

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102008901690340A1

Publication Date

20100623

Applicant

STMICROELECTRONICS (ROUSSET) SAS

Title

TRASDUTTORE ACUSTICO INTEGRATO IN TECNOLOGIA MEMS E
RELATIVO PROCESSO DI FABBRICAZIONE

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"TRASDUTTORE ACUSTICO INTEGRATO IN TECNOLOGIA MEMS E
RELATIVO PROCESSO DI FABBRICAZIONE"

di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA C. OLIVETTI, 2

AGRATE BRIANZA (MI)

Inventori: MERASSI Angelo Antonio, ZERBINI Sarah, CORONATO
Luca

* * *

La presente invenzione è relativa ad un trasduttore
acustico integrato in tecnologia MEMS ed al relativo
processo di fabbricazione, ed in particolare ad un
microfono microelettromeccanico (MEMS) di tipo capacitivo
con elettrodo mobile a membrana sospesa e stress residui
ridotti.

Come noto, un trasduttore acustico, ad esempio un
microfono MEMS, di tipo capacitivo comprende generalmente
un elettrodo mobile, realizzato come diaframma o membrana,
disposto affacciato ad un elettrodo fisso, a realizzare i
piatti di un condensatore. L'elettrodo mobile è
generalmente ancorato, mediante una sua porzione
perimetrale, ad un substrato, mentre una sua porzione
centrale è libera di muoversi o flettersi in risposta ad

una pressione di onda sonora agente su una superficie dell'elettrodo mobile. Poiché l'elettrodo mobile e l'elettrodo fisso realizzano un condensatore, la flessione della membrana che costituisce l'elettrodo mobile causa una variazione di capacità del condensatore. In uso, tale variazione di capacità viene trasformata in segnale elettrico, fornito come segnale di uscita del microfono MEMS.

Alternativamente a microfoni MEMS di tipo capacitivo, sono noti microfoni MEMS in cui il movimento della membrana è rilevato per mezzo di elementi di tipo piezoresistivo, piezoelettrico, ottico, o anche sfruttando l'effetto tunnel.

Microfoni MEMS di tipo noto sono tuttavia soggetti a problemi derivanti da stress residui (compressivi o tensili) interni allo strato che realizza la membrana. I fattori che incidono sullo stress sono molteplici, e sono dovuti ad esempio alle proprietà dei materiali utilizzati, alle tecniche di deposizione di tali materiali, alle condizioni (temperatura, pressione, ecc.) a cui avviene la deposizione e ad eventuali successivi trattamenti termici.

Stress residui sono spesso causa di deformazioni meccaniche della membrana, come ad esempio incurvamenti, e possono influire in modo significativo sulle prestazioni del microfono MEMS, ad esempio riducendone la sensibilità.

Pur essendo possibile controllare parzialmente l'ammontare di stress residuo nella membrana mediante un opportuno progetto della membrana stessa e valutando le condizioni di fabbricazione ottime, il risultato ottenuto non è soddisfacente per applicazioni in cui è richiesta una elevata sensibilità. In questi casi infatti il comportamento meccanico in risposta a sollecitazioni di onde sonore è comunque dominato dal livello di stress residuo nella membrana.

Per superare questi problemi, in WO 2008/103672 viene descritto un microfono MEMS di tipo capacitivo in cui l'elettrodo mobile (a membrana di forma circolare) è sospeso su una cavità per mezzo di un singolo elemento di ancoraggio solidale ad una trave di supporto realizzata nello stesso strato in cui è formato l'elettrodo fisso. Il punto di accoppiamento dell'elemento di ancoraggio con l'elettrodo mobile è situato nel centro della membrana che forma l'elettrodo mobile. In questo modo l'elettrodo mobile può rilasciare gli stress residui attraverso libere contrazioni o espansioni radiali.

Tuttavia, elettrodi mobili a membrana sospesi all'elettrodo fisso mediante un ancoraggio centrale sono facilmente soggetti, durante l'uso, a modi di beccheggio e rollio indesiderati, che causano un degrado delle prestazioni del microfono MEMS, che utilizza tali elettrodi

mobili.

Scopo della presente invenzione è fornire un trasduttore acustico integrato in tecnologia MEMS ed il relativo processo di fabbricazione privi degli inconvenienti dell'arte nota.

Secondo la presente invenzione viene realizzato un trasduttore acustico integrato in tecnologia MEMS ed il relativo processo di fabbricazione come definito nelle rivendicazioni 1 e 10.

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

- la figura 1 mostra una vista dall'alto di un assemblaggio di piatto rigido di un trasduttore acustico secondo una forma di realizzazione della presente invenzione;

- la figura 2 mostra una vista in sezione di un assemblaggio di piatto rigido e membrana mobile del trasduttore acustico di figura 1, lungo una linea di sezione II-II di figura 1;

- le figure 3-8 mostrano una vista in sezione di metà dell'assemblaggio di figura 2 durante fasi di fabbricazione successive;

- la figura 9 mostra una vista dall'alto di un

assemblaggio di piatto rigido di un trasduttore acustico secondo un'altra forma di realizzazione della presente invenzione;

- la figura 10 mostra una vista in sezione di un assemblaggio di piatto rigido e membrana mobile del trasduttore acustico di figura 9, lungo una linea di sezione X-X di figura 9;

- la figura 11 mostra una vista prospettica dell'assemblaggio di figura 10;

- la figura 12 mostra una vista dall'alto di un assemblaggio di piatto rigido di un trasduttore acustico secondo un'ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione;

- la figura 13 mostra una vista in sezione di un assemblaggio di piatto rigido e membrana mobile del trasduttore acustico di figura 12, lungo una linea di sezione XIII-XIII di figura 12;

- la figura 14 mostra una vista prospettica dell'assemblaggio di figura 13; e

- la figura 15 mostra un dispositivo che utilizza un trasduttore acustico secondo una delle forme di realizzazione di figura 1, 9 o 12.

Le figure 1 e 2 mostrano, rispettivamente, una vista dall'alto e una vista in sezione di un assemblaggio di una membrana ed un piatto rigido di un trasduttore acustico

integrato in tecnologia MEMS, ad esempio microfono microelettromeccanico (MEMS), secondo una forma di realizzazione della presente invenzione. Per semplicità, nel seguito ci si riferirà a tale assemblaggio generalmente come microfono MEMS 1, pur non essendo mostrata l'elettronica di alimentazione e condizionamento dei segnali, comunque necessaria e pur non essendo la descrizione limitata in modo particolare ad un microfono, ma essendo valida per qualsiasi trasduttore acustico.

Con riferimento congiunto alle figure 1 e 2, il microfono MEMS 1 è un microfono di tipo capacitivo e comprende una membrana 2, mobile, affacciata ad un piatto rigido 3 ("back plate"), fisso. La membrana 2 è sospesa al di sopra di una cavità 5 ed è sostenuta da una o più travi ("beam") di supporto 7 (solo una mostrata in figura) attraverso una pluralità di elementi di sostegno 6, accoppiati ad una rispettiva porzione della membrana 2 compresa tra il centro 2' ed un bordo perimetrale 2" della membrana 2. Come visibile in figura 1, la trave di supporto 7 può comprendere una porzione portante di trave 7a ed una pluralità di porzioni di appendice di trave 7b, solidali alla porzione portante di trave 7a. Gli elementi di sostegno 6 possono essere realizzati sia tra le porzioni di appendice di trave 7b e la membrana 2 sia tra la porzione portante di trave 7a e la membrana 2. Preferibilmente, la

trave di supporto 7 è formata nello stesso strato in cui è formato il piatto rigido 3 ed è separata dal piatto rigido 3 mediante un intaglio 9, formato ad esempio mediante tecniche di attacco chimico ("etching"). In questo modo, il piatto rigido 3 è suddiviso dalla trave di supporto 7 in due regioni di piatto rigido 3', laterali alla trave di supporto 7 stessa. Le due regioni di piatto rigido 3' possono essere elettricamente collegate tra loro, ad esempio mediante un pista di collegamento 13, di materiale conduttivo.

Inoltre, il piatto rigido 3, la trave di supporto 7, gli elementi di sostegno 6 e la membrana 2 sono vantaggiosamente realizzati dello stesso materiale conduttivo, ad esempio polisilicio drogato, semplificando in questo modo il processo di fabbricazione ed eliminando eventuali problemi dovuti alla non adesione degli elementi di sostegno 6 alla trave di supporto 7 e al diaframma 2.

Il piatto rigido 3 può comprendere una pluralità di fori 8, di forma qualsiasi, preferibilmente circolare, aventi la funzione di favorire, durante le fasi di fabbricazione, la rimozione di strati sottostanti (come meglio spiegato nel seguito) e, in uso, di consentire la libera circolazione di aria tra il piatto rigido 3 e la membrana 2, riducendo l'effetto di smorzamento "squeeze film". Per gli stessi motivi, anche la trave di supporto 7

può comprendere una pluralità di fori 8.

Il piatto rigido 3 e la trave di supporto 7 sono ancorati ad un substrato 10 tramite rispettive porzioni di ancoraggio di piatto 11 e porzioni di ancoraggio di trave 12.

Le porzioni di ancoraggio di piatto 11 comprendono, preferibilmente, zone periferiche del piatto rigido 3, che includono ad esempio l'intero contorno del piatto rigido 3, e sono isolate dal substrato 10 da uno o più strati di isolamento, ad esempio, come mostrato in figura, da un primo e da un secondo strato di isolamento 15, 16. Oltre alla funzione di isolamento del substrato 10 dal piatto rigido 3, il primo ed il secondo strato di isolamento 15, 16 hanno rispettivamente la funzione, durante le fasi di fabbricazione, di separare la membrana 2 dal substrato 10, e di consentire la separazione tra il piatto rigido 3 e la membrana 2.

Le porzioni di ancoraggio di trave 12 comprendono, preferibilmente, due o più lati tra loro opposti della trave di supporto 7 e sono separate dal substrato 10 da uno o più strati di isolamento, ad esempio, come mostrato in figura, dal primo e dal secondo strato di isolamento 15, 16, analogamente a quanto illustrato con riferimento alle porzioni di ancoraggio di piatto 11.

La trave di supporto 7 e la membrana 2 sono tra loro

meccanicamente ed elettricamente connesse tramite gli elementi di sostegno 6, ed isolate dal piatto rigido 3. Di conseguenza, la membrana 2 e il piatto rigido 3 realizzano armature gli elettrodi di un condensatore, e l'aria che fluisce tra la membrana 2 e il piatto rigido 3 attraverso i fori 8 realizza il dielettrico interposto tra gli elettrodi del condensatore. Per implementare le operazioni di un microfono di tipo capacitivo, il piatto rigido 3 e la membrana 2 devono essere opportunamente polarizzati, mentre il substrato 10 fornisce il segnale di riferimento di terra. A tal fine, sono previste una prima piazzola 20, di materiale conduttivo ed in contatto elettrico con la membrana 2, preferibilmente disposta sulla trave di supporto 7 per polarizzare la membrana 2 stessa; una seconda piazzola 21, di materiale conduttivo, disposta a contatto diretto con il piatto rigido 3, per polarizzare il piatto rigido 3 stesso; ed una terza piazzola 23, anch'essa di materiale conduttivo, disposta in contatto elettrico con un contatto di terra 22, a sua volta a contatto diretto con il substrato 10, per prelevare il segnale di riferimento di terra.

In uso, la cavità 5 ha la funzione di porta di ingresso acustico, per permettere a onde di pressione sonora 25, schematizzate in figura come frecce, di entrare e deformare dinamicamente la membrana 2. Alternativamente,

in modo non mostrato in figura, le onde di pressione sonora 25 possono raggiungere la membrana 2 attraverso i fori 8.

Poiché la membrana 2 non è ancorata lungo il suo bordo perimetrale 2", gli stress residui della membrana 2 vengono rilasciati attraverso libere contrazioni o espansioni radiali. Inoltre, grazie alla presenza della pluralità di elementi di sostegno 6, la membrana 2 è scarsamente soggetta a errori di rilevazione dovuti a modi di beccheggio e rollio, non desiderati.

Le rispettive rigidezze del piatto rigido 3, della trave di supporto 7 e della membrana 2 possono essere utilizzate per variare le caratteristiche di sensibilità del microfono MEMS 1.

Poiché la trave di supporto 7 ha uno spessore maggiore della membrana 2, ad esempio è spessa da tre a cinque volte la membrana 2, in uso la variazione di capacità è causata principalmente dalla deformazione della membrana 2, mentre lo spostamento relativo della trave di supporto 7 (a cui, come detto, è ancorata la membrana 2) rispetto al piatto rigido 3 è trascurabile.

Il microfono MEMS 1 di figura 2 viene realizzato secondo il processo descritto nel seguito e rappresentato nelle figure 3-8, solo relativamente a metà del microfono MEMS 1 stesso.

Inizialmente, figura 3, un primo strato di isolamento

15, ad esempio ossido di silicio avente uno spessore compreso tra $1\mu\text{m}$ e $3\mu\text{m}$, preferibilmente $2.6\mu\text{m}$, viene cresciuto su un substrato 10, ad esempio di silicio di spessore pari a $500\mu\text{m}$, di una fetta ("wafer") 30. Quindi, uno strato di membrana 32, ad esempio polisilicio, viene depositato sulla fetta 30 al di sopra del primo strato di ossido di isolamento 15. Poiché, come meglio descritto nel seguito, lo strato di membrana 32 formerà, al termine delle fasi di fabbricazione, la membrana 2 sospesa, il suo spessore deve essere attentamente controllato durante la fase di deposito per ottenere valori desiderati di flessibilità e solidità meccanica. Ad esempio, lo strato di membrana 32 può avere uno spessore compreso tra $0.5\mu\text{m}$ e $1.5\mu\text{m}$, preferibilmente pari a $0.9\mu\text{m}$.

Quindi, lo strato di membrana 32 viene drogato mediante impiantazione di specie ioniche di tipo N^+ , per incrementarne la conducibilità, ed una successiva fase di cottura ("annealing"), ad esempio ad una temperatura di 1050°C per 90 minuti, favorisce la diffusione e l'attivazione delle specie ioniche droganti e la riduzione dello stress tensile del strato di membrana 32 all'interfaccia con il primo strato di isolamento 15.

In seguito, figura 4, mediante fasi successive di litografia e attacco, ad esempio utilizzando un attacco secco, lo strato di membrana 32 viene selettivamente

rimosso ad eccezione della zona in cui si vuole formare la membrana 2.

Quindi, figura 5, un secondo strato di isolamento 16, ad esempio ossido TEOS avente uno spessore compreso tra $1\mu\text{m}$ e $2\mu\text{m}$, preferibilmente $1.6\mu\text{m}$, viene depositato sulla fetta 30, densificato e quindi planarizzato.

Successive fasi di litografia e attacco (ad esempio attacco umido mediante BOE) del primo e del secondo strato di isolamento 15, 16 consentono la formazione di una apertura 35 per il contatto di terra 22.

In seguito, vengono formate, mediante attacco secco, terze aperture 38 (solo una mostrata in figura) nel secondo strato di isolamento 16, fino a raggiungere ed esporre rispettive porzioni superficiali dello strato di membrana 32. Le terze aperture 38 permettono di formare, come descritto in seguito, gli elementi di sostegno 6.

Quindi, figura 6, uno strato di piatto rigido 39 viene formato sulla fetta 30, per riempire l'apertura 35 e formare uno strato spesso al di sopra di essa. Vantaggiosamente lo strato di piatto rigido 39 è costituito da polisilicio epitassiale, di spessore compreso tra $4\mu\text{m}$ e $8\mu\text{m}$, preferibilmente di $6\mu\text{m}$. Lo strato di piatto rigido 39 viene quindi planarizzato, ad esempio mediante pulitura chimico meccanica (CMP, "Chemical Mechanical Polishing"), ottenendo uno spessore finale compreso tra i $3\mu\text{m}$ e i $7\mu\text{m}$,

preferibilmente $5\mu\text{m}$, mentre una successiva fase di impiantazione, attivazione e diffusione di specie droganti di tipo N^+ , ad esempio arsenico, permette di incrementare la conducibilità dello strato di piatto rigido 39.

Quindi viene depositato sulla fetta 30 uno strato conduttivo, ad esempio alluminio con spessore di $0.7\mu\text{m}$, e definito mediante attacco umido per formare la prima, la seconda e la terza piazzola 20, 21, 23. In figura, a titolo esemplificativo, le piazzole 20, 21, 23 sono disposte al di sopra e a contatto diretto con la trave di supporto 7 ed il piatto rigido 3. Tuttavia, può risultare vantaggioso realizzare le piazzole 20, 21, 23 in un'area del substrato 10 non occupata dalla trave di supporto 7 e dal piatto rigido 3 (in modo non mostrato in figura) e collegarle elettricamente a questi ultimi tramite piste conduttive. In seguito, figura 7, un primo strato di maschera 45, ad esempio di SiC (carburo di silicio), viene depositato su una superficie superiore della fetta 30, mentre un secondo strato di maschera 47, ad esempio di SiN e/o SiC , viene depositato sul retro della fetta 30.

Come mostrato in figura 8, il primo strato di maschera 45 viene selettivamente rimosso esponendo porzioni dello strato di piatto rigido 39. Una successiva fase di attacco, ad esempio attacco secco, permette di rimuovere le porzioni dello strato di piatto rigido 39 esposte, ma non le

porzioni protette dal primo strato di maschera 45. Si definiscono in questo modo il piatto rigido 3, la trave di supporto 7 i fori 8 del piatto rigido 3 e della trave di supporto 7, l'intaglio 9 ed il contatto di terra 22.

Quindi, il secondo strato di maschera 47 viene selettivamente rimosso in modo da lasciare scoperta una porzione del retro del substrato 10, sottostante lo strato di membrana 32. Il substrato 10 viene quindi rimosso, ad esempio mediante attacco secco DRIE, nelle porzioni non protette dal secondo strato di maschera 47, formando la cavità 5.

Infine, un attacco umido sia sul fronte che sul retro della fetta 30 permette di rimuovere le porzioni del primo e del secondo strato di isolamento 15, 16 circondanti lo strato di membrana 32, portando così alla formazione della membrana 2, sospesa sulla cavità 5. Il primo e il secondo strato di maschera 45, 47 vengono quindi rimossi, realizzando il microfono MEMS 1 di figura 2.

Risulta chiaro che le fasi di fabbricazione descritte possono essere utilizzate per fabbricare una pluralità di microfoni MEMS 1 su una stessa fetta 30.

Le figure 9-11 mostrano un microfono MEMS 1 secondo un'ulteriore forma di realizzazione. In dettaglio, la figura 9 mostra una vista dall'alto del microfono MEMS 1, la figura 10 una vista in sezione del microfono MEMS 1

lungo una sezione X-X di figura 9, e la figura 11 una vista prospettica del microfono MEMS 1, tutte secondo tale forma di realizzazione.

In questo caso, il microfono MEMS 1 comprende una singola trave di supporto 7, includente una porzione portante di trave 7a ancorata al substrato 10 mediante due porzioni di ancoraggio di trave 12, e quattro porzioni di appendice di trave 7b che dipartono dalla porzione portante di trave 7a e aventi, in vista dall'alto, una forma a X. Gli elementi di sostegno 6 sono formati, in questo caso, ciascuno su una rispettiva porzione di appendice di trave 7b.

Vantaggiosamente, come visibile in figura 11, gli elementi di sostegno 6 sono accoppiati alla membrana 2 attraverso molle 51, solidali alla membrana 2 e realizzate durante la fase di attacco dello strato di membrana 32 (figura 4).

Le molle 51, giacenti sullo stesso piano in cui giace la membrana 2, possono avere ad esempio una forma allungata a sbalzo (anche detta forma a "cantilever") con dimensioni pari a 50-200 μ m di lunghezza L_A , 20-40 μ m di larghezza L_B e spessore pari allo spessore della membrana 2. Più precisamente, le molle 51 sono ricavate intagliando la membrana 2; in questo modo, ciascuna molla 51 è circondata dalla membrana 2, da cui è parzialmente separata mediante

una trincea 52, ottenuta mediante tecniche di micromachining di tipo noto.

Le molle 51 hanno la duplice funzione di conferire alla membrana 2 una maggiore flessibilità per movimenti ortogonali al piano su cui giace la membrana 2 stessa, e liberare ulteriormente gli stress residui della membrana 2 derivanti dal processo di fabbricazione e dall'ancoraggio alla trave di supporto 7, consentendo libere contrazioni o espansioni radiali (nel piano in cui giace la membrana 2) anche in prossimità dei punti di connessione con gli elementi di sostegno 6, grazie alla presenza della trincea 52.

Per ottimizzare il rilascio degli stress della membrana 2 e la stabilità di oscillazione della membrana 2 durante l'uso, i punti di ancoraggio tra gli elementi di sostegno 6 alla membrana 2, tramite la rispettiva molla 51, sono preferibilmente posizionati ad una distanza dal centro della membrana 2 preferibilmente pari a $d/(2\cdot\sqrt{2})$, dove d è la diagonale della membrana 2 (unente due vertici opposti della membrana 2 in caso di membrana quadrangolare mostrata in figura).

Le figure 12-14 mostrano un microfono MEMS 1 secondo un'altra forma di realizzazione. In maggior dettaglio, la figura 12 mostra una vista dall'alto del microfono MEMS 1, la figura 13 una vista in sezione del microfono MEMS 1

lungo una sezione XIII-XIII di figura 12, e la figura 14 una vista prospettica del microfono MEMS 1, tutte secondo questa forma di realizzazione.

Come mostrato nelle figure 12-14, il microfono MEMS 1 comprende, secondo questa forma di realizzazione, una trave di supporto 7 formata da una pluralità di porzioni portanti di trave 7a (ad esempio quattro come mostrato nelle figure) e da una porzione centrale di trave 7c. Le porzioni portanti di trave 7a dipartono, a coppie, da lati opposti della porzione centrale 7c, e sono ancorate al substrato mediante rispettive porzioni di ancoraggio di trave 12. La porzione centrale di trave 7c ha, ad esempio, forma quadrangolare, e porta inoltre una pluralità di porzioni di appendice di trave 7b. In figura sono mostrate quattro porzioni di appendice di trave 7b, estendentisi ciascuna su un rispettivo lato della porzione centrale di trave 7c e comprendenti ciascuna un elemento di sostegno 6 accoppiato alla membrana 2.

Le porzioni di ancoraggio di piatto 11 del piatto rigido 3, secondo questa forma di realizzazione, non comprendono l'intero contorno del piatto rigido 3, ma sono realizzate da appendici del piatto rigido 3 analoghe, come forma e dimensioni, alle porzioni portanti di trave 7a, seppur di lunghezza inferiore a queste ultime. Inoltre, i punti di ancoraggio al substrato 10 delle porzioni di

ancoraggio di piatto 11 e delle porzioni di ancoraggio di trave 12 sono posizionati a breve distanza tra loro. In questo modo, stress esterni al microfono MEMS 1 (ad esempio, se il microfono MEMS 1 viene inserito all'interno di un package, una deflessione del package stesso) causeranno una deflessione o spostamento del piatto rigido 3 e della trave di supporto 7 (e quindi della membrana 2) di circa uguale entità, rendendo così le funzionalità del microfono MEMS 1 meno influenzate da questo tipo di stress esterni.

Con riferimento alle figure 13 e 14, vantaggiosamente anche in questa forma di realizzazione, gli elementi di sostegno 6 sono ancorati alla membrana 2 attraverso molle 51, solidali alla membrana 2 ed analoghe alle molle 51 descritte con riferimento alle figure 10 e 11.

Come già discusso con riferimento alla forma di realizzazione di figura 1, le prime, seconde e terze piazzole 20, 21 e 22 sono disposte in modo esemplificativo. In particolare, in figura 12 sono mostrate due prime piazzole 21, ciascuna collegata ad una rispettiva regione di piatto rigido 3', per polarizzarla e/o prelevarne un segnale durante l'uso. Alternativamente, le due regioni di piatto rigido 3' possono essere elettricamente collegate tra loro mediante una pista conduttiva; in questo ultimo caso sarebbe necessaria una sola prima piazzola 21

collegata elettricamente ad una sola delle due regioni di piatto rigido 3'.

La figura 15 mostra un dispositivo elettronico 100 che utilizza uno o più microfoni MEMS 1 (un solo microfono MEMS 1 mostrato in figura).

Il dispositivo elettronico 100 comprende inoltre un microprocessore 101, un blocco di memoria 102, collegato al microprocessore 101, ed un'interfaccia di ingresso/uscita 103, ad esempio una tastiera ed un video, anch'essa collegata con il microprocessore 101. Il microfono MEMS 1 comunica con un microprocessore 101 tramite un blocco di trattamento di segnali 102, ad esempio un amplificatore. Inoltre, può essere presente un altoparlante 106, per generare un suono su un'uscita audio (non mostrata) del dispositivo elettronico 100.

Il dispositivo elettronico 100 è preferibilmente un dispositivo di comunicazione mobile, come ad esempio un cellulare, un PDA, un notebook, ma anche un registratore vocale, un lettore di file audio con capacità di registrazione vocale, ecc. In alternativa, il dispositivo elettronico 100 può essere un idrofono, in grado di lavorare sott'acqua.

Risulta infine chiaro che al microfono MEMS qui descritto ed illustrato possono essere apportate modifiche e varianti senza per questo uscire dall'ambito protettivo

della presente invenzione, come definito nelle rivendicazioni allegate.

Ad esempio la membrana 2 e il piatto rigido 3 possono avere una forma diversa dalla forma quadrangolare, ad esempio possono avere una forma circolare o poligonale a seconda delle necessità.

Allo stesso modo, la trave di supporto 7 può avere una forma diversa da quella mostrata e descritta con riferimento alle figure 1, 2, 9-14. Ad esempio può comprendere una sola porzione portante di trave 7a avente forma a "cantilever" ancorata al substrato mediante una sola porzione di ancoraggio di trave 12 o, al contrario, può comprendere una pluralità di porzioni portanti di trave 7a, anche separate tra loro, e può comprendere un numero qualsiasi di porzioni di appendice di trave 7b. Gli elementi di sostegno 6 possono essere disposti in qualunque modo e in qualunque numero tra la trave di supporto 7 e la membrana 2.

Inoltre, secondo qualsiasi forma di realizzazione, la membrana 2 può comprendere molle 51 di qualsiasi forma e dimensione, indipendentemente dalla forma della trave di supporto 7 e della membrana 2.

Infine, risulta chiaro che il piatto rigido 3, la membrana 2 e gli elementi di sostegno 6 possono essere realizzati in qualunque materiale conduttivo diverso dal polisilicio drogato, ad esempio oro o alluminio.

RIVENDICAZIONI

1. Trasduttore acustico MEMS, comprendente:

un substrato (10) dotato di una cavità (5);

una struttura di supporto (7), solidale a detto substrato;

una membrana (2) dotata di un bordo perimetrale (2'') e di un baricentro, detta membrana essendo sospesa al di sopra di detta cavità e fissata a detto substrato, con possibilità di oscillazione, tramite detta struttura di supporto,

caratterizzato dal fatto che detta struttura di supporto comprende una pluralità di elementi di ancoraggio (6) solidali a detta membrana, e ciascun elemento di ancoraggio essendo accoppiato ad una rispettiva porzione di detta membrana compresa tra il baricentro (2') ed il bordo perimetrale (2'') di detta membrana.

2. Trasduttore acustico MEMS secondo la rivendicazione 1, in cui la struttura di supporto comprende una regione portante (7a), il trasduttore comprendendo inoltre almeno un elettrodo (3) complanare a detta regione portante, disposto a distanza da detta membrana (2), ed elettricamente e meccanicamente separato da detta regione portante (7a).

3. Trasduttore acustico MEMS secondo la rivendicazione 2, in cui detta regione portante è sospesa al di sopra

della cavità e comprende una prima struttura di ancoraggio (12) solidale al substrato.

4. Trasduttore acustico MEMS secondo la rivendicazione 2 o 3, in cui detto elettrodo (3) comprende una pluralità di porzioni di elettrodo (3') meccanicamente separate tra loro.

5. Trasduttore acustico MEMS secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 2-4, in cui detta regione portante (7a) comprende almeno una porzione periferica solidale al substrato, una porzione sospesa ed una pluralità di porzioni di appendice (7b) estendentisi a partire da detta porzione sospesa, detti elementi di ancoraggio (6) essendo accoppiati ciascuno ad una rispettiva porzione di appendice (7b).

6. Trasduttore acustico MEMS secondo la rivendicazione 5, in cui detto elettrodo (3) comprende una propria porzione periferica (11) ancorata al substrato, detta porzione periferica (11) dell'elettrodo essendo disposta in prossimità di detta porzione periferica della struttura di supporto (7).

7. Trasduttore acustico MEMS secondo una delle rivendicazioni precedenti, in cui detta membrana comprende un elemento a molla (51) per ogni elemento di ancoraggio, detti elementi a molla essendo complanari a detta membrana (2) e parzialmente separati da detta membrana mediante una

trincea (52).

8. Trasduttore acustico MEMS secondo una delle rivendicazioni 2-7, in cui detta membrana (2) e detto elettrodo (3) sono di materiale conduttivo, preferibilmente polisilicio drogato, e sono affacciati a formare un condensatore.

9. Dispositivo elettronico, comprendente un trasduttore acustico MEMS secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, detto dispositivo elettronico essendo scelto nel gruppo comprendente: un cellulare, un PDA, un notebook, un registratore vocale, un lettore audio con funzionalità di registratore vocale, una consolle per videogiochi, un idrofono.

10. Processo di fabbricazione di un trasduttore acustico MEMS, comprendente le fasi di:

disporre un substrato (10);

formare, al di sopra di detto substrato, una struttura di supporto (7), solidale a detto substrato;

formare una membrana (2) sospesa al di sopra e fissata a detto substrato, con possibilità di oscillazione tramite detta struttura di supporto; e

formare una cavità (5) nel substrato al di sotto della membrana,

caratterizzato dal fatto di formare una pluralità di elementi di ancoraggio (6) interposti fra detta membrana e

detta struttura di supporto, ciascun elemento di ancoraggio essendo solidale ad una rispettiva porzione di detta membrana compresa tra il baricentro (2') ed un bordo perimetrale (2'') di detta membrana.

11. Processo secondo la rivendicazione 10, in cui la fase di formare una struttura di supporto comprende formare uno strato strutturale e definire detto strato strutturale in modo da formare detta struttura di supporto ed un elettrodo (3) elettricamente e meccanicamente separato da detta struttura di supporto.

12. Processo secondo la rivendicazione 11, in cui le fasi di formare la membrana e la struttura di supporto comprendono le fasi di:

formare un primo strato sacrificale (15) al di sopra del substrato;

formare uno strato di membrana (32) al di sopra di detto primo strato sacrificale (15);

definire detto strato di membrana (32);

formare un secondo strato sacrificale (16) al di sopra di detto strato di membrana;

rimuovere porzioni selettive di detto secondo strato sacrificale in aree destinate a formare gli elementi di ancoraggio;

depositare e definire detto strato strutturale (39) al di sopra di detto secondo strato sacrificale (16);

rimuovere detto primo strato sacrificale, in modo che detta membrana risulta sospesa al di sopra del substrato;

rimuovere parzialmente detto secondo strato sacrificale (16) in modo che l'elettrodo e la struttura di supporto si estendono a distanza dalla membrana (2).

13. Processo secondo la rivendicazione 12, in cui la fase di definire detto strato di membrana (32) comprende formare una pluralità di trincee (52) in modo da definire una pluralità di elementi a molla (51) solidali a e circondati da detta membrana, in corrispondenza degli elementi di ancoraggio.

14. Processo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 10-13, in cui la fase di formare una cavità comprendente scavare dal retro detto substrato per formare una porta acustica (5) affacciata a detta membrana.

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

Elena CERBARO

CLAIMS

1. A MEMS acoustic transducer, comprising:
a substrate (10) having a cavity (5);
a supporting structure (7), fixed to said substrate;
and
a membrane (2) having a perimetral edge (2'') and a centroid, said membrane being suspended above said cavity and fixed to said substrate, with the possibility of oscillation, through said supporting structure,
characterized in that said supporting structure comprises a plurality of anchorage elements (6) fixed to said membrane, each anchorage element being coupled to a respective portion of said membrane comprised between the centroid (2') and the perimetral edge (2'') of said membrane.
2. The MEMS acoustic transducer according to claim 1, wherein the supporting structure comprises a main region (7a), the transducer further comprising at least an electrode (3) coplanar to said main region, arranged at a distance from said membrane (2), and electrically and mechanically separate from said main region (7a).
3. The MEMS acoustic transducer according to claim 2, wherein said main region is suspended above the cavity and comprises a first anchorage structure (12) fixed to the substrate.

4. The MEMS acoustic transducer according to claim 2 or claim 3, wherein said electrode (3) comprises a plurality of electrode portions (3') mechanically separated from one another.

5. The MEMS acoustic transducer according to any one of claims 2-4, wherein said main region (7a) comprises at least one peripheral portion fixed to the substrate, a suspended portion, and a plurality of appendage portions (7b) extending from said suspended portion, said anchorage elements (6) being each coupled to a respective appendage portion (7b).

6. The MEMS acoustic transducer according to claim 5, wherein said electrode (3) comprises a peripheral portion (11) of its own anchored to the substrate, said peripheral portion (11) of the electrode being arranged in the proximity of said peripheral portion of the supporting structure (7).

7. The MEMS acoustic transducer according to any one of the preceding claims, wherein said membrane comprises a spring element (51) for each anchorage element, said spring elements being coplanar to said membrane (2) and partially separated from said membrane by means of a trench (52).

8. The MEMS acoustic transducer according to any one of claims 2-7, wherein said membrane (2) and said electrode (3) are made of conductive material, preferably doped

polysilicon, and face one another to form a capacitor.

9. An electronic device, comprising a MEMS acoustic transducer according to any one of the preceding claims, said electronic device being chosen in the group comprising: a cellphone, a PDA, a notebook, a voice recorder, an audio player with functionalities of voice recorder, a console for videogames, a hydrophone.

10. A process for manufacturing a MEMS acoustic transducer, comprising the steps of:

providing a substrate (10);

forming, on said substrate, a supporting structure (7), fixed to said substrate;

forming a membrane (2) suspended above and fixed to said substrate, with the possibility of oscillation through said supporting structure; and

forming a cavity (5) in the substrate underneath the membrane,

characterized by forming a plurality of anchorage elements (6) arranged between said membrane and said supporting structure, each anchorage element being fixed to a respective portion of said membrane comprised between the centroid (2') and a perimetral edge (2'') of said membrane.

11. The process according to claim 10, wherein the step of forming a supporting structure comprises forming a structural layer and defining said structural layer so as

to form said supporting structure and an electrode (3) electrically and mechanically separated from said supporting structure.

12. The process according to claim 11, wherein the steps of forming the membrane and the supporting structure comprise the steps of:

forming a first sacrificial layer (15) on the substrate;

forming a membrane layer (32) on said first sacrificial layer (15);

defining said membrane layer (32);

forming a second sacrificial layer (16) on said membrane layer;

removing selective portions of said second sacrificial layer in areas that are to form the anchorage elements;

depositing and defining said structural layer (39) on said second sacrificial layer (16);

removing said first sacrificial layer, so that said membrane is suspended above the substrate;

partially removing said second sacrificial layer (16) so that the electrode and the supporting structure extend at a distance from the membrane (2).

13. The process according to claim 12, wherein the step of defining said membrane layer (32) comprises forming a plurality of trenches (52) so as to define a plurality of

spring elements (51) fixed to and surrounded by said membrane, in a position corresponding to the anchorage elements.

14. The process according to any one of claims 10-13, wherein the step of forming a cavity comprises etching from the back said substrate to form an acoustic port (5) facing said membrane.

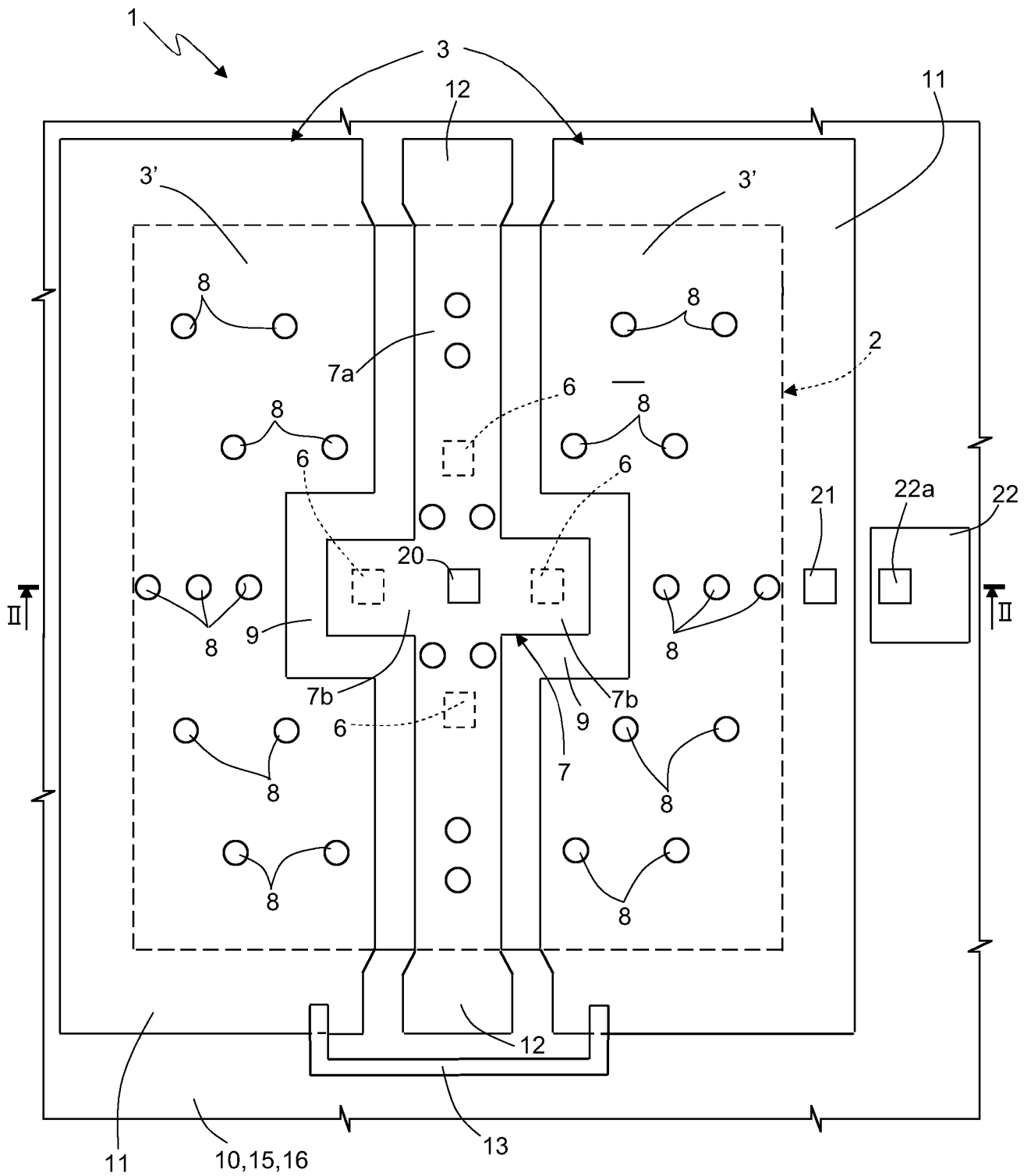


Fig.1

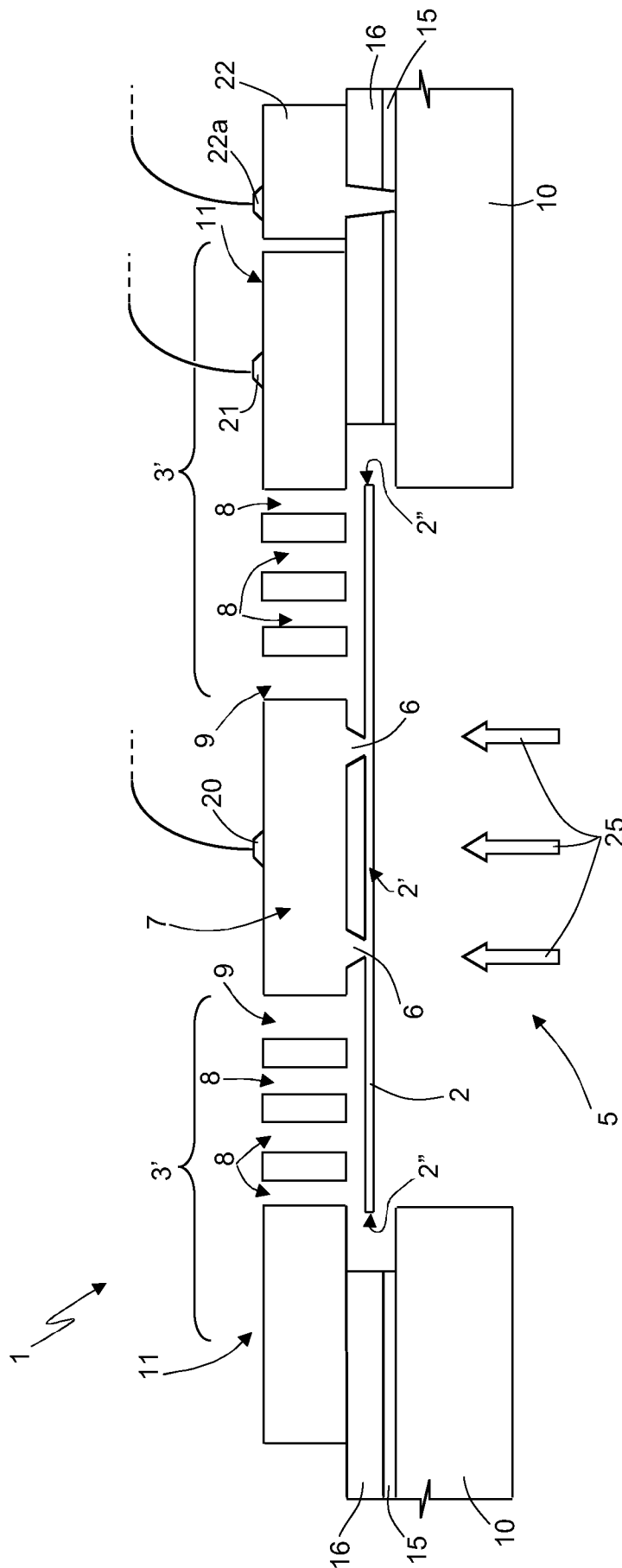


Fig. 2

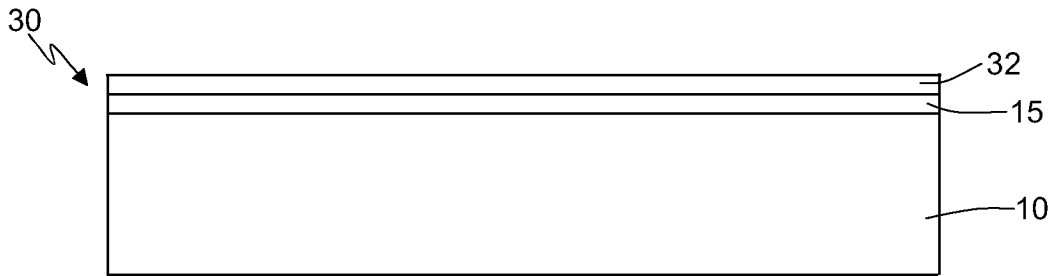


Fig.3

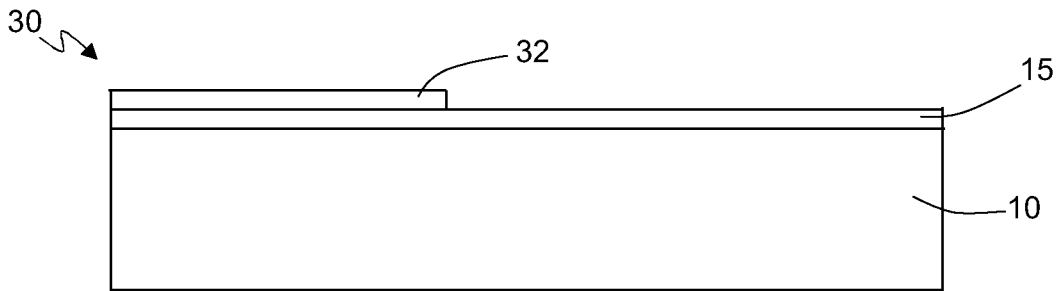


Fig.4

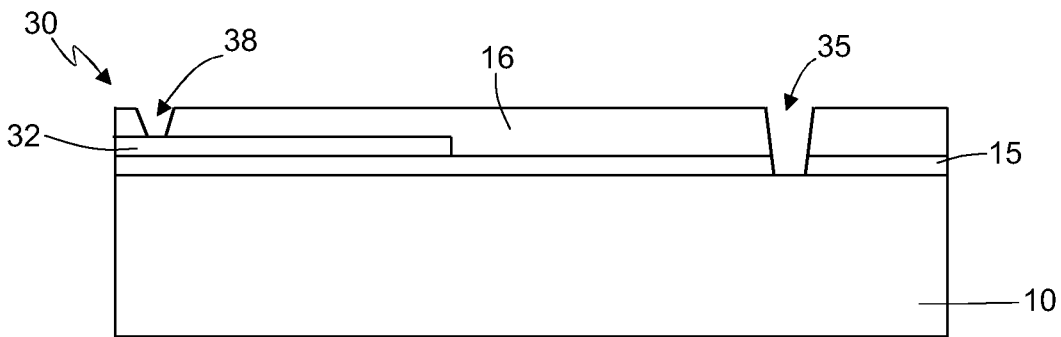


Fig.5

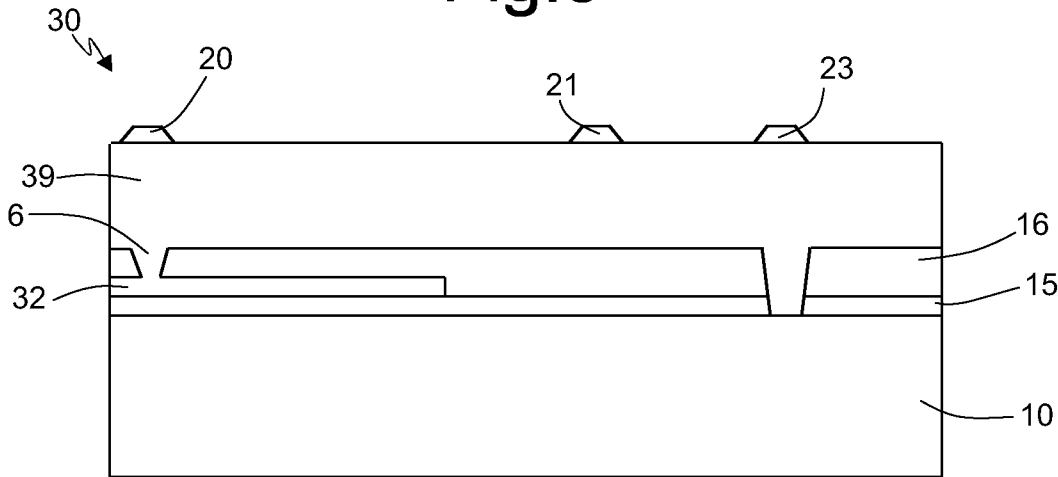
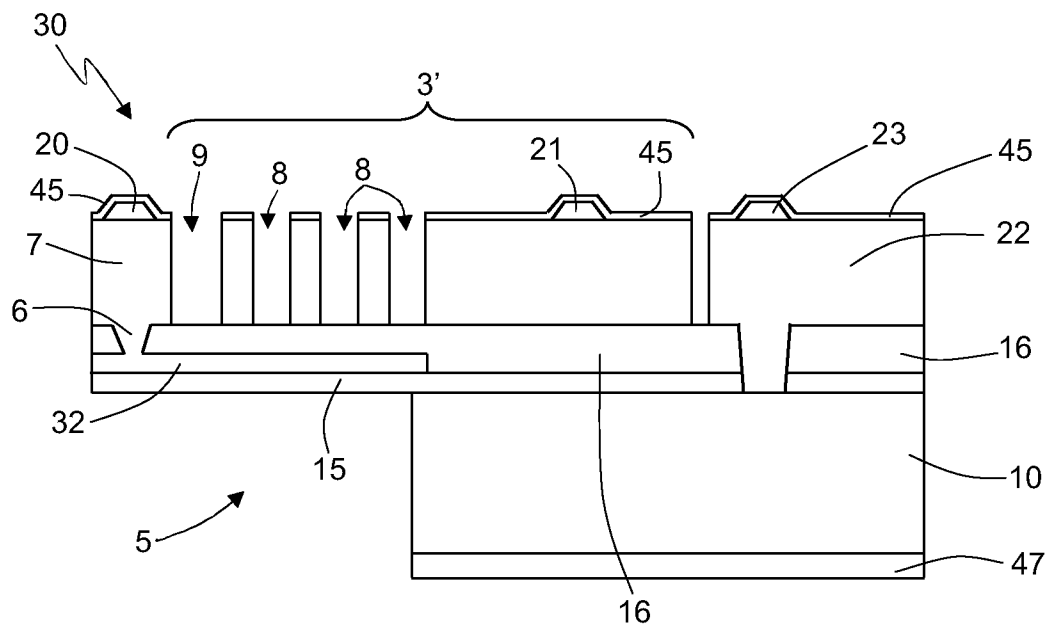
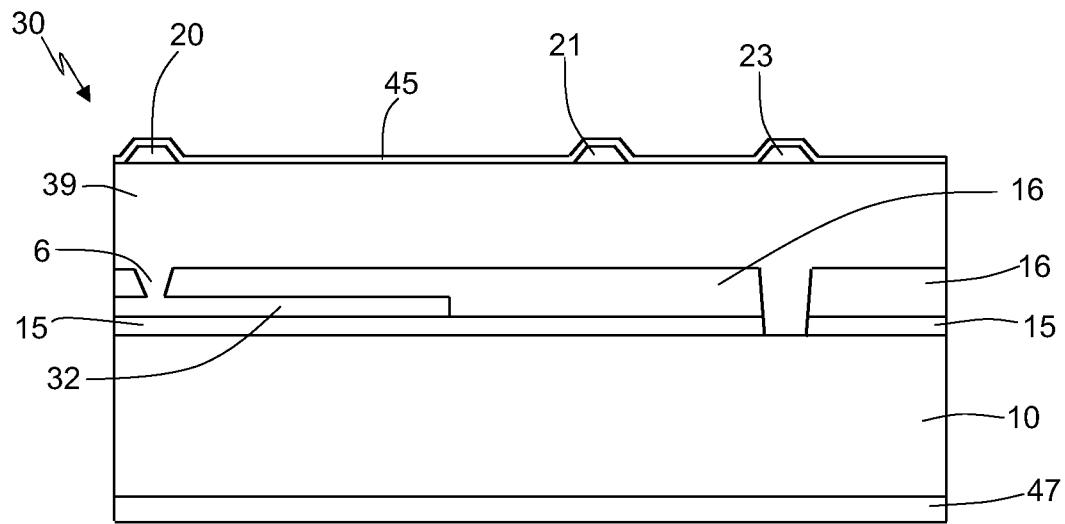


Fig.6



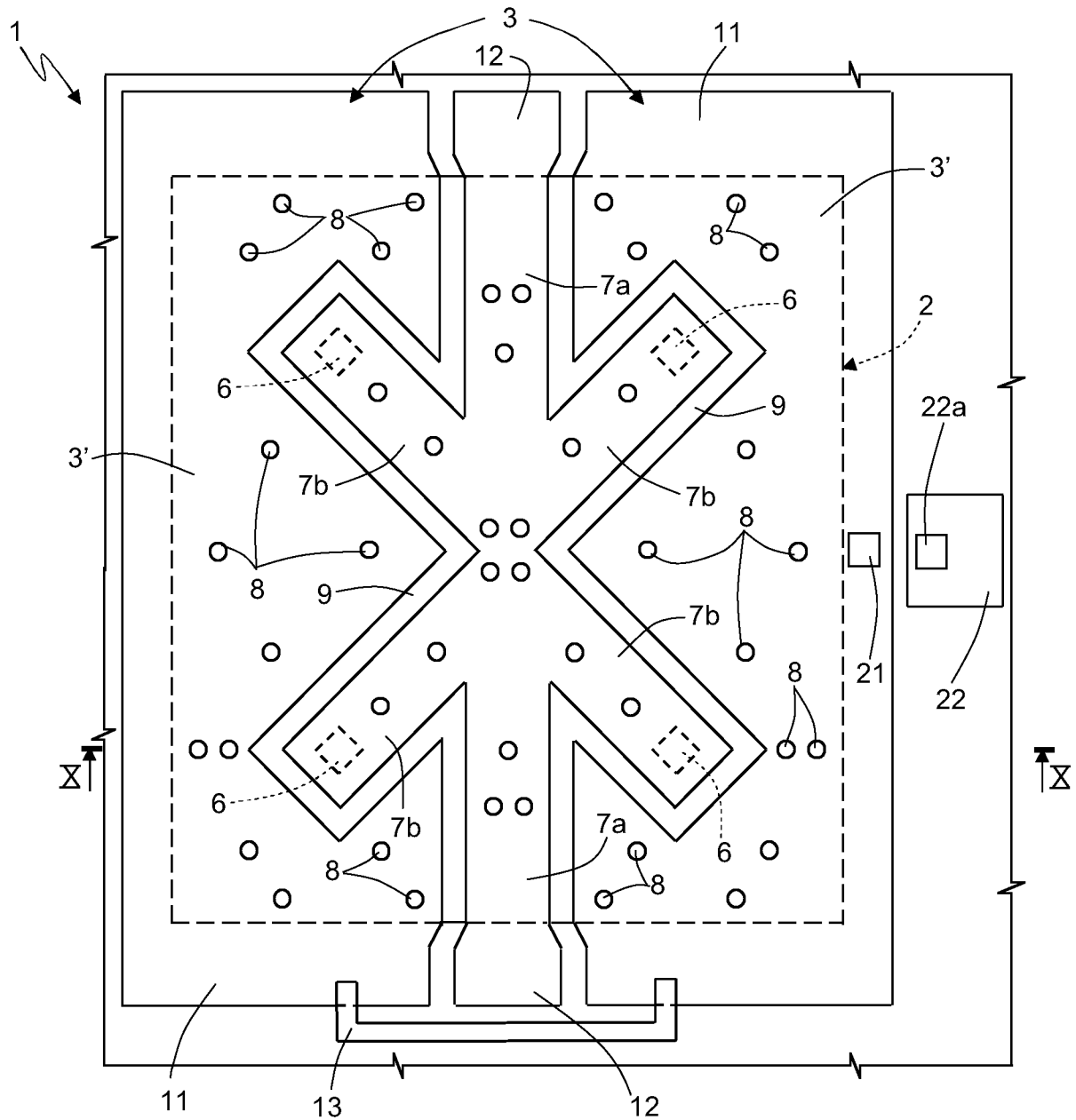


Fig.9

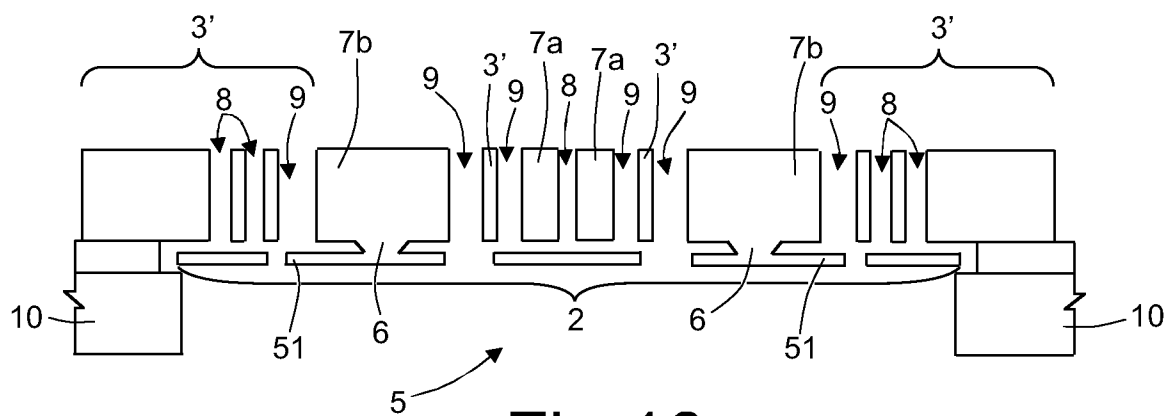


Fig.10

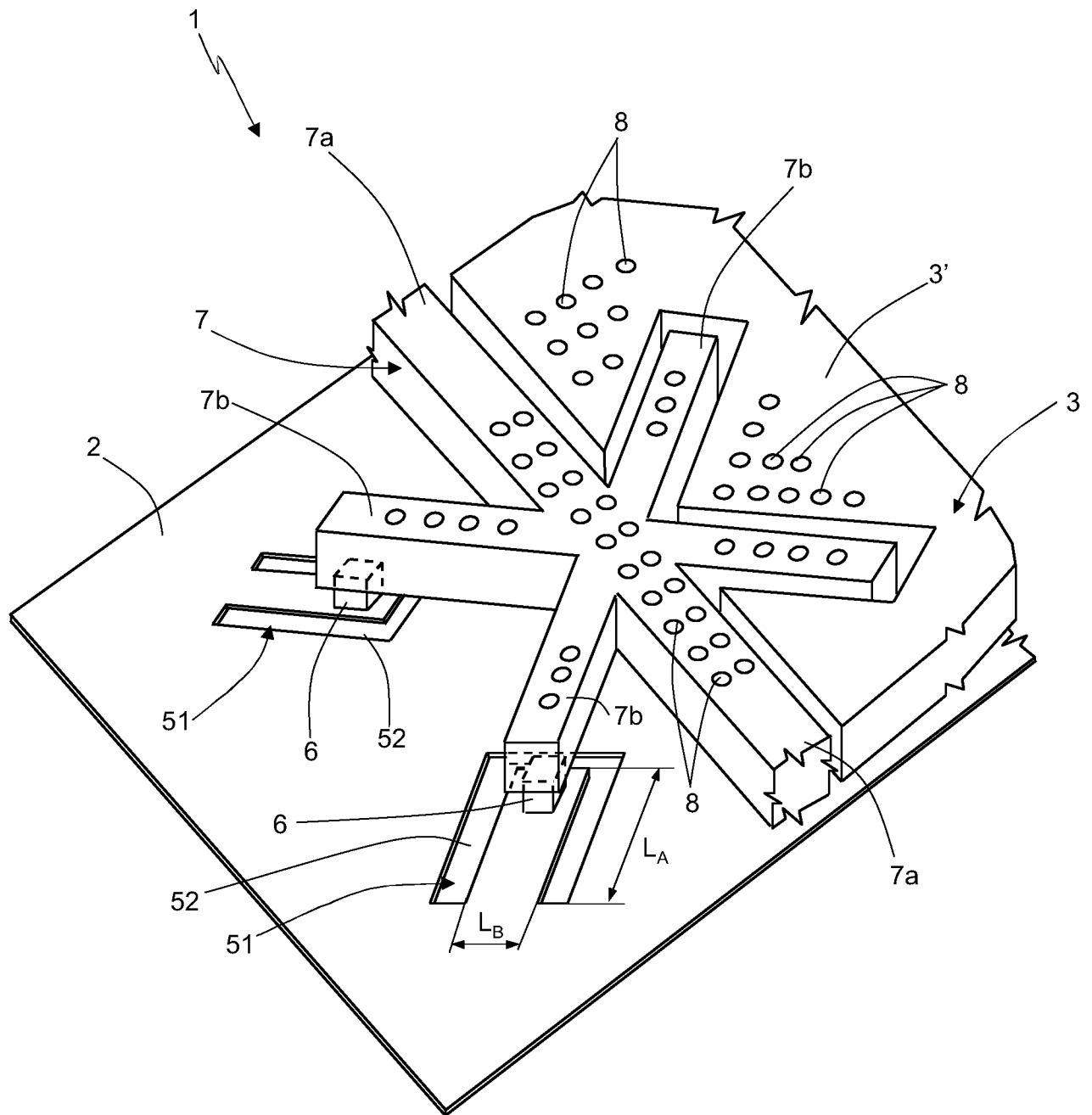


Fig.11

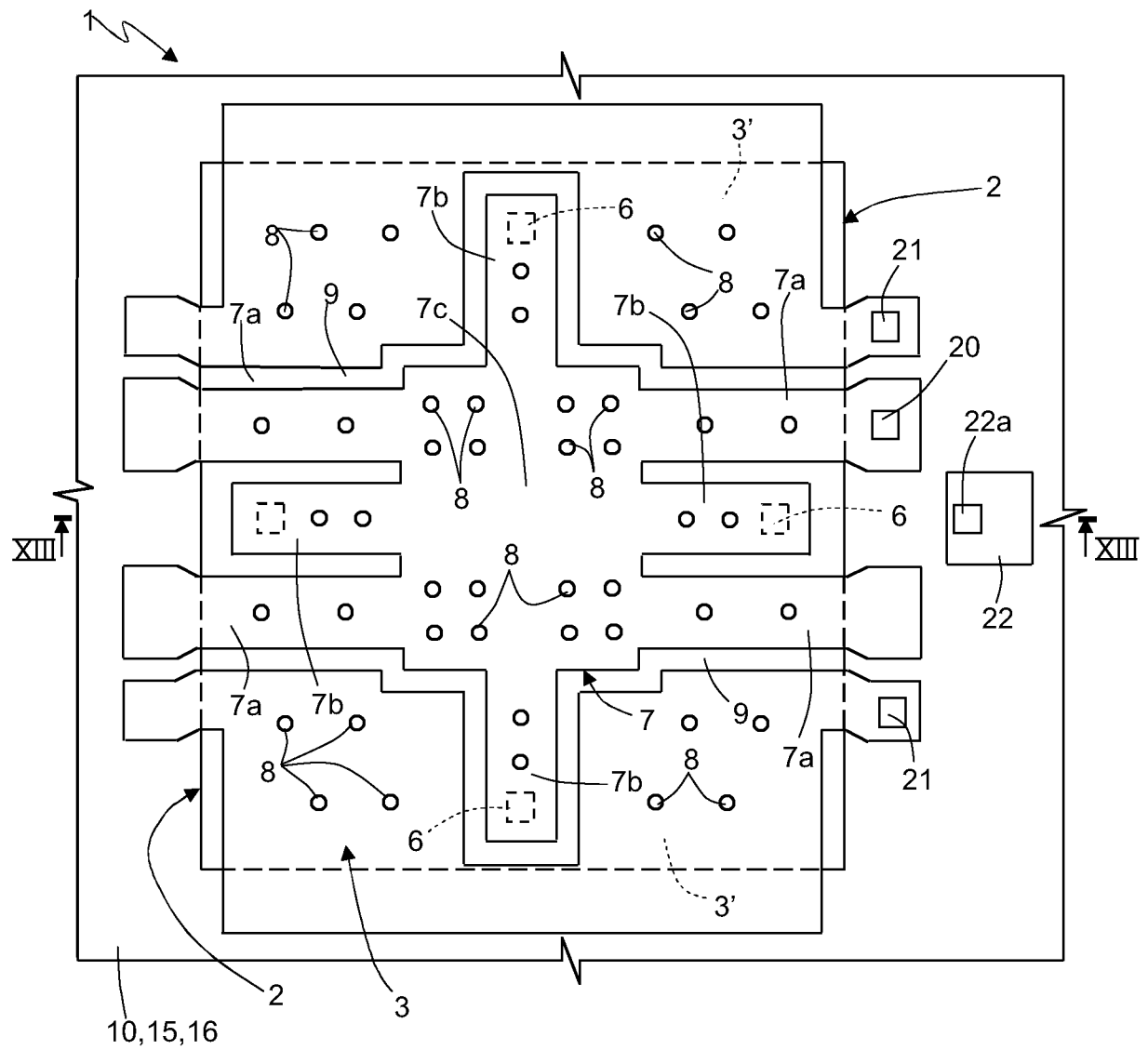


Fig.12

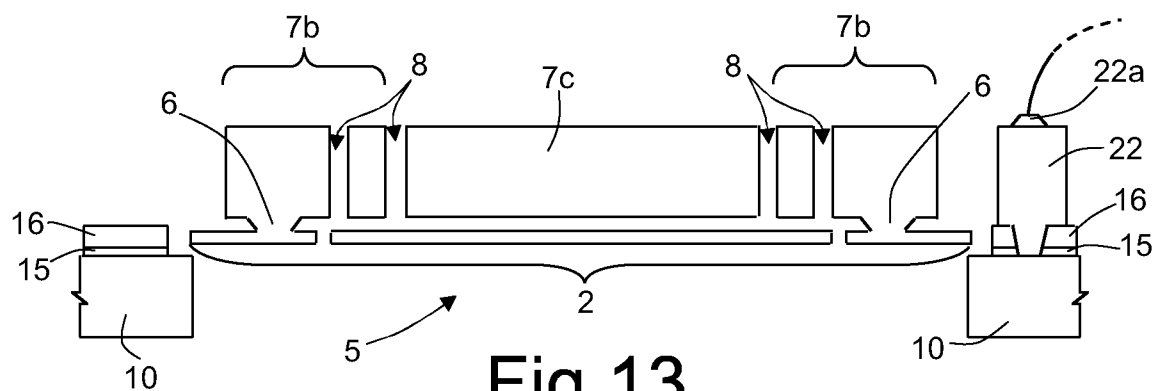


Fig.13

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

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

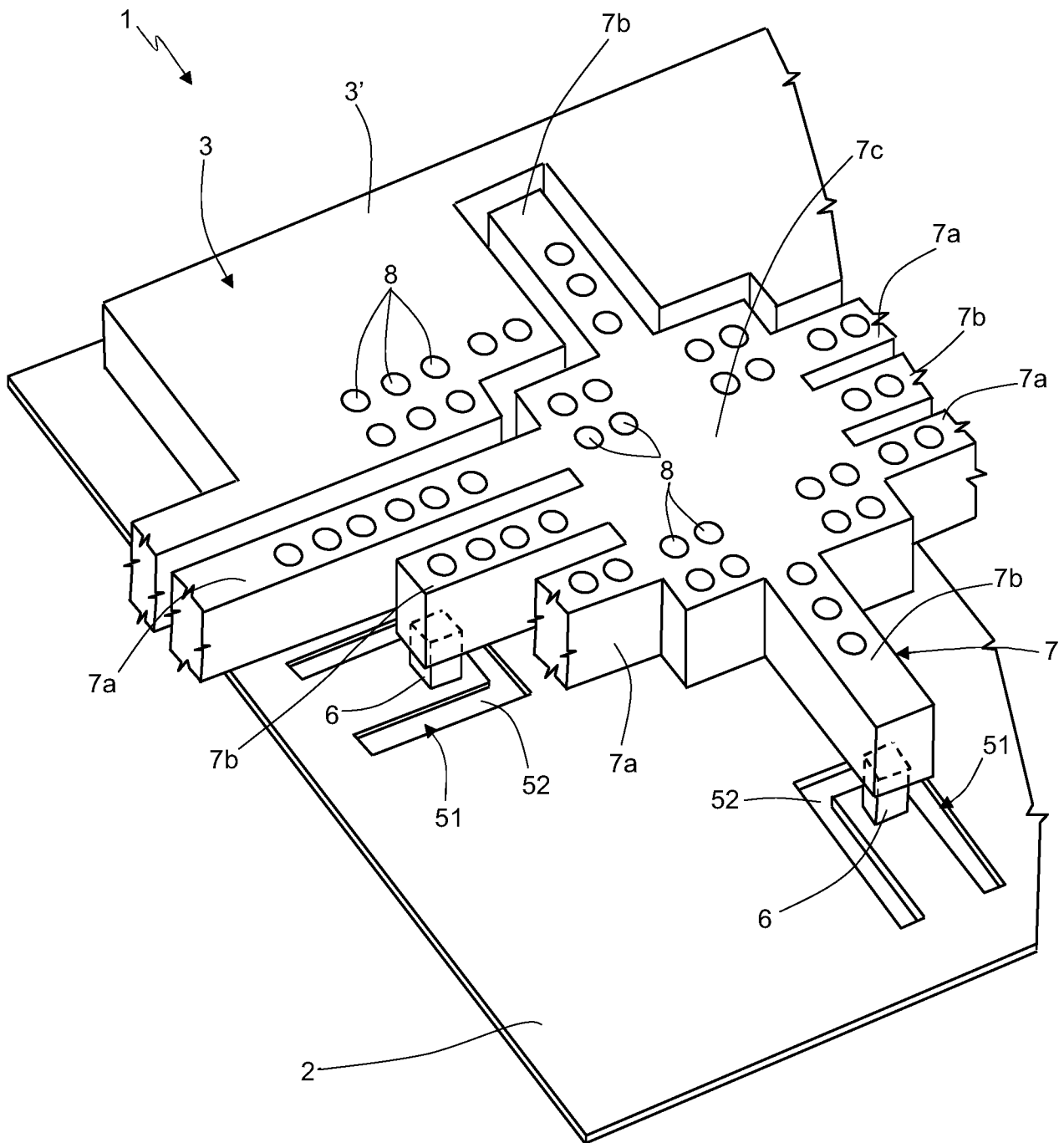


Fig.14

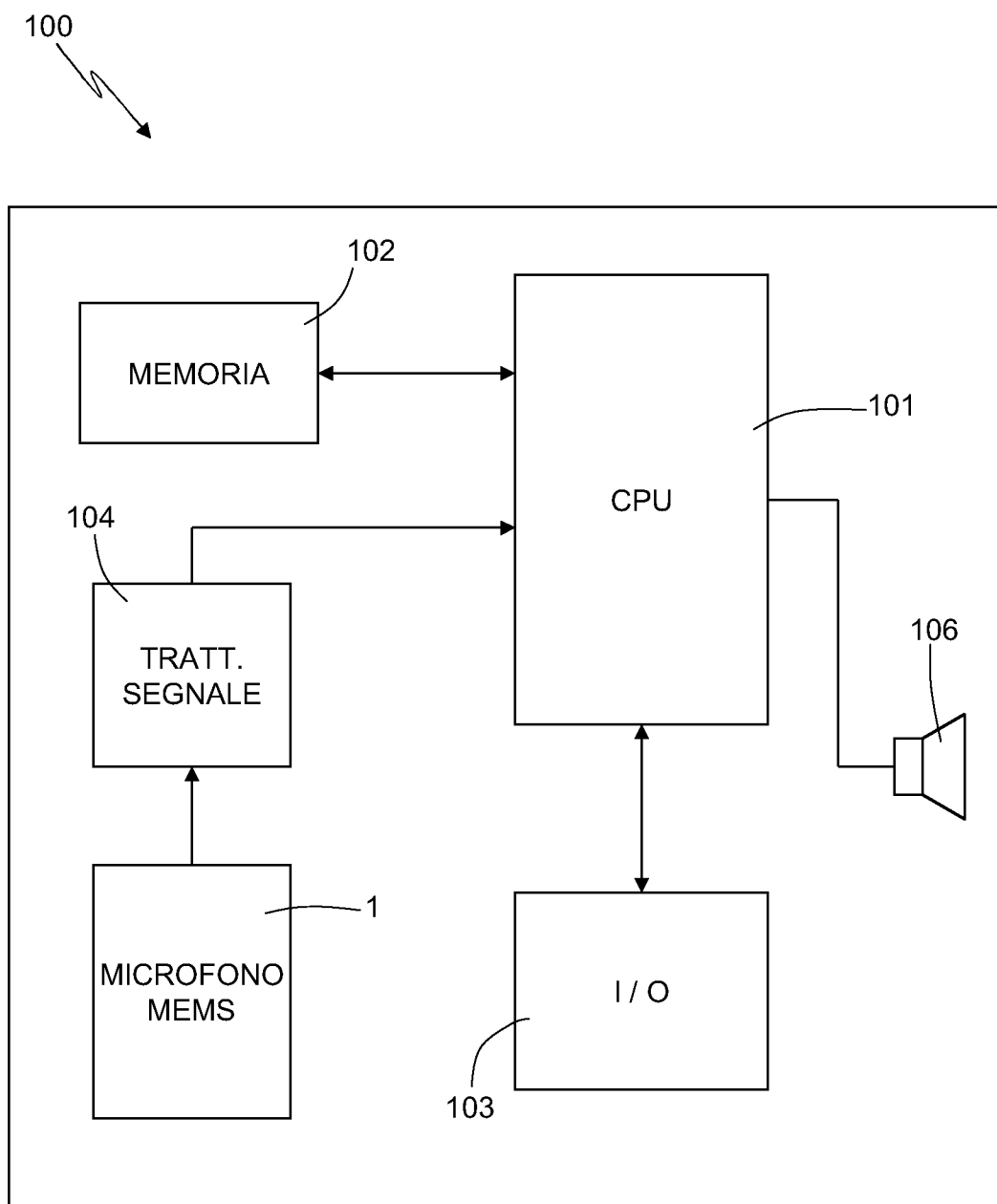


Fig.15

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

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)