

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102013902139338A1

Publication Date

20140921

Applicant

STMICROELECTRONICS S.R.L.

Title

STRUTTURA SENSIBILE MICROELETTROMECCANICA PER UN
TRASDUTTORE ACUSTICO CAPACITIVO INCLUDENTE UN ELEMENTO DI
LIMITAZIONE DELLE OSCILLAZIONI DI UNA MEMBRANA, E RELATIVO
PROCESSO DI FABBRICAZIONE

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"STRUTTURA SENSIBILE MICROELETTROMECCANICA PER UN TRASDUTTORE ACUSTICO CAPACITIVO INCLUDENTE UN ELEMENTO DI LIMITAZIONE DELLE OSCILLAZIONI DI UNA MEMBRANA, E RELATIVO PROCESSO DI FABBRICAZIONE"

di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA C. OLIVETTI, 2

AGRATE BRIANZA (MB)

Inventori: SCIUTTI Alessandra, PERLETTI Matteo, CONTI Sebastiano, CARMINATI Roberto

* * *

La presente invenzione è relativa ad una struttura sensibile microelettromeccanica (cioè, di tipo "Micro-Electro-Mechanical System", MEMS) per un trasduttore acustico capacitivo, in particolare per un microfono capacitivo microelettromeccanico, a cui la trattazione seguente farà esplicito riferimento, senza per questo perdere in generalità; la struttura sensibile microelettromeccanica include un elemento di limitazione delle oscillazioni di una membrana. Inoltre, la presente invenzione è relativa ad un processo di fabbricazione della struttura sensibile microelettromeccanica.

Come è noto, un trasduttore acustico, ad esempio un

microfono MEMS di tipo capacitivo, comprende generalmente una struttura sensibile microelettromeccanica ("Micro-electro-mechanical sensing structure") atta a trasdurre onde acustiche, cioè onde di pressione, in una grandezza elettrica, in particolare in una grandezza elettrica indicativa di una variazione capacitiva. Inoltre, il microfono MEMS comprende un'elettronica di lettura, la quale è atta ad effettuare opportune operazioni di elaborazione (ad esempio, operazioni di amplificazione e filtraggio) della grandezza elettrica, in modo da fornire un segnale elettrico di uscita, tipicamente formato da una tensione elettrica.

La struttura sensibile microelettromeccanica comprende solitamente un elettrodo mobile, realizzato come diaframma o membrana, il quale è disposto affacciato ad un elettrodo fisso, in modo da formare, insieme a tale elettrodo fisso, le piastre di un condensatore di rilevamento, il quale è del tipo a capacità variabile. L'elettrodo mobile è generalmente ancorato, mediante una sua porzione perimetrale, ad un substrato, mentre una sua porzione centrale è libera di flettersi in seguito all'incidenza di un'onda di pressione. La variazione di capacità del condensatore di rilevamento è causata dalla flessione della membrana che forma l'elettrodo mobile, tale membrana essendo appunto posta in oscillazione dall'onda di

pressione.

A titolo esemplificativo, la figura 1 mostra una struttura sensibile microelettromeccanica 1 di un microfono capacitivo M, come descritto ad esempio nel brevetto EP2252077, a nome della Richiedente.

La struttura sensibile microelettromeccanica 1 comprende una membrana 2, la quale è mobile, è formata di materiale conduttivo ed è affacciata ad una piastra rigida 3, generalmente nota come piastra posteriore ("back plate"), la quale è appunto rigida, per lo meno se comparata con la membrana 2, la quale invece è flessibile.

La piastra rigida 3 è formata da un primo strato di piastra 4a, formato di materiale conduttivo e affacciato alla membrana 2, e da un secondo strato di piastra 4b, formato di materiale isolante.

Il primo strato di piastra 4a forma, insieme alla membrana 2, un condensatore di rilevamento.

Il secondo strato di piastra 4b è sovrapposto al primo strato di piastra 4a, ad eccezione di porzioni in cui si estende attraverso il primo strato di piastra 4a, in modo da formare protuberanze P della piastra rigida 3, le quali si estendono verso la sottostante membrana 2 ed hanno la funzione di prevenire l'adesione della membrana 2 alla piastra rigida 3, nonché di limitare le oscillazioni della membrana 2.

La struttura sensibile microelettromeccanica 1 comprende inoltre un substrato 5 di materiale semiconduttore ed uno strato di isolamento 9, il quale è formato, ad esempio, di nitruro di silicio (SiN) ed è disposto al di sopra del substrato 5, con cui è a contatto diretto.

In dettaglio, la membrana 2 può avere uno spessore compreso ad esempio nell'intervallo $[0.3-1.5]\mu\text{m}$ e può essere formata da polisilicio, mentre il primo ed il secondo strato di piastra 4a, 4b possono avere spessori rispettivamente compresi, ad esempio, negli intervalli $[0.5-2]\mu\text{m}$ e $[0.7-2]\mu\text{m}$ e possono essere formati, rispettivamente, da polisilicio e da nitruro di silicio. Ad esempio, il primo ed il secondo strato di piastra 4a, 4b possono avere spessori rispettivamente pari a $0.9\mu\text{m}$ e $1.2\mu\text{m}$.

In uso, la membrana 2 si deforma in funzione dell'onda di pressione incidente. Inoltre, la membrana 2 è sospesa al di sopra del substrato 5 e dello strato di isolamento 9 e si affaccia direttamente su di una prima cavità 6a. La prima cavità 6a è formata all'interno del substrato 5, mediante un scavo di una superficie posteriore Sb del substrato 5, la quale è opposta ad una superficie anteriore

Sa dello stesso substrato 5, sulla quale poggia lo strato di isolamento 9; tale superficie anteriore Sa è posta in prossimità della membrana 2. Inoltre, lo scavo è di tipo passante, cioè è fatto in maniera tale per cui, al termine dello scavo, la prima cavità 6a definisce un foro passante che si estende tra la superficie anteriore Sa e la superficie inferiore Sb.

Più in particolare, la prima cavità 6a è formata da una prima ed una seconda porzione 7a, 7b, tra loro comunicanti. Tra la prima e la seconda porzione 7a, 7b della prima cavità 6a è interposto un setto forato X, formato da porzioni sommitali non scavate del substrato 5 e sovrastato da porzioni dello strato di isolamento 9 che sovrastano tali porzioni sommitali.

Il setto forato X forma un'apertura TH, il cui asse longitudinale H è normale alla membrana 2, quando quest'ultima è in condizioni di riposo. Inoltre, l'apertura TH mette in comunicazione la prima e la seconda porzione 7a, 7b della prima cavità 6a; pertanto, l'apertura TH definisce una sorta di terza porzione della prima cavità 6a.

L'apertura TH ha, lungo una direzione perpendicolare all'asse longitudinale H e parallela alla superficie

anteriore Sa, una sezione trasversale che è interamente sovrastata dalla membrana 2, la quale inoltre si estende lateralmente fino a sovrapporsi ad almeno parte del setto forato X. In altre parole, la membrana 2, la quale è verticalmente allineata con il setto forato X, ha un'area, in vista dall'alto, superiore rispetto all'area dell'apertura TH. Pertanto, una porzione centrale della membrana 2 sovrasta l'apertura TH, mentre porzioni periferiche della membrana 2 sovrastano corrispondenti porzioni del substrato 5, nonché le porzioni dello strato di isolamento 9 sovrapposte a queste ultime.

Più in particolare, come visibile in figura 2, ciascuna tra l'apertura TH e la prima porzione 7a della prima cavità 6a definisce una forma a parallelepipedo, dunque ha, in un piano perpendicolare all'asse longitudinale H, la forma di un quadrato o di un rettangolo. Pertanto, la sezione dell'apertura TH in un piano perpendicolare all'asse longitudinale H ha forma rettangolare o quadrata, e la stessa apertura TH è delimitata da quattro pareti parallele all'asse longitudinale H, formate dal setto forato X; a tal proposito, in figura 1 sono mostrate una prima ed una seconda parete di apertura W1, W2, tra loro opposte, mentre in figura 2 sono mostrate la prima parete di apertura W1 ed una terza parete di apertura W3. Inoltre, sebbene non

mostrato in figura 2, anche la seconda porzione 7b della prima cavità 6a definisce sostanzialmente una forma a parallelepipedo.

Ancora più in particolare, l'apertura TH e la prima e la seconda porzione 7a, 7b della prima cavità 6a sono allineate lungo l'asse longitudinale H. Il setto forato X si estende con una larghezza l (misurata lungo una direzione perpendicolare all'asse longitudinale H) verso l'interno della struttura sensibile microelettromeccanica 1, a partire da una superficie interna S_{in} che delimita la prima porzione 7a della prima cavità 6a. La superficie interna S_{in} è formata da quattro pareti interne, ed il setto forato X si diparte da tali quattro pareti interne; in figura 1 sono mostrate una prima ed una seconda parete interna L1, L2, tra loro opposte.

La prima cavità 6a è anche nota, nel suo complesso, come camera posteriore ("back chamber"), nel caso in cui l'onda di pressione incida prima sulla piastra rigida 3, e successivamente sulla membrana 2. In tal caso, la prima cavità 6a assolve la funzione di camera di pressione di riferimento. Alternativamente, è comunque possibile che le onde di pressione raggiungano la membrana 2 attraverso la prima cavità 6a, la quale in tal caso assolve la funzione di porta di accesso acustico, ed è quindi nota come camera anteriore (cosiddetta "front chamber"). Nel seguito,

tuttavia, ci si riferisce, salvo laddove specificato diversamente, al caso in cui la prima cavità 6a funge da camera posteriore, e la camera anteriore è formata da una seconda cavità 6b, la quale è delimitata superiormente ed inferiormente, rispettivamente, dal primo strato di piastra 4a e dalla membrana 2.

In maggior dettaglio, la membrana 2 ha una prima ed una seconda superficie F1, F2, le quali sono tra loro opposte e si affacciano rispettivamente alla prima ed alla seconda cavità 6a, 6b. La prima e la seconda superficie F1, F2 sono dunque in comunicazione fluidica con, rispettivamente, la camera posteriore e la camera anteriore, cioè sono a contatto con i fluidi ivi contenuti.

La membrana 2, inoltre, è ancorata al substrato 5 per mezzo di ancoraggi di membrana 8, i quali sono formati da protuberanze della membrana 2, le quali si estendono, a partire da regioni periferiche della membrana 2, verso il substrato 5. Lo strato di isolamento 9 consente, tra l'altro, di isolare elettricamente gli ancoraggi di membrana 8 dal substrato 5.

Gli ancoraggi di membrana 8 assolvono la funzione di sospendere la membrana 2 al di sopra del substrato 5, ad una certa distanza da esso; il valore di tale distanza è

Pietro SPALLA
(Iscrizione Albo nr. 1430/B)

funzione di un compromesso fra la linearità di risposta alle basse frequenze e la rumorosità del microfono capacitivo M.

Al fine di consentire il rilascio degli stress (tensili e/o compressivi) residui nella membrana 2, ad esempio derivanti dal processo di fabbricazione, vengono formate aperture passanti 10 attraverso la membrana 2, in particolare in prossimità di ciascun ancoraggio di membrana 8. Le aperture passanti 10 permettono di "equalizzare" la pressione statica presente sulla prima e sulla seconda superficie F1, F2.

La piastra rigida 3 è ancorata al substrato 5 per mezzo di ancoraggi di piastra 11, i quali si raccordano a regioni periferiche della piastra rigida 3. Gli ancoraggi di piastra 11 sono formati da pilastri realizzati dello stesso materiale conduttivo del primo strato di piastra 4a, tali pilastri essendo disposti al di sopra del substrato 5 ed essendo elettricamente isolati dal substrato 5 per mezzo dello strato di isolamento 9. Inoltre, tali pilastri formano un unico pezzo con il primo strato di piastra 4a.

La struttura sensibile microelettromeccanica 1 comprende inoltre un primo, un secondo ed un terzo strato sacrificale 12a-12c, disposti l'uno sopra all'altro. In

Pietro SPALLA
(Iscrizione Albo nr. 1430/B)

particolare, il terzo strato sacrificale 12c è sovrapposto al secondo strato sacrificale 12b, il quale a sua volta è sovrapposto al primo strato sacrificale 12a, quest'ultimo essendo sovrapposto, in contatto diretto, allo strato di isolamento 9.

Il primo, il secondo ed il terzo strato sacrificale 12a-12c sono disposti, in vista dall'alto, all'esterno dell'area occupata dalla membrana 2 e dagli ancoraggi di piastra 11. Porzioni periferiche della piastra rigida 3 si estendono al di sopra di porzioni sommitali del terzo strato sacrificale 12c.

La piastra rigida 3 presenta inoltre una pluralità di fori 13, i quali si estendono attraverso il primo ed il secondo strato di piastra 4a, 4b, hanno sezioni preferibilmente circolari ed assolvono la funzione di favorire, durante le fasi di fabbricazione, la rimozione degli strati sacrificali sottostanti. Inoltre, in uso, i fori 13 consentono la libera circolazione di aria tra la piastra rigida 3 e la membrana 2, rendendo di fatto acusticamente trasparente la piastra rigida 3. I fori 13 fungono dunque da porta di accesso acustico, per permettere alle onde di pressione di raggiungere e deformare la membrana 2.

La struttura sensibile microelettromeccanica 1 comprende inoltre un contatto elettrico di membrana 14 ed un contatto elettrico di piastra rigida 15, i quali sono formati di materiale conduttivo e sono utilizzati, in uso, per polarizzare la membrana 2 e la piastra rigida 3, nonché per prelevare un segnale indicativo della variazione capacitiva conseguente alla deformazione della membrana 2 causata dalle onde di pressione.

Come mostrato in figura 1, il contatto elettrico di membrana 14 si estende in parte all'interno del secondo strato di piastra 4b. Inoltre, il contatto elettrico di membrana 14 è elettricamente isolato dal primo strato di piastra 4a ed è collegato elettricamente alla membrana 2, tramite ad un cammino conduttivo (non mostrato).

Il contatto elettrico di piastra rigida 15 si estende attraverso il secondo strato di piastra 4b, fino a contattare il primo strato di piastra 4a.

In modo noto, la sensibilità del microfono capacitivo M dipende dalle caratteristiche meccaniche della membrana 2, nonché dall'assemblaggio della membrana 2 e della piastra rigida 3. Inoltre, le prestazioni del microfono capacitivo M dipendono dal volume della camera posteriore e dal volume della camera anteriore. In particolare, il volume della camera anteriore determina la frequenza

superiore di risonanza del microfono capacitivo M, e quindi le sue prestazioni per le alte frequenze; in generale, infatti, minore è il volume della camera anteriore, maggiore è la frequenza di taglio superiore del microfono capacitivo M. Inoltre, un elevato volume della camera posteriore consente di migliorare la risposta in frequenza e la sensibilità dello stesso microfono capacitivo M.

Ciò premesso, come precedentemente accennato, in uso la membrana 2 oscilla alternativamente in direzione della piastra rigida 3, oppure in direzione del substrato 5. La membrana 2 si muove dunque alternativamente in direzione del primo strato di piastra 4a, oppure del substrato 5. In particolare, ciascun punto della membrana 2 si muove in modo sostanzialmente sinusoidale, lungo una direzione perpendicolare ad una direzione definita dalla stessa membrana 2, in condizioni di riposo. Ancora, più in particolare, ciascun punto della membrana 2 si muove tra una corrispondente posizione superiore, che dista di una corrispondente escursione superiore dalla posizione assunta dallo stesso punto in condizioni di riposo, ed una corrispondente posizione inferiore, che dista di una corrispondente escursione inferiore dalla posizione assunta dallo stesso punto in condizioni di riposo. Riferendosi all'ampiezza per indicare la somma dell'escursione inferiore e dell'escursione superiore, tale ampiezza è maggiore per i punti della membrana 2 che più distano dagli ancoraggi di membrana 8, ai quali ci si riferisce anche

come ai punti centrali della membrana 2, mentre è minore (al limite, nulla) per i punti della membrana 2 più prossimi agli ancoraggi di membrana 8, ai quali ci si riferisce anche come ai punti periferici della membrana 2. Nel seguito, ci si riferisce all'escursione superiore massima ed all'escursione inferiore massima per indicare le corrispondenti escursioni del punto della membrana 2 che oscilla con la massima ampiezza. Inoltre, in generale ci si riferisce all'ampiezza delle oscillazioni per indicare l'ampiezza di oscillazione del punto della membrana 2 che oscilla con ampiezza massima, tra tutti i punti della membrana 2.

Dal momento che l'entità delle oscillazioni della membrana 2 può essere tale da causare una rottura meccanica della stessa membrana 2, sono state proposte soluzioni atte a limitare l'ampiezza delle oscillazioni.

Ad esempio, come precedentemente accennato, le stesse protuberanze P della piastra rigida 3 fungono da elemento di blocco superiore ("upper stopper") delle oscillazioni della membrana 2. Infatti, in presenza di oscillazioni elevate, la porzione centrale della membrana 2 va in battuta contro una o più di tali protuberanze P, con conseguente limitazione dell'ampiezza di oscillazione. Le protuberanze P consentono dunque di limitare l'escursione superiore massima cui è soggetta la membrana 2.

Per quanto concerne l'escursione inferiore massima, la sua limitazione è generalmente conseguita mediante un

opportuno dimensionamento del setto forato X. Infatti, grazie al fatto che la membrana 2 è almeno parzialmente sovrapposta al setto forato X, in presenza di oscillazioni rilevanti, parti della membrana 2 vanno in battuta contro il setto forato X, il quale dunque limita in qualche maniera la deformazione della membrana 2. In altre parole, la membrana 2 non è libera di deformarsi, in presenza di onde di pressione con ampiezza sufficientemente elevata, all'interno dell'apertura TH, senza contattare il setto forato X. Il setto forato X funge quindi da blocco inferiore ("lower stopper") delle oscillazioni della membrana 2, dal momento che impedisce alla porzione centrale della membrana 2 di oscillare con la medesima ampiezza che si avrebbe nel caso di mancanza di setto forato X.

Tuttavia, il summenzionato meccanismo di limitazione dell'escursione inferiore massima si è dimostrato soddisfacente solo in caso di oscillazioni con ampiezza ridotta. Infatti, in caso di oscillazioni con ampiezza rilevante, è possibile che la membrana 2 sia comunque soggetta a rottura, nonostante l'azione di blocco operata dal setto forato X.

È pertanto sentita nel settore l'esigenza di disporre di una struttura sensibile microelettromeccanica per un trasduttore acustico capacitivo, la quale risolva almeno in parte gli inconvenienti dell'arte nota.

Secondo la presente invenzione, vengono pertanto

Pietro SPALLA
(Iscrizione Albo nr. 1430/B)

forniti una struttura sensibile microelettromeccanica ed un processo di fabbricazione, come definiti, rispettivamente, nelle rivendicazioni 1 e 11.

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 sezione trasversale di una struttura sensibile microelettromeccanica di un microfono capacitivo MEMS, di tipo noto;

- la figura 2 mostra schematicamente una vista prospettica di una porzione della struttura sensibile microelettromeccanica mostrata in figura 1;

- la figura 3 mostra una sezione trasversale della presente struttura sensibile microelettromeccanica;

- la figura 4 mostra schematicamente una vista prospettica di una porzione della struttura sensibile microelettromeccanica mostrata in figura 3, la sezione trasversale mostrata in figura 3 essendo presa lungo una linea di sezione III-III indicata in figura 4;

- le figure 5 e 7 mostrano schematicamente viste prospettiche di porzioni di differenti forme di realizzazione della presente struttura sensibile microelettromeccanica; e

- la figura 6 mostra uno schema a blocchi semplificato di un dispositivo elettronico includente la presente struttura sensibile microelettromeccanica.

La figura 2 mostra una struttura sensibile microelettromeccanica 20 per un trasduttore acustico capacitivo, la quale viene descritta nel seguito, con riferimento alle sole differenze rispetto alla struttura sensibile microelettromeccanica 1 mostrata in figura 1. Per brevità, nel seguito ci si riferisce alla struttura sensibile microelettromeccanica 20 come alla struttura MEMS; inoltre, parti della struttura MEMS 20 già presenti nella struttura sensibile microelettromeccanica 1 mostrata in figura 1 sono indicate con i medesimi segni di riferimento, salvo laddove specificato diversamente. Inoltre, si assume che la struttura MEMS 20 sia formata in una prima piastrina ("die") D1.

In dettaglio, la struttura MEMS 20 comprende un elemento di limitazione delle oscillazioni della membrana, indicato con 22 ed avente forma di trave, al quale ci si riferisce in seguito come alla trave 22.

La trave 22 è formata di materiale semiconduttore. Nella forma di realizzazione mostrata in figura 3, la trave 22 è formata dal substrato 5.

In vista dall'alto, la trave 22 ha forma allungata, parallelamente ad un asse trasversale MT; in particolare, nella forma di realizzazione mostrata in figura 3, la trave 22 ha forma di parallelepipedo. L'asse trasversale MT è perpendicolare all'asse longitudinale H ed è parallelo alla membrana 2, quando quest'ultima è in condizioni di riposo; pertanto, la stessa trave 22 è parallela alla membrana 2,

quando quest'ultima è in condizioni di riposo.

In pratica, come mostrato in figura 4, la trave 22 si estende all'interno dell'apertura TH definita dal setto forato X. Pertanto, la trave 22 si estende tra la prima e la seconda porzione 7a, 7b della prima cavità 6a, sulle quali si affaccia. In particolare, assumendo che la trave 22 sia delimitata inferiormente e superiormente da, rispettivamente, una prima ed una seconda superficie di trave 24a, 24b, entrambe di tipo planare, la prima superficie di trave 24a si affaccia sulla prima porzione 7a della prima cavità 6a, mentre la seconda superficie di trave 24b si affaccia sulla seconda porzione 7b della prima cavità 6a. Inoltre, senza alcuna perdita di generalità, nella forma di realizzazione mostrata nelle figure 3 e 4 la seconda superficie di trave 24b è complanare con la superficie anteriore S_a del substrato 5 ed è interamente rivestita dal soprastante strato di isolamento 9. In aggiunta, sempre senza alcuna perdita di generalità, la trave 22 ha uno spessore, misurato parallelamente all'asse longitudinale H, pari allo spessore del setto forato X.

In dettaglio, la trave 22 si estende tra la prima e la seconda parete di apertura W1, W2 (quest'ultima essendo mostrata in figura 1), alle quali è collegata.

Ancora in maggior dettaglio, ciascuna tra la prima e la seconda superficie di trave 24a, 24b ha forma di rettangolo ed ha un'area A_{22} tale per cui, indicando con A_{TH} l'area di una qualsiasi sezione dell'apertura TH presa in

un piano perpendicolare all'asse longitudinale H, vale a relazione $A_{22} \leq 0,3 \cdot A_{TH}$. In tal modo, si evita che la presenza della trave 22 comprometta la risposta in frequenza della struttura MEMS 20.

Inoltre, in condizioni di riposo, la trave 22 dista dalla prima superficie F1 della membrana 2 una distanza tale per cui, in presenza di onde di pressione con ampiezza elevata, una porzione centrale della membrana 2 (in particolare, della prima superficie F1) va in battuta contro la seconda superficie di trave 24b, la quale forma quindi una superficie di contatto. La trave 22 funge dunque da elemento atto a limitare l'ampiezza delle oscillazioni cui è soggetta la membrana 2; pertanto, la trave 22 previene la rottura della membrana 2. Viceversa, in presenza di onde di pressione con ampiezza ridotta, la membrana 2, ed in particolare la porzione centrale della membrana 2, è libera di oscillare, senza contattare la seconda superficie di trave 24b.

In maggior dettaglio, la trave 22 dista dalla prima superficie F1 della membrana 2 una distanza $d = k \cdot h_2$, in cui h_2 è pari allo spessore della membrana 2, misurato parallelamente all'asse longitudinale H, e k è compreso, ad esempio, nell'intervallo [2-4]. Lo spessore h_2 è la minore delle tre dimensioni della membrana 2.

Secondo una differente forma di realizzazione, mostrata in figura 5, la trave 22 ha uno spessore pari allo spessore del substrato 5. In tal caso, la trave 22 si

estende, oltre che tra la prima e la seconda parete di apertura W1, W2, anche tra la prima e la seconda parete interna L1, L2, le quali delimitano la prima porzione 7a della prima cavità 6a. La trave 22 è dunque collegata anche alla prima ed alla seconda parete interna L1, L2.

La forma di realizzazione mostrata in figura 5 si caratterizza, tra l'altro, per un'elevata resilienza a fenomeni di scarica elettrostatica. Infatti, assumendo ad esempio che la prima cavità 6a funga da camera anteriore, e dunque sia affacciata ad un foro di ingresso di un incapsulamento ("package") contenente la struttura MEMS 20, un'eventuale scintilla proveniente dall'esterno incontra prima la trave 22, e solo successivamente la membrana 2. Pertanto, la trave 22 agisce da struttura atta a scaricare nel substrato 5 la scintilla, prima che quest'ultima raggiunga la membrana 2.

Come mostrato in figura 6, la struttura MEMS 20 può formare un microfono capacitivo MEMS 30, il quale include, oltre alla struttura MEMS 20, una seconda piastrina D2, la quale integra un circuito integrato 31, ad esempio del tipo cosiddetto ASIC ("application specific integrated circuit").

Il circuito integrato 31 è elettricamente collegato al contatto elettrico di membrana 14 ed al contatto elettrico di piastra rigida 15 della struttura MEMS 20. Inoltre, il

circuito integrato 31 forma un circuito di lettura atto a generare un segnale elettrico indicativo delle variazioni della capacità del condensatore di rilevamento formato dalla membrana 2 e dal primo strato di piastra 4a, al quale ci si riferisce in seguito come al segnale di rilevamento.

Vantaggiosamente, il microfono capacitivo MEMS 30 può formare un dispositivo elettronico 60, mostrato ancora in figura 6.

Il dispositivo elettronico 60 è, ad esempio, un dispositivo di comunicazione mobile, come ad esempio un cellulare, un assistente digitale personale ("personal digital assistant"), un notebook, ma anche un registratore vocale, un lettore di file audio con capacità di registrazione vocale, ecc. In alternativa, il dispositivo elettronico 60 può essere un idrofono, in grado di lavorare sott'acqua, oppure un dispositivo di ausilio all'udito ("hearing aid device").

Il dispositivo elettronico 60 comprende un microprocessore 61, un blocco di memoria 62, collegato al microprocessore 61, ed un'interfaccia di ingresso/uscita 63, ad esempio dotata di una tastiera e di un video, anch'essa collegata al microprocessore 61. Il microfono capacitivo MEMS 30 comunica con il microprocessore 61; in

particolare, il circuito integrato 31 invia il summenzionato segnale di rilevamento al microprocessore 61, eventualmente previa elaborazione da parte di un ulteriore circuito elettronico di elaborazione (non mostrato).

Il dispositivo elettronico 60 comprende inoltre un altoparlante 66 atto a generare suoni su un'uscita audio (non mostrata) del dispositivo elettronico 60.

Ad esempio, il microfono capacitivo MEMS 30, il microprocessore 61, il blocco di memoria 62, l'interfaccia di ingresso/uscita 63 e gli eventuali ulteriori componenti elettronici sono montati su un unico circuito stampato ("Printed Circuit Board", PCB) 65, ad esempio con la tecnica del montaggio superficiale.

I vantaggi che la presente struttura sensibile microelettromeccanica consente di ottenere emergono chiaramente dalla discussione precedente.

In particolare, la presente struttura sensibile microelettromeccanica consente di prevenire la rottura della membrana, senza compromettere la risposta in frequenza della stessa struttura sensibile microelettromeccanica.

Risulta infine chiaro che a quanto qui descritto ed illustrato possono essere apportate modifiche e varianti, senza per questo uscire dall'ambito di protezione della presente invenzione, come definito nelle rivendicazioni

Pietro SPALLA
(Iscrizione Albo nr. 1430/B)

allegate.

In particolare, la trave 22 può essere formata da un materiale differente rispetto al materiale del substrato 5. Inoltre, la trave 22 può avere uno spessore differente (ad esempio, inferiore) dallo spessore del setto forato X.

In aggiunta, sono possibili forme di realizzazione in cui l'apertura TH e la prima e la seconda porzione 7a, 7b della prima cavità 6a hanno forme differenti, quali ad esempio forme cilindriche. In tal caso, l'apertura TH è delimitata da una parete cilindrica, dunque la trave 22 si estende a partire da una prima ed una seconda porzione di tale parete cilindrica.

Inoltre, sono possibili forme di realizzazione in cui l'apertura TH non ha una sezione trasversale uniforme, lungo l'asse longitudinale H. Ad esempio, l'apertura TH può avere la forma di un tronco di cono. In tal caso, la summenzionata relazione $A_{22} \leq 0,3 \cdot A_{TH}$ vale ancora, nell'ipotesi di considerare A_{TH} pari all'area della sezione trasversale dell'apertura TH complanare con la seconda superficie di trave 24b.

Infine, sono possibili forme di realizzazione del tipo delle forme di realizzazione mostrate in precedenza, ma in cui il setto forato X è assente, come mostrato ad esempio

in figura 7. In tal caso, la trave 22 è collegata alla prima ed alla seconda parete interna L1, L2. Si noti che in tal caso la summenzionata relazione $A_{22} \leq 0,3 \cdot A_{TH}$ vale ancora, nell'ipotesi di considerare A_{TH} pari all'area di una sezione trasversale della prima porzione 7a della prima cavità 6a, presa nel piano complanare alla seconda superficie di trave 24b.

RIVENDICAZIONI

1. Struttura sensibile microelettromeccanica per un trasduttore acustico capacitivo (30), comprendente:

- un substrato (5) di materiale semiconduttore;
- un elettrodo rigido (4a) di materiale conduttivo;
- una membrana (2) di materiale conduttivo, collegata al substrato ed interposta tra il substrato e l'elettrodo rigido, la membrana avendo una prima ed una seconda superficie (F1,F2), la prima e la seconda superficie essendo in comunicazione fluidica con, rispettivamente, una prima ed una seconda camera (6a,6b), la prima camera essendo delimitata almeno in parte da una prima ed una seconda porzione di parete (W1,W2;L1,L2) formate almeno in parte dal substrato, la seconda camera essendo delimitata almeno in parte dall'elettrodo rigido, la membrana essendo inoltre atta a deformarsi in seguito all'incidenza di onde di pressione ed essendo affacciata all'elettrodo rigido, in modo da formare un condensatore di rilevamento avente una capacità variabile in funzione della deformazione della membrana;

caratterizzata dal fatto di comprendere una trave (22), la quale è collegata a dette prima e seconda porzione di parete ed è atta a limitare le oscillazioni della membrana (2).

2. Struttura sensibile microelettromeccanica secondo

la rivendicazione 1, in cui la trave (22) è disposta in maniera tale per cui:

- in presenza di onde di pressione con ampiezza elevata, una porzione della membrana (2) va in battuta contro la trave (22); e

- in presenza di onde di pressione con ampiezza ridotta, detta porzione della membrana è libera di oscillare.

3. Struttura sensibile microelettromeccanica secondo la rivendicazione 1 o 2, comprendente inoltre un setto forato (X), il quale si estende all'interno della prima camera (6a) delimitando una prima ed una seconda porzione (7a,7b) della prima camera e formando un'apertura (TH), la quale pone in comunicazione la prima e la seconda porzione della prima camera ed è delimitata dalla prima e dalla seconda porzione di parete (W1,W2); ed in cui la trave (22) si estende all'interno dell'apertura.

4. Struttura sensibile microelettromeccanica secondo la rivendicazione 3, in cui l'apertura (TH) è interamente sovrastata dalla membrana (2), la membrana avendo uno spessore di membrana (h_2) e distando dalla trave (22), in condizioni di riposo, di una distanza compresa tra due e quattro volte lo spessore di membrana.

5. Struttura sensibile microelettromeccanica secondo la rivendicazione 3 o 4, in cui la trave (22) è allungata

lungo un asse (MT), la prima e la seconda superficie (F1,F2) essendo parallele a detto asse, quando la membrana (2) è in condizioni di riposo.

6. Struttura sensibile microelettromeccanica secondo la rivendicazione 5, in cui la trave (22) forma una superficie di contatto (24b) atta a contattare la membrana (2) ed avente un'area non superiore al 30% dell'area di una sezione trasversale dell'apertura (TH), presa in un piano complanare alla superficie di contatto.

7. Struttura sensibile microelettromeccanica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la trave (22) ha uno spessore pari allo spessore del substrato (5).

8. Struttura sensibile microelettromeccanica secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la trave (22) è formata di materiale semiconduttore.

9. Traduttore acustico microelettromeccanico (30) comprendente un struttura sensibile (20) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti ed un circuito elettronico di lettura (31) accoppiato operativamente a detta struttura sensibile e configurato per fornire un segnale elettrico di rilevamento, indicativo della capacità di detto condensatore di rilevamento.

10. Dispositivo elettronico (60) comprendente un traduttore acustico secondo la rivendicazione 9, detto

dispositivo elettronico (60) essendo scelto nel gruppo comprendente: un telefono cellulare, un assistente digitale personale, un notebook, un registratore vocale, un lettore audio con funzionalità di registratore vocale, una consolle per videogiochi, un idrofono o un dispositivo di ausilio all'udito.

11. Processo di fabbricazione di una struttura sensibile microelettromeccanica per un trasduttore acustico capacitivo (30), comprendente le fasi di:

- formare un substrato (5) di materiale semiconduttore;

- formare un elettrodo rigido (4a) di materiale conduttivo;

- formare una membrana (2) di materiale conduttivo, in modo che la membrana sia collegata al substrato e sia interposta tra il substrato e l'elettrodo rigido, la membrana avendo una prima ed una seconda superficie (F1,F2), la prima e la seconda superficie essendo in comunicazione fluidica con, rispettivamente, una prima ed una seconda camera (6a,6b), la prima camera essendo delimitata almeno in parte da una prima ed una seconda porzione di parete (W1,W2;L1,L2) formate almeno in parte dal substrato, la seconda camera essendo delimitata almeno in parte dall'elettrodo rigido, la membrana essendo inoltre atta a deformarsi in seguito all'incidenza di onde di

pressione ed essendo affacciata all'elettrodo rigido, in modo da formare un condensatore di rilevamento avente una capacità variabile in funzione della deformazione della membrana;

detto metodo essendo caratterizzato dal fatto di comprendere la fase di formare una trave (22), in modo che detta trave sia collegata a dette prima e seconda porzione di parete e sia atta a limitare le oscillazioni della membrana (2).

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

Pietro SPALLA

CLAIMS

1. A microelectromechanical sensing structure for a capacitive acoustic transducer (30), comprising:
- 5 - a substrate (5) of semiconductor material;
- a rigid electrode (4a) of conductive material; and
- a membrane (2) of conductive material, connected to the substrate and arranged between the substrate and the rigid electrode, the membrane having a first surface (F1) and a second surface (F2), the first and second surfaces being in fluid communication, respectively, with a first chamber (6a) and a second chamber (6b), the first chamber being delimited at least in part by a first wall portion (W1, L1) and a second wall portion (W2, L2) formed at least in part by the substrate, the second chamber being delimited at least in part by the rigid electrode, the membrane being moreover designed to undergo deformation following upon the incidence of pressure waves and facing the rigid electrode so as to form a sensing capacitor having a capacitance that varies as a function of the deformation of the membrane;
- 10 characterized in that it comprises a beam (22), which is connected to said first and second wall portions and is designed to limit the oscillations of the membrane (2).
- 25 2. The microelectromechanical sensing structure according to claim 1, wherein the beam (22) is arranged in such a way that:
- in the presence of pressure waves of large amplitude, a portion of the membrane (2) abuts against the beam (22); and
- in the presence of pressure waves of small amplitude, said portion of the membrane is free to oscillate.
- 30 3. The microelectromechanical sensing structure according to claim 1 or claim 2, further comprising a perforated diaphragm (X), which extends into the first chamber (6a) delimiting a first portion (7a) and a second portion (7b) of the first
- 35

chamber and forming an opening (TH), which sets in communication the first and second portions of the first chamber and is delimited by the first and second wall portions (W1, W2); and wherein the beam (22) extends into the opening.

5

4. The microelectromechanical sensing structure according to claim 3, wherein the opening (TH) is entirely overlaid by the membrane (2), the membrane having a membrane thickness (h_2) and remaining at a distance from the beam (22), in the resting condition, comprised between two and four times the membrane thickness.

5. The microelectromechanical sensing structure according to claim 3 or claim 4, wherein the beam (22) is elongated along an axis (MT), the first and second surfaces (F1, F2) being parallel to said axis when the membrane (2) is in the resting condition.

6. The microelectromechanical sensing structure according to claim 5, wherein the beam (22) forms a contact surface (24b), designed to contact the membrane (2) and having an area not greater than 30% of the area of a cross section of the opening (TH), taken in a plane coplanar to the contact surface.

7. The microelectromechanical sensing structure according to any one of the preceding claims, wherein the beam (22) has a thickness equal to the thickness of the substrate (5).

8. The microelectromechanical sensing structure according to any one of the preceding claims, wherein the beam (22) is made of semiconductor material.

9. A microelectromechanical acoustic transducer (30) comprising a sensitive structure (20) according to any one of the preceding claims and an electronic read circuit (31)

operatively coupled to said sensitive structure and configured for supplying an electrical detection signal, indicating the capacitance of said sensing capacitor.

5 10. An electronic device (60) comprising an acoustic transducer according to claim 9, said electronic device (60) being chosen in the group comprising: a cellphone, a personal digital assistant, a notebook, a voice recorder, an audio player with functions of voice recorder, a console for
10 videogames, a hydrophone, or a hearing-aid device.

11. A process for manufacturing a microelectromechanical sensing structure for a capacitive acoustic transducer (30), comprising the steps of:

15 - forming a substrate (5) of semiconductor material;
- forming a rigid electrode (4a) of conductive material; and
- forming a membrane (2) of conductive material in such a way that the membrane is connected to the substrate and is arranged between the substrate and the rigid electrode, the
20 membrane having a first surface (F1) and a second surface (F2), the first and second surfaces being in fluid communication, respectively, with a first chamber (6a) and a second chamber (6b), the first chamber being delimited at least in part by a first wall portion (W1, L1) and a second
25 wall portion (W2, L2) formed at least in part by the substrate, the second chamber being delimited at least in part by the rigid electrode, the membrane being moreover designed to undergo deformation following upon incidence of pressure waves and facing the rigid electrode so as to form a sensing
30 capacitor having a capacitance that varies as a function of the deformation of the membrane;
characterized in that it comprises the step of forming a beam (22) in such a way that said beam is connected to said first and second wall portions and is designed to limit the
35 oscillations of the membrane (2).

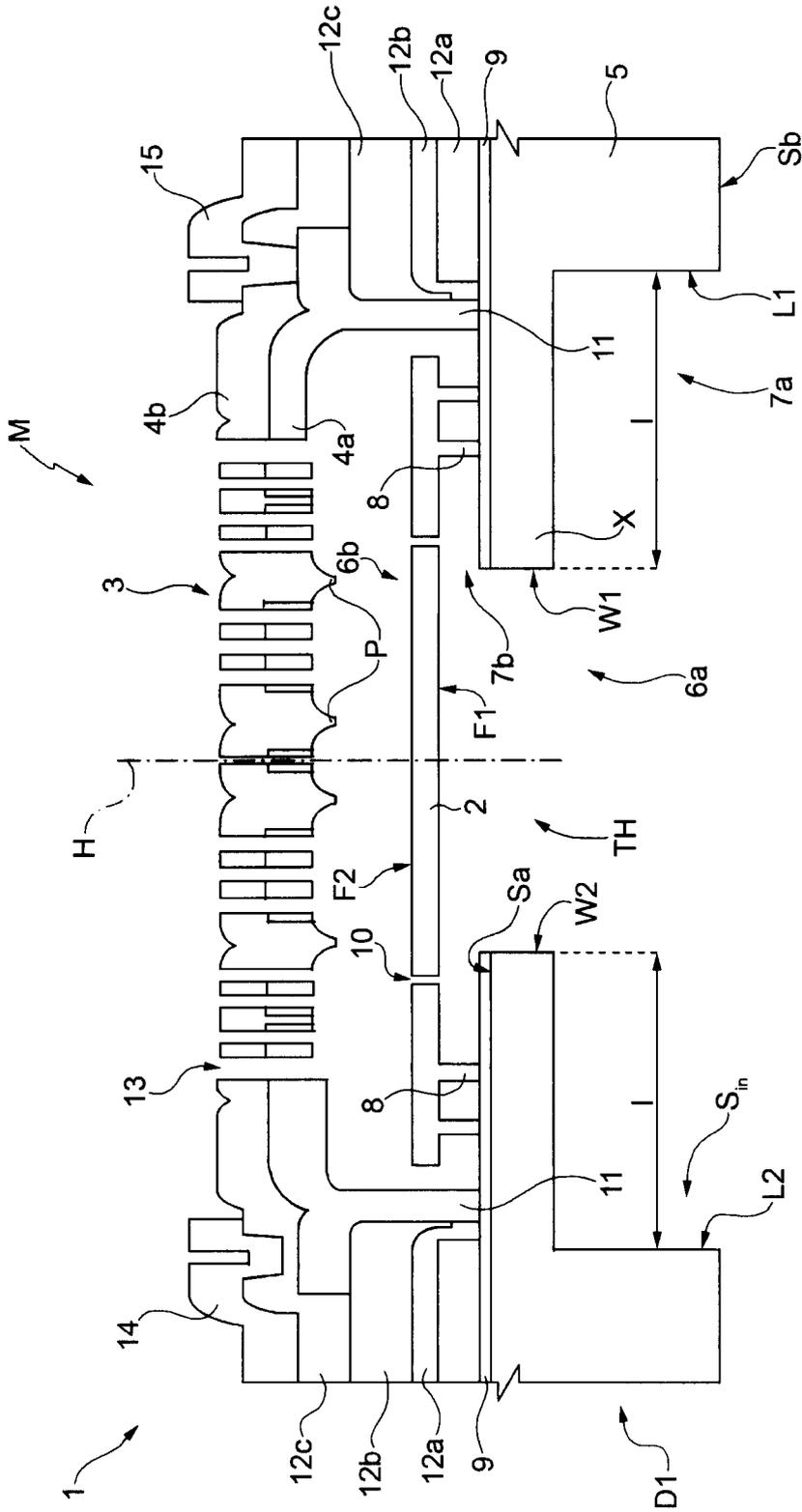


FIG. 1

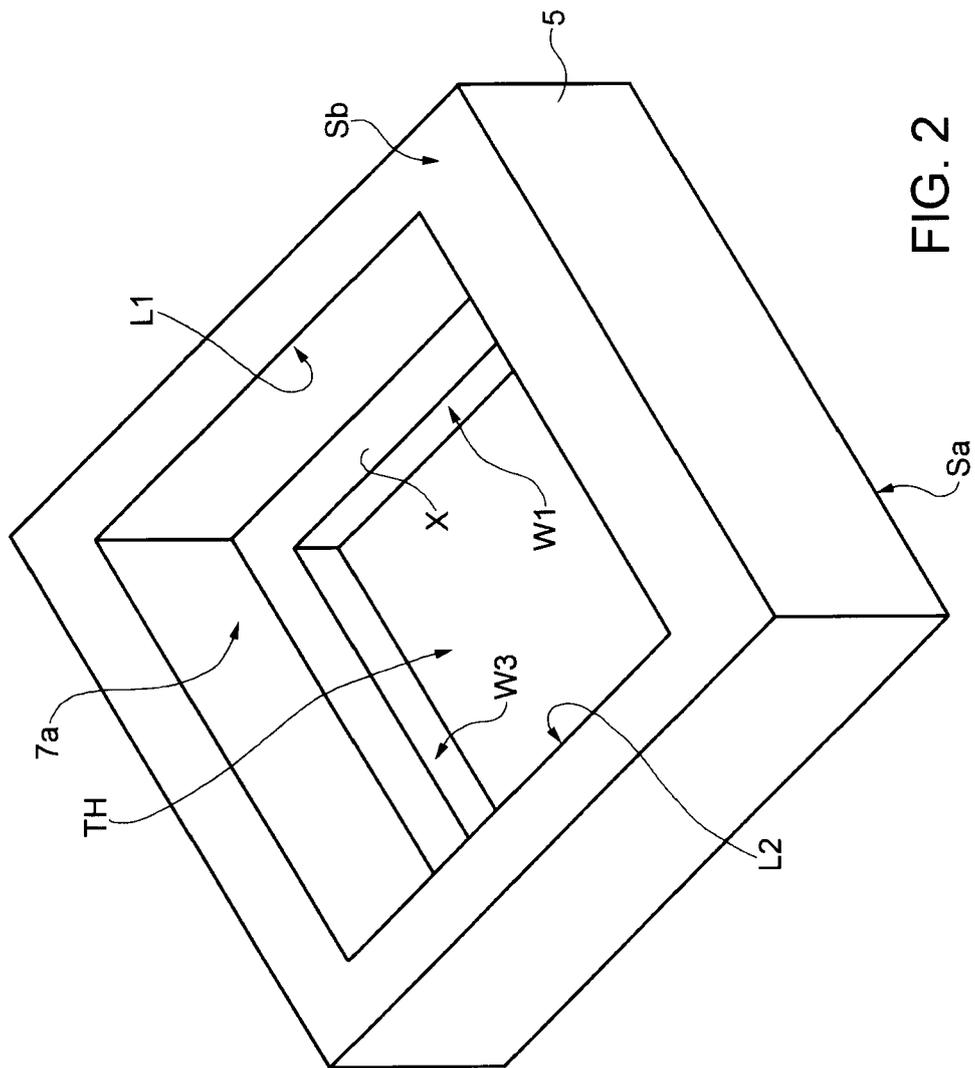


FIG. 2

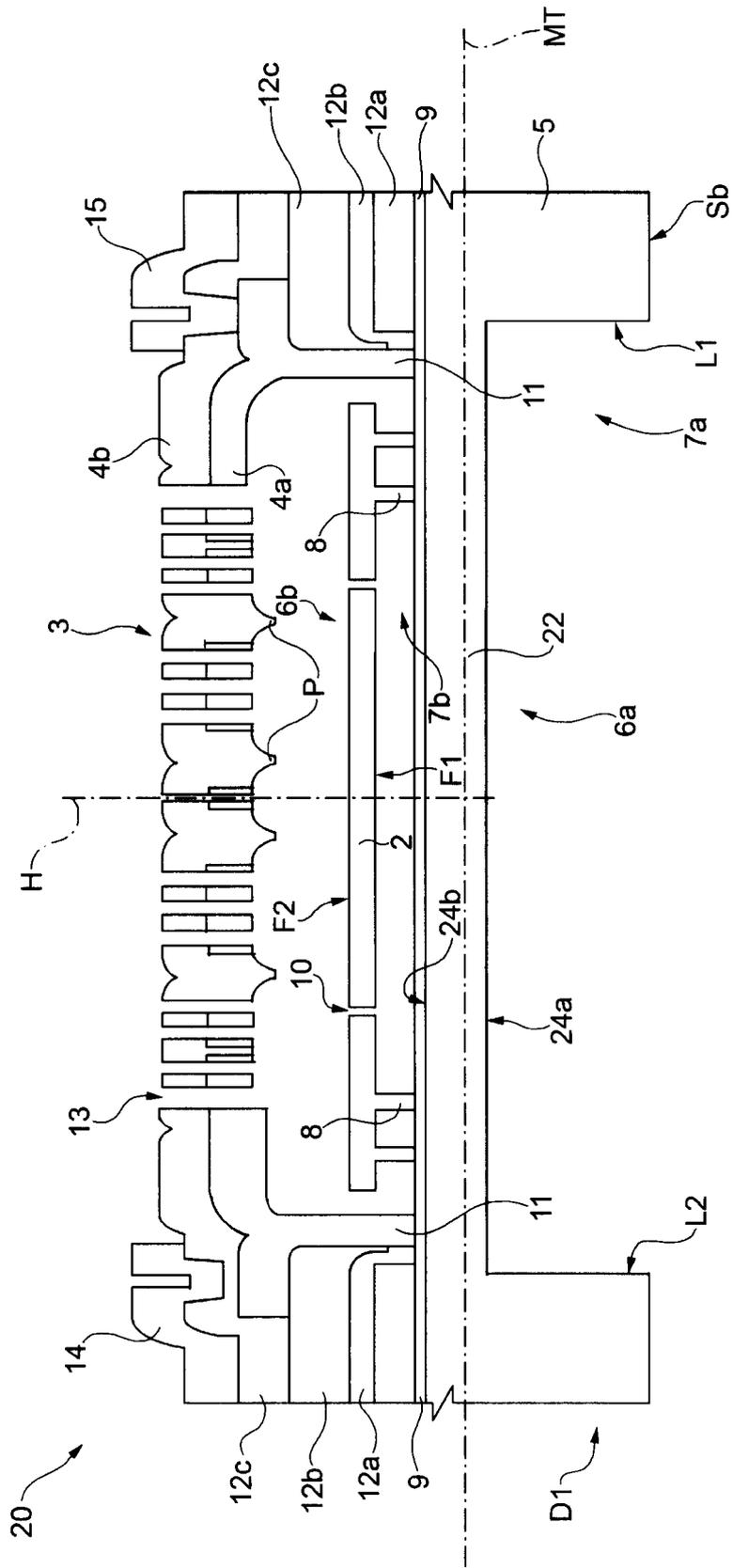


FIG. 3

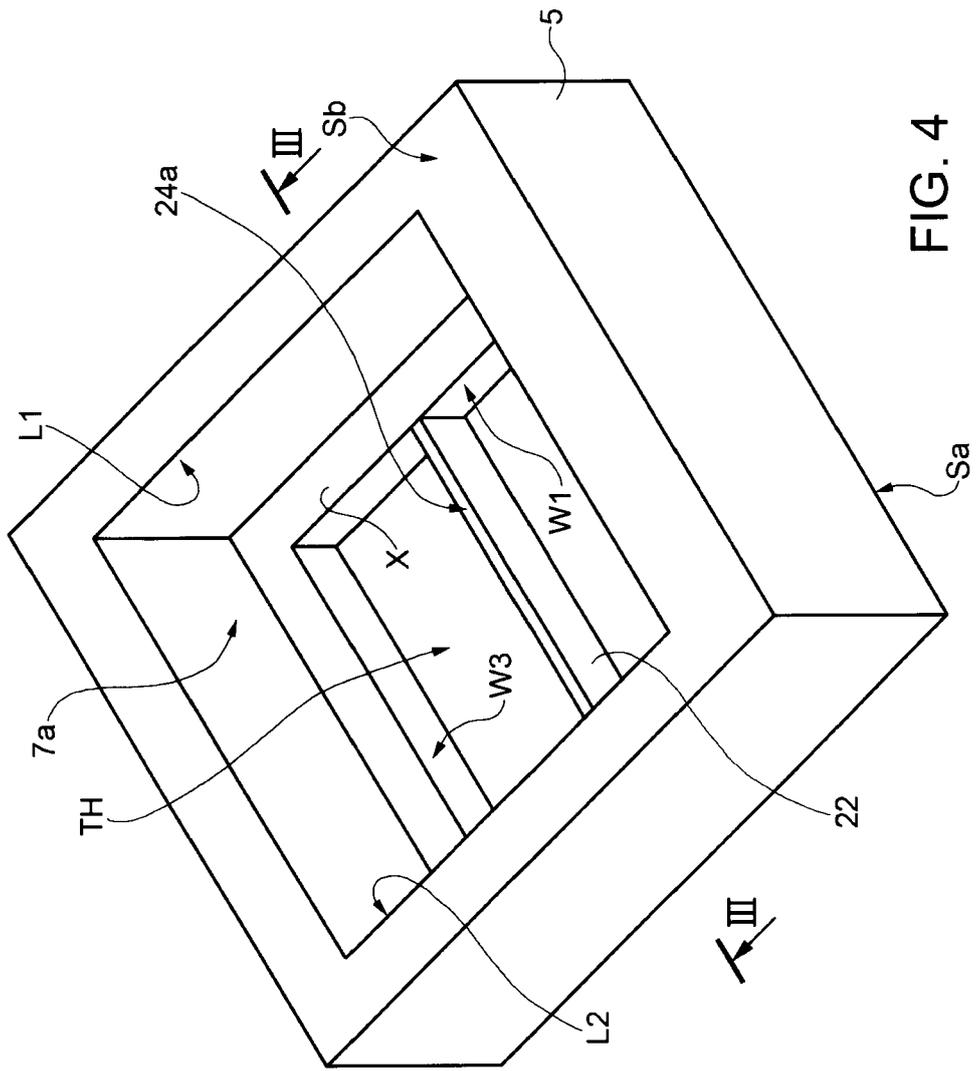


FIG. 4

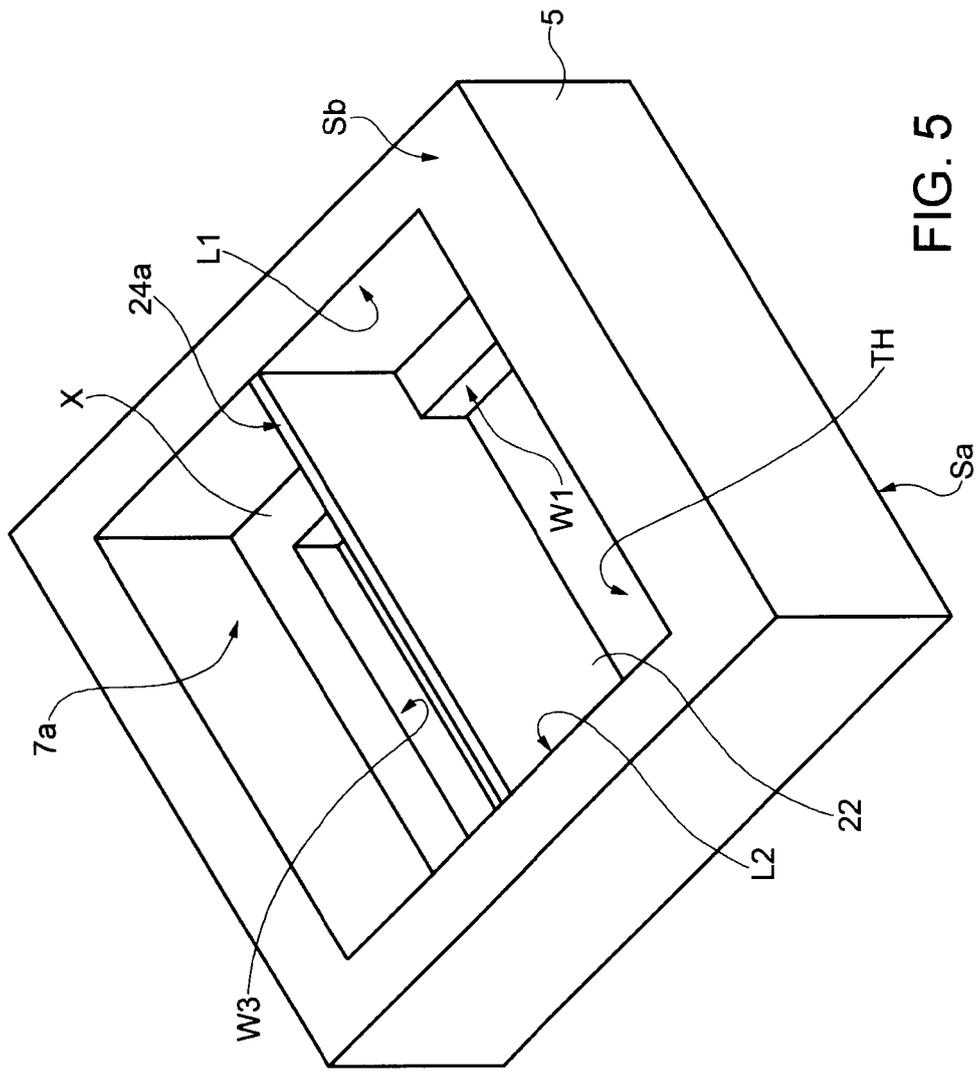


FIG. 5

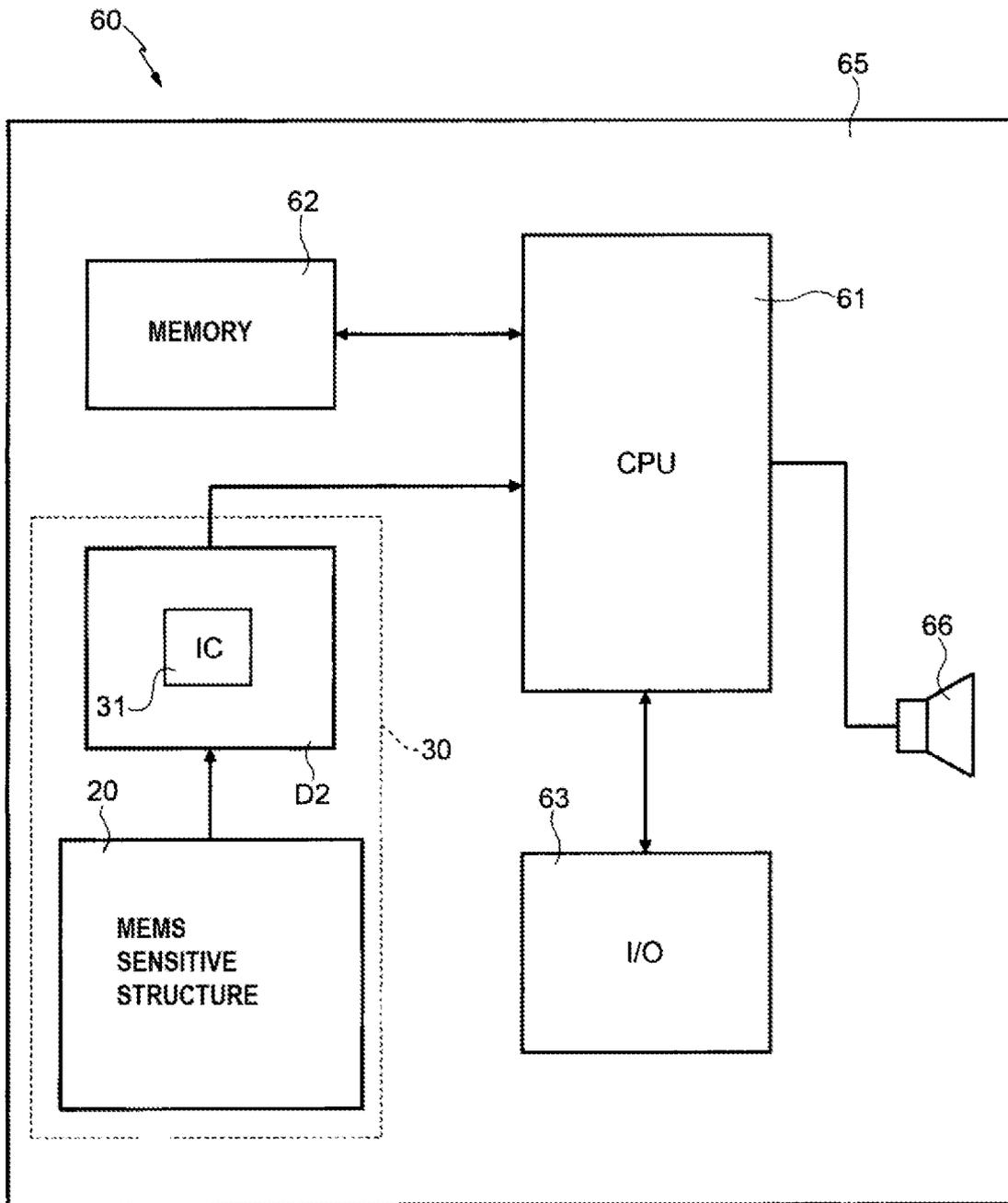


FIG. 6

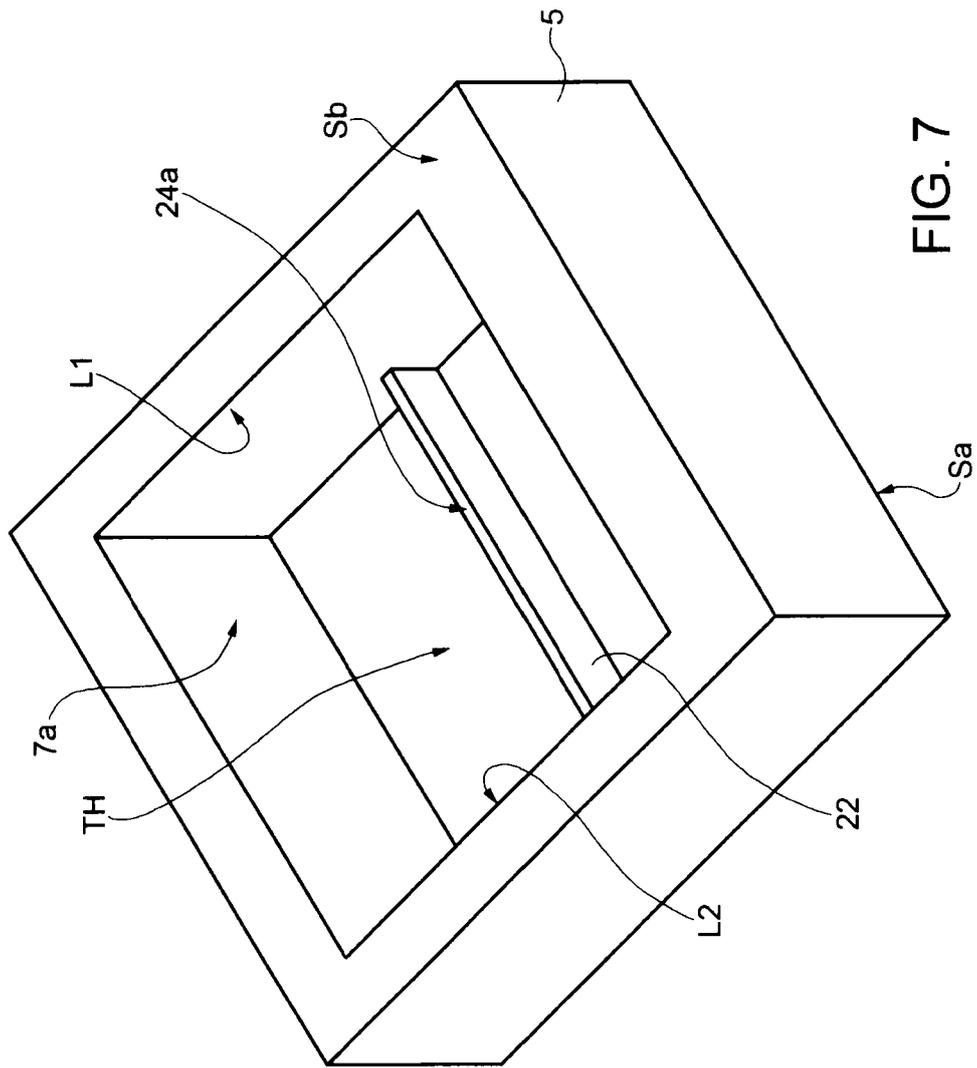


FIG. 7