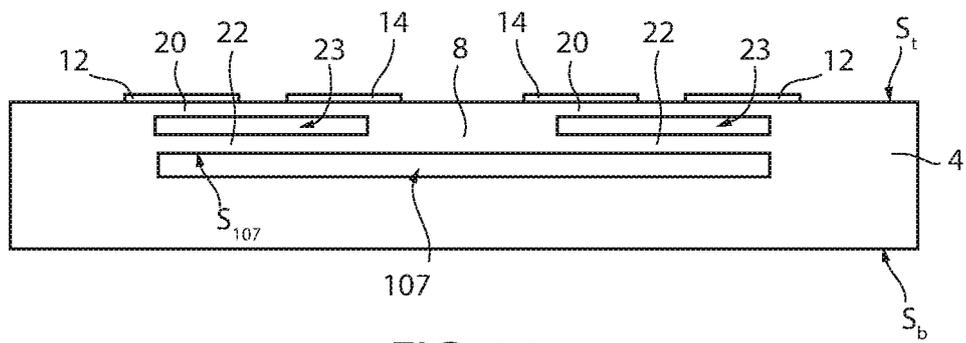


FIG. 14

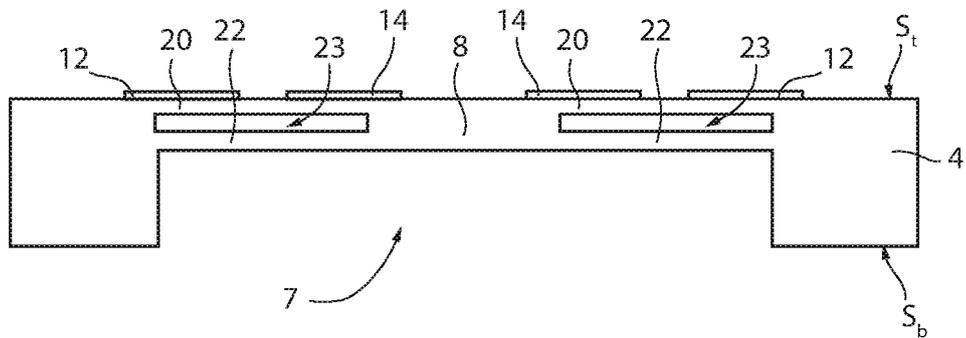


FIG. 15