



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

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102016000056318
Data Deposito	31/05/2016
Data Pubblicazione	01/12/2017

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	01	L	1	04

Titolo

DISPOSITIVO SENSORE DI CARICO MINIATURIZZATO CON RIDOTTA SENSIBILITA' A STRESS TERMO-MECCANICO DI INCAPSULAMENTO, IN PARTICOLARE SENSORE DI FORZA E DI PRESSIONE

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"DISPOSITIVO SENSORE DI CARICO MINIATURIZZATO CON RIDOTTA SENSIBILITA' A STRESS TERMO-MECCANICO DI INCAPSULAMENTO, IN PARTICOLARE SENSORE DI FORZA E DI PRESSIONE"

di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA C. OLIVETTI, 2

AGRATE BRIANZA (MB)

Inventori: CALTABIANO Daniele, ABBASI GAVARTI Mohammad,
MURARI Bruno, BRIOSCHI Roberto, GIUSTI Domenico

* * *

La presente invenzione è relativa ad un dispositivo sensore di carico miniaturizzato con ridotta sensibilità a stress termo-meccanico di incapsulamento, in particolare sensore di forza e di pressione.

Come noto, le tecniche di microfabbricazione dei dispositivi a semiconduttori consentono la realizzazione di strutture micromeccaniche all'interno di strati generalmente di materiale semiconduttore, depositati (ad esempio uno strato di silicio policristallino) o cresciuti (ad esempio uno strato epitassiale) al di sopra di strati sacrificali, che vengono rimossi tramite attacco chimico.

Ad esempio, sono noti dispositivi sensori MEMS di forza o pressione, che comprendono almeno una membrana

flessibile integrata in o su una piastrina (die) di materiale semiconduttore e di cui viene misurata la flessione causata dall'azione di forze esterne. La misura può essere di tipo piezoresistivo, e a tale scopo piezoresistori sono integrati nella o sulla membrana, o in modo capacitivo, e a tale scopo la membrana è accoppiata capacitivamente ad un'altra regione conduttiva della piastrina. In entrambi i casi, viene misurata la variazione di segnale elettrico risultante dalla deflessione della membrana.

I sensori microintegrati sono generalmente dotati di contenitori o incapsulamenti ("package") aventi lo scopo di proteggere le strutture interne del sensore dall'ambiente esterno, ad esempio per ridurre disturbi dovuti a temperatura e umidità, alla presenza di particelle che ne impediscono il funzionamento o ne peggiorano le prestazioni. Il contenitore ha anche la funzione di aumentare la robustezza meccanica del dispositivo.

Nei dispositivi MEMS, la realizzazione e la presenza dell'incapsulamento possono provocare degli sforzi (stress) che influenzano negativamente le caratteristiche di prestazioni, stabilità e affidabilità del sensore stesso.

Ciò è particolarmente svantaggioso per i sensori di carico, ad esempio basati sulle caratteristiche piezoresistive del silicio, in cui gli sforzi sono

direttamente coinvolti nel meccanismo di trasduzione. In questi casi, quindi, attualmente, la progettazione del dispositivo è volta a limitare gli effetti di stress causati dall'incapsulamento stesso e dal processo di assemblaggio, ad esempio mediante scelta accurata dei materiali usati e tenendo conto degli effetti che sorgono durante l'accoppiamento meccanico fra il sensore e l'incapsulamento.

Gli effetti indesiderati diventano sempre più importanti con l'aumentare delle dimensioni delle piastrine e degli incapsulamenti e limitano l'uso di tecniche di incapsulamento 3D. Ad esempio, nei sensori di pressione e forza, non vengono utilizzate semplici tecniche di incapsulamento per stampaggio, comunemente usate nella microelettronica, dato che esse generano alti sforzi durante l'iniezione della resina e il raffreddamento.

Inoltre, deformazioni indesiderate possono nascere anche per effetto delle temperature di lavoro e dall'invecchiamento dei materiali.

Infatti, il materiale del contenitore (tipicamente plastico o metallico) presenta generalmente un coefficiente di dilatazione termica piuttosto differente rispetto al materiale di cui è composta la struttura stessa (di silicio monocristallino o policristallino o ceramico).

I processi di saldatura o le variazioni della

temperatura possono quindi causare deformazioni diverse nel contenitore e nell'elemento sensore, le quali possono provocare sforzi e deformazioni termo-meccaniche (ad esempio secondo il fenomeno noto come "die warpage") che causano errori e derive di misura. Tali errori sono anche variabili a seconda del lotto di produzione, e a volte anche tra sensori appartenenti ad uno stesso lotto di produzione, ed variabili nel tempo.

Per eliminare tali errori di misura, in passato sono state proposte svariate soluzioni.

Ad esempio, sono state proposte e adottate diverse soluzioni di incapsulamento a basso stress; in alcune di queste l'incapsulamento comprende anche strutture meccaniche aventi lo scopo di disaccoppiare il sensore dall'ambiente circostante. Tuttavia tali soluzioni non risolvono completamente il problema.

Altre soluzioni prevedono una compensazione elettronica delle derive termiche della misura fornita dalla struttura micromeccanica tramite l'introduzione di opportuni componenti elettronici nell'interfaccia di lettura associata alla struttura stessa, ad esempio un circuito integrato ASIC (Application Specific Integrated Circuit).

Una soluzione nota di tale tipo prevede l'utilizzo di un sensore di temperatura nell'elettronica di lettura

associata alla struttura micromeccanica. Nota la temperatura, le derive del sistema vengono compensate elettronicamente, facendo ricorso a curve di compensazione precedentemente ottenute tramite opportune procedure di calibrazione e/o simulazione.

Soluzioni di tal genere risultano tuttavia onerose, in quanto necessitano di costose e delicate procedure di misura per ottenere curve di compensazione che mappino in modo accurato le derive termiche dei sensori, e di apposite operazioni di compensazione; inoltre, il grado di precisione ottenibile non è in generale del tutto soddisfacente e ripetibile.

Altre soluzioni che sono state proposte prevedono quindi una compensazione integrata delle deformazioni termo-meccaniche, mediante l'introduzione di elementi strutturali di compensazione nella stessa struttura micromeccanica. Anche tali soluzioni non sono in grado di risolvere soddisfacentemente tale problema.

Scopo della presente invenzione è mettere a disposizione un sensore di carico che superi gli inconvenienti della tecnica nota.

Secondo la presente invenzione viene realizzato un dispositivo di rilevamento di carico, come definito nelle rivendicazioni allegate.

In pratica, il presente dispositivo rileva un carico

(intendendo con questo termine una forza, una pressione o una coppia), in modo indiretto, rilevando la deformazione di un substrato deformabile su cui agisce il carico. Un'unità a sensore viene mantenuta a contatto del substrato deformabile attraverso elemento elastico o viscoelastico.

Il substrato deformabile può fare parte di un contenitore che protegge l'unità a sensore o essere disposto all'interno di questo. L'unità a sensore può essere una piastrina di materiale semiconduttore, una membrana di ceramica o altro materiale analogo, in grado di flettersi e deformarsi insieme al substrato deformabile e che presenta elementi sensori, quali piezoresistori collegati a ponte di Wheatstone. L'unità a sensore viene mantenuta elasticamente a contatto del substrato deformabile dall'elemento elastico, interposto fra l'unità a sensore e una parete interna del contenitore.

Il dispositivo può operare anche come rilevatore indiretto di altre grandezze fisiche, quali il moto, sfruttando la deformazione di parti e le forze associate a tale deformazione.

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 è una sezione trasversale di una

forma di realizzazione del presente dispositivo;

- la figura 2 è una vista prospettica, con parti in trasparenza del dispositivo di figura 1;

- le figure 3 e 4 sono sezioni trasversali di diverse forme di realizzazione del presente dispositivo;

- la figura 5 è una vista in sezione trasversale in prospettiva di una porzione di un'altra forma di realizzazione del presente dispositivo;

- la figura 6 è una vista in sezione di una diversa forma di realizzazione del presente dispositivo;

- la figura 7 è una vista in sezione trasversale in prospettiva di una differente forma di realizzazione del presente dispositivo;

- le figure 8-10 sono sezioni trasversali di altre forme di realizzazione del presente dispositivo;

- la figura 11 è una vista prospettica in esploso di un'altra forma di realizzazione ancora del presente dispositivo;

- le figure 12 e 13 mostrano sezioni trasversali prese lungo le linee di traccia XII-XII e XIII-XIII, rispettivamente, di figura 11; e

- le figure 14 e 15 sono viste in sezione trasversale di differenti forme di realizzazione del presente dispositivo.

Nelle figure allegate, elementi simili sono indicati

nelle diverse figure partendo dalla numerazione utilizzata per la forma di realizzazione delle figure 1 e 2 e aumentando ogni volta di 20. Di conseguenza, il dispositivo della figura 1 è indicato nel suo complesso con 10, il dispositivo della figura 3 è indicato con 30; il dispositivo della figura 4 è indicato con 50, e così via. Analogamente per le varie parti del dispositivo.

Le figure 1 e 2 mostrano un dispositivo 10 costituente un sensore di carico, e precisamente un sensore di pressione, un sensore di forze, un sensore di coppia. Il dispositivo 10 comprende un contenitore 12 circondante una piastrina sensore ("sensor die") 3. Un cappuccio 14 è fissato al di sopra della piastrina sensore 13 in modo da definire un'intercapedine 16 fra di essi e un elemento elastico 15, disposto fra il cappuccio 14 e il contenitore 12, mantiene la piastrina sensore 13 in posizione, come spiegato in dettaglio in seguito. La piastrina sensore 13 è collegata elettricamente con l'esterno attraverso connessioni elettriche 17.

Il contenitore 12 comprende una base 21, pareti laterali 22 ed un coperchio 23, definenti globalmente una forma sostanzialmente parallelepipedica cava, delimitante una camera 24. La camera 24 presenta una superficie 23A, qui costituita dal lato interno del coperchio 23, che agisce come riscontro per l'elemento elastico 15. Il contenitore

12 può essere realizzato di qualunque materiale adatto, ad esempio di metallo o ceramica, in modo di per sé noto. Le varie parti possono anche essere realizzate di materiali fra loro differenti.

La base 21 del contenitore 12 supporta la piastrina sensore 13 ed è a contatto diretto con questa. La base 21 definisce quindi un substrato deformabile di cui la piastrina sensore 13 misura la deformazione. La base 21 può portare linee conduttive 25, ad esempio piste stampate su un substrato flessibile o sulla base 21 stessa, fili, un nastro flessibile incorporante conduttori, e simili, estendentisi sulla base 21 e attraverso una o più aperture 26 nelle pareti laterali 22, verso l'esterno del dispositivo 1.

Le pareti laterali 22 e il coperchio 23 possono essere realizzate in un unico pezzo, ad esempio tramite stampaggio o forgiatura, oppure possono essere costituite da parti separate, fissate reciprocamente tramite incollaggio o saldatura. Le pareti laterali 22 sono tipicamente incollate alla base 21, ma possono essere di pezzo con questa, analogamente a quanto descritto sopra, nel caso che il coperchio 23 sia un elemento separato dalle pareti laterali 22. Il fissaggio fra le pareti laterali 22 e almeno una regione fra la base 21 e il coperchio 23 può essere realizzato tramite regioni di incollaggio non mostrate, ad

esempio tramite glass frit, oppure di un altro tipo di colla, preferibilmente di tipo elastico, in grado di sopportare il carico dell'elemento elastico 15. Inoltre, le pareti laterali 22 possono essere anche connesse ad almeno una fra la base 21 e il coperchio 23 tramite incastro, in modo da garantire il fissaggio nel tempo.

La piastrina sensore 13, all'interno della camera 24, è una piastrina di materiale semiconduttore, ad esempio silicio, di forma parallelepipedica ed avente una prima faccia 13A, a contatto diretto con la base 21, ed una seconda faccia 13B su cui è fissato il cappuccio 14.

La piastrina sensore 13 è realizzata in modo da rilevare indirettamente forze agenti sul contenitore 12. Ad esempio, la piastrina sensore 13 può essere realizzata come descritto in US 8.575.710. A tale scopo, la piastrina sensore 13 presenta spessore ridotto, ad esempio 100 μm , in modo da potersi deformare e flettere facilmente, come meglio spiegato in seguito. Inoltre, essa integra elementi sensori che rilevano la deformazione della piastrina sensore 13 stessa. Ad esempio, in prossimità della sua seconda faccia 13B, in modo noto e mostrato solo schematicamente, la piastrina sensore 13 alloggia piezoresistori 27 mostrati solo schematicamente e collegati reciprocamente a ponte di Wheatstone, in modo di per sé noto. La piastrina sensore 13 può alloggiare anche

ulteriori componenti integrati (non mostrati) di elaborazione.

I piezoresistori 27 ed eventuali ulteriori componenti sono accoppiati con l'esterno attraverso piazzole di contatto (non visibili) disposte sulla sua seconda faccia 13B e collegate tramite fili 28 alle linee conduttive 25. Le piazzole di contatto (non visibili), i fili 28 e le linee conduttive 25 formano le connessioni elettriche 17.

Il cappuccio 14 è costituito da un corpo sostanzialmente rigido, ad esempio di forma parallelepipedica. Il cappuccio 14 può essere formato anch'esso da una piastrina ("die") di materiale semiconduttore, tipicamente una piastrina non lavorata, avente spessore maggiore rispetto a quello della piastrina 3, in modo da poter sopportare il carico dell'elemento elastico 15, preferibilmente senza deformarsi. Ad esempio, il cappuccio 14 può presentare profondità di circa 300 μm . Inoltre, nella forma di realizzazione mostrata, il cappuccio 14 presenta area inferiore rispetto a quella della piastrina sensore 13. Ad esempio, la piastrina sensore 13 può presentare lunghezza (in direzione dell'asse X di figura 2) di circa 660 μm e il cappuccio 14 può presentare lunghezza, in direzione X, di circa 510 μm , per lasciare accessibili le piazzole di contatto (non visibili) per la connessione elettrica con i fili 28. La piastrina

sensore 13 e il cappuccio 14 possono presentare larghezza (in direzione dell'asse Y di figura 2) fra loro uguale, ad esempio di 600 μm . In alternativa, la piastrina sensore 13 e il cappuccio 14 possono avere uguale larghezza e lunghezza, e parte del cappuccio 14 essere rimossa per liberare le piazzole di contatto (non visibili) e consentire la connessione elettrica.

Il cappuccio 14 è fissato alla piastrina sensore 13 tramite uno strato di saldatura o incollaggio 29, ad esempio di glass frit, di forma anulare, quadrangolare, e costituisce un distanziatore, che delimita lateralmente l'intercapedine 16 fra il cappuccio 14 e la piastrina sensore 13. Lo spessore dello strato di incollaggio 29, corrispondente alla profondità dell'intercapedine 16, determina in pratica la massima deflessione della piastrina sensore 13 e quindi il fondo scala dello stesso. Ad esempio, lo strato di incollaggio 29 può avere uno spessore di 10 μm .

La piastrina sensore 13 e il cappuccio 14 formano quindi un'unità a sensore 1.

L'elemento elastico 15 è qui costituito da una molla a flessione, e più precisamente una molla a lamina, a forma di nastro, arcuata, dotata di due estremità 15A e di una zona centrale 15B. La molla a lamina 15 è realizzata ad esempio di acciaio, quale acciaio armonico, ed è

dimensionata in modo da appoggiarsi con le estremità 15A contro la superficie 23A del coperchio 23 e, con la zona centrale 15B, contro il lato superiore del cappuccio 14. In alternativa, come elemento elastico, è possibile utilizzare anche una molla a tazza discoidale, avente convessità rivolta verso il cappuccio 14 e sezione simile a quella visibile in figura 1.

In questo modo, la molla a lamina 15 mantiene la piastrina sensore 13, attraverso il cappuccio 14, in posizione a contatto diretto contro la base 21. Ne consegue che forze e sollecitazioni esterne da misurare, che agiscono sulla base 21 e provocano una deformazione della base 21 stessa, vengono trasferite alla piastrina sensore 13, che si deforma corrispondentemente. La deformazione della piastrina sensore 13 viene rilevata in modo noto dai piezoresistori 27 che generano corrispondenti segnali elettrici forniti all'esterno tramite le connessioni elettriche 17.

D'altra parte, fra la piastrina sensore 13 e la base 21 non sono presenti materiali estranei che potrebbero generare sforzi e sollecitazioni spurie, variabili nel tempo e con la temperatura, e quindi falsare le misure.

In particolare, studi della richiedente hanno mostrato che il fissaggio elastico della piastrina sensore 13 consente di ottenere una elevata stabilità nei segnali

esterni, come dimostrato nella tabella I qui di seguito. In dettaglio, la tabella I riporta i risultati di simulazioni effettuate applicando diversi carichi (forza esterna F (in bar) alla base 21, in cui $S0(20)$, $S0(120)$ indicano le tensioni di uscita rilevate in una piastrina sensore $S0$ fissata tramite uno strato di colla in un contenitore noto a 20°C , rispettivamente 120°C ; e $S1(20)$, $S1(120)$ indicano le tensioni di uscita rilevate in una piastrina sensore $S1$, uguale alla piastrina $S0$, ma incapsulata come mostrato nelle figure 1 e 2, a 20°C , rispettivamente 120°C (in mV/V).

F	$S0(20)$	$S0(120)$	$S1(20)$	$S1(120)$
125	4	1	2,6	2,5
250	7,1	4,3	5,1	5
375	10	7,2	7,7	7,5
500	13	10	10,2	10

Come si nota, l'uscita della piastrina sensore $S1$ è sensibilmente più stabile in temperatura di quella della piastrina sensore $S0$.

Altre simulazioni della richiedente hanno mostrato che la piastrina sensore 13 segue esattamente la deflessione della base 21 in direzione verticale Z (perpendicolare al piano della prima faccia 13A della piastrina sensore 13 in

condizione non deformata), ma è disaccoppiata dalla base 21 in direzione laterale, in direzione X o Y, (parallelamente al piano della prima faccia 13A della piastrina sensore 13 in condizione non deformata). La piastrina sensore 13 può quindi espandersi lateralmente, indipendentemente dalla base 21, per effetto del carico applicato o della temperatura. Ne consegue che eventuali diversi coefficienti di dilatazione termica o eventuali diverse deformazioni in direzione laterale fra la piastrina sensore 13 e la base 21 non generano sforzi o stress misurabili tali da compromettere la lettura di forze applicate perpendicolarmente alla base 21.

La figura 3 mostra un dispositivo 30 comprendente un'unità a sensore 31 mantenuta a contatto con una base 41 di un contenitore 32 da un anello elastico 35 di tipo O-ring di materiale viscoelastico, ad esempio di gomma.

Il contenitore 32 è ad esempio di metallo e comprende un coperchio 42 sagomato a tazza, saldato alla base 41 attraverso materiale adesivo 45. E' possibile anche prevedere mezzi di incastro reciproco fra la base 41 e il coperchio 42, non mostrati. Il coperchio 42 definisce una camera 44 in cui è disposta l'unità a sensore 31. Il coperchio 42 può avere forma cilindrica, con diametro esterno di 3 mm e diametro della camera 44 di 2 mm e presenta inoltre una feritoia 38 per il passaggio di

connessioni elettriche 37.

L'unità a sensore 31 comprende qui un involucro ceramico 46 alloggiante una piastrina sensore 33. In dettaglio, l'involucro ceramico 46 comprende una membrana 47, un distanziatore 48 ed una lastrina di copertura 49, tutti di ceramica e saldati reciprocamente. La membrana 47 è tipicamente realizzata di spessore ridotto, ad esempio 100 μm , in modo da potersi deformare insieme alla base 41. La piastrina sensore 33 è qui saldata alla membrana 47, ad esempio tramite una lega metallica appropriata ("soft solder"), ad esempio di SnAg, di tipo comunemente utilizzato per la saldatura di componenti elettronici. In questo modo, dato che la ceramica e il silicio presentano coefficienti di dilatazione termica simili e sono saldati da materiale opportuno, la piastrina sensore 33 e la membrana 47 si comportano come corpo monolitico, ai fini del rilevamento dei carichi.

L'anello elastico 35 qui preme elasticamente l'unità a sensore 31 direttamente a contatto con la base 41 del contenitore 32. In questo modo, la base 41 e la membrana 47 si deflettono in modo uguale, permettendo un'ottima trasmissione, all'unità a sensore 40, di forze e sforzi agenti perpendicolarmente sulla base 41. L'adattamento fra la membrana 47, di ceramica, e la piastrina sensore 33, di silicio, come si è detto materiali che presentano simili

coefficienti di dilatazione termica, assicura una ottima e costante trasmissione degli sforzi ed una elevata sensibilità del dispositivo 30, fino a forze dell'ordine di 30 kN.

La figura 4 mostra un dispositivo 50 nel quale un'unità a sensore 51 è mantenuta a contatto con una base 61 di un contenitore 62 ancora tramite un anello elastico 55. Nel dispositivo 50, l'unità a sensore 51 comprende una membrana 67, realizzata ad esempio in ceramica, sulla quale sono presenti piezoresistori 63, ad esempio serigrafati, collegati ad un circuito elettronico di elaborazione, ad esempio un ASIC (Application Specific Integrated Circuit), saldato alla membrana 67. Sulla membrana 67 è saldato anche un elemento di contrasto 59 su cui appoggia l'anello elastico 55. L'elemento di contrasto 59 può essere realizzato di ceramica o altro materiale rigido e non facilmente comprimibile. In questa forma di realizzazione, l'unità a sensore 51 è priva di involucro interno.

Anche qui, il contenitore 52 può avere forma cilindrica, con una feritoia 58 per il passaggio di connessioni elettriche 57. In figura 4, inoltre, la base 61 ha forma a tazza e costituisce anche le pareti laterali delimitanti, insieme al coperchio 62, una camera 64 in cui è alloggiata l'unità a sensore 51.

Anche nella forma di realizzazione di figura 4, la

membrana 67 è mantenuta a contatto con la base 61 dall'anello elastico 55. I piezoresistori 63, formati direttamente sulla membrana 67, possono quindi rilevare la deflessione di questa, causata da un'analogha deflessione della base 61, e dovuta a forze agenti dall'esterno. Anche in questo caso, il dispositivo 50 è in grado di rilevare forze esterne fino a 30 kN.

La figura 5 mostra un dispositivo 70 avente un'unità a sensore 71, un contenitore 72 comprendente una base 81 ed un coperchio 82, quest'ultimo sagomato a tazza, in modo da delimitare, con la base 81, una camera 84.

L'unità a sensore 71 comprende qui una piastrina sensore 73, una regione di incollaggio 88 e una piastrina di contrasto ("contrast plate") 89, alloggiati nella camera 84 insieme ad un anello elastico 75.

In dettaglio, la piastrina sensore 73 è appoggiata direttamente sulla base 81 ed è realizzata qui come piastrina ceramica (ceramic die") includente piezoresistori non mostrati, ad esempio del tipo prodotto dalla Microtel, o come descritto in US 8.878.313.

La regione di incollaggio 88, ad esempio di glass frit, ha qui forma anulare e costituisce un distanziatore che forma, con la piastrina di contrasto 89 sovrastante, un'intercapedine 76.

La piastrina di contrasto 89 è anch'essa realizzata di

ceramica e può avere forma discoidale completa (come nell'esempio di realizzazione mostrato) o solo forma anulare.

Un circuito elettronico di elaborazione segnali (ad esempio un ASIC 74) può essere fissato alla piastrina di contrasto 89 ed essere collegato alla piastrina sensore 73 e all'esterno, mediante connessioni elettriche non mostrate.

La piastrina sensore 73 presenta contatti (non mostrati) attraversanti la regione di incollaggio 88 e la piastrina di contrasto 89, fino all'ASIC 4.

Analogamente alle soluzioni precedenti, l'anello elastico 75 preme la piastrina sensore 73 contro la base 81, attraverso la piastrina di contrasto 89 e la regione di incollaggio 88, consentendo alla piastrina sensore 73 di rilevare eventuali deflessioni della base 81. Di conseguenza, anche il dispositivo 70 è in grado di rilevare forze esterne fino a 30 kN.

La figura 6 mostra una forma di realizzazione del dispositivo 90 simile a quella delle figure 1 e 2, in cui il cappuccio, qui indicato con 94, è fissato alla piastrina sensore, qui indicata con 93, tramite regioni di incollaggio 109, formando un'unità a sensore 91. Una molla a lamina 95 preme la piastrina sensore 93 tramite il cappuccio 94 verso la base 101 del contenitore 92. Una

massa di gel 99 circonda la piastrina sensore 93, parte del cappuccio 94 e parte delle connessioni elettriche 97. Qui i piezoresistori sono indicati con 107.

La massa di gel 99 può essere del materiale comunemente identificato come glob top nell'industria dei semiconduttori o di un materiale più morbido, come un gel siliconico, in modo da non introdurre stress.

Le connessioni elettriche 97 comprendono qui fili di connessione ("bonding wires") 108 e una struttura conduttiva 105 formata da una regione flessibile, ad esempio di kapton, alloggiante conduttori elettrici, ad esempio di rame. La struttura di connessione 105 si estende dalla camera 104 del contenitore 92 attraverso un'apertura 106 del coperchio 102, qui di metallo e a forma di tazza.

In questa forma di realizzazione, la massa di gel 99 contribuisce a mantenere la piastrina sensore 93 nella posizione corretta, a contatto con la base 101 del contenitore 92. Essa inoltre fissa le connessioni elettriche 97 alla base 101.

La figura 7 mostra una forma di realizzazione simile a quella della figura 6, in cui una massa viscosa 119, ad esempio di gel, circonda completamente la piastrina sensore 113 e il cappuccio 114, nonché la porzione delle connessioni elettriche 117 disposta nella camera 124 del dispositivo 110. La massa viscosa 119 copre quindi piazzole

di contatto 118 formate sulla superficie superiore della piastrina sensore 113, i fili 128 e parte delle linee conduttive 125 delle interconnessioni elettriche 117.

Qui, l'elemento elastico è formato da una molla a lamina 115, ad esempio costituita da un nastro di acciaio arcuato, disposta al di sopra della massa viscosa 119 e premente la piastrina sensore 113, attraverso la massa viscosa 119 e il cappuccio 114, contro la base 121 del contenitore 112. In pratica, durante la fabbricazione, dopo la disposizione dell'unità a sensore 111 sulla base 121 del contenitore 112 e la realizzazione delle connessioni elettriche 117, la massa viscosa 119 viene colata in forma liquida o semi-liquida; quindi viene disposta la molla a lamina 115 e infine viene saldato il coperchio 122.

La massa viscosa 119 può essere costituita da silicone e, oltre a mantenere la piastrina sensore 113 in posizione a contatto con la base 121, protegge l'unità a sensore 111 dal contatto con la molla a lamina 115.

In questo modo, viene migliorata la durata dell'unità a sensore 111, grazie alla riduzione del rischio di nuclei di rottura ("crack nucleation") nel punto di contatto fra la molla a lamina 115 e l'unità a sensore 111. Inoltre, con questa forma di realizzazione, non c'è rischio di erosione per l'unità a sensore 111 o per la molla a lamina 115.

La figura 8 mostra un dispositivo 130 simile al

dispositivo 110 di figura 7, in cui una massa viscosa 139, anche qui di gel, avvolge anche parte della molla a lamina 135. In questo caso, durante la fabbricazione, dopo la disposizione dell'unità a sensore 131 sulla base 141 del contenitore 132 e la realizzazione delle connessioni elettriche 137 (ad esempio tramite piastra 145 e fili 140 con un metallo quale oro), la molla a lamina 115 viene poggiata sull'unità a sensore 131, poi viene colata la massa viscosa 139; infine viene saldato il coperchio 142.

La figura 9 mostra un dispositivo 150 simile al dispositivo 10 di figura 1, in cui l'elemento elastico, qui ancora una molla a lamina 155 con forma a nastro, presenta più punti di contatto con l'unità a sensore 151. In particolare, nell'esempio mostrato, la molla a lamina 155 forma una serie di avvallamenti, qui due avvallamenti 155B, a contatto con l'unità a sensore 151, raccordati da porzioni sporgenti verso l'alto, qui una porzione sporgente 155C, che possono essere a contatto con il coperchio 162 del contenitore 152 o meno.

Il cappuccio 154 può essere realizzato da un singolo corpo con area quadrangolare, come in figura 1, oppure essere costituito da un anello di contrasto (come mostrato in figura 9, che mostra, in sezione, due porzioni) oppure essere costituito da una pluralità di porzioni di contrasto separate, tante quanti i punti di contatto.

Anche in questa soluzione può essere prevista una massa viscosa, non mostrata.

Tale soluzione può essere utile quando l'unità a sensore 151 o la piastrina sensore 153 sono molto grandi, di dimensioni comparabili con quelle del contenitore 152 (quest'ultimo, ad esempio, dell'ordine di $10 \times 10 \text{ mm}^2$). In questo caso, la presenza di diversi punti di contatto migliora la qualità della superficie di contatto fra la base 161 e la piastrina sensore 153, in quanto l'azione della molla a lamina 155 viene applicata a diversi punti di contatto. In questo modo, è inoltre possibile aumentare la sensibilità del sistema, consentendo di utilizzare una piastrina sensore 153 più sottile e lunga.

La figura 10 mostra un dispositivo 170 nel quale l'elemento elastico è costituito da una massa viscosa 175 che riempie l'intera camera 184 e mantiene l'unità a sensore 171 a contatto con la base 181 del contenitore 172.

La massa viscosa 175 può essere ad esempio di gomma siliconica, introdotta in fase liquida nella camera 184 dopo la chiusura del contenitore 172 attraverso una apposita prima apertura 116, ad esempio nel coperchio 182. Una seconda apertura 119, ad esempio anch'essa nel coperchio 182, può essere prevista per l'aspirazione dell'aria dalla camera 184 durante la fase di iniezione della massa viscosa 175.

Nella figura 10, l'unità a sensore 171 è del tipo mostrato nelle figure 1-2, ma potrebbe anche essere una qualsiasi delle figure 3-5.

In questa forma di realizzazione, la massa viscosa 175 è particolarmente efficace nel favorire l'adesione della unità a sensore 171 alla base 181 del contenitore 172, e quindi nel permettere alla unità a sensore 171 di seguire la deflessione della base 181 quando un carico viene applicato a questa. Inoltre, l'assemblaggio è particolarmente semplice ed economico.

Le figure 11-13 mostrano un dispositivo 190 nel quale l'elemento elastico è formato da una lamina metallica sagomata 195. Ad esempio, la lamina metallica sagomata può essere costituita da un lamierino di acciaio armonico con spessore di 0,2 mm, tagliato al laser.

In dettaglio, la lamina metallica sagomata 195 comprende un telaio esterno 195A, una porzione centrale 195B ed una pluralità di bracci 195C estendentisi fra il telaio esterno 195A e la porzione centrale 195B. Nell'esempio di realizzazione mostrato, il telaio esterno 195A ha forma anulare rettangolare aperta, con perimetro esterno approssimativamente uguale al perimetro esterno del coperchio 202, qui sagomato a tazza, ed è saldato fra il coperchio 202 e la base 201. Il telaio esterno 195A ha inoltre un'apertura 195D in corrispondenza della apertura

206 del coperchio 202.

La porzione centrale 195B della lamina metallica sagomata 195 ha qui forma sostanzialmente rettangolare; i bracci 195C, qui quattro bracci 195C, hanno forma ad L e si estendono ciascuno da un differente lato del telaio esterno 195A fino ad un rispettivo lato o spigolo della porzione centrale 195B.

La porzione centrale 195A della lamina metallica sagomata 195 appoggia sull'unità a sensore 191, qui ad esempio comprendente solo la piastrina sensore 193, ed ha dimensioni tali da coprire praticamente l'intera area della piastrina sensore 193 tranne una porzione dove sono presenti le piazzole di contatto 198, per consentirne l'accesso e la saldatura a fili di connessione 208 (figura 12).

Le connessioni elettriche 197 comprendono qui un conduttore flessibile 205 includente un nastro di materiale flessibile, ad esempio di kapton, alloggiante conduttori elettrici, ad esempio di rame, analogamente alla figura 2, collegati ai fili di connessione 208. Il conduttore flessibile 205 si estende sulla base 201 e attraverso le aperture 206 nel coperchio 202 e 195D nel telaio esterno 195 della lamina elastica sagomata 195.

Durante l'assemblaggio, la lamina elastica sagomata 195 viene disposta al di sopra della piastrina sensore 193,

con la porzione centrale 195B a contatto con questa. La saldatura del coperchio 202 provoca quindi la deformazione dei bracci 195C (facilmente deformabili per effetto della loro larghezza ridotta, ad esempio di 100 μm), per effetto dello spessore della unità a sensore 191, come si nota in particolare nelle figure 12 e 13. La lamina elastica sagomata 195 può essere saldata alla base 201 e al coperchio 202 tramite punti di saldatura e trattiene l'unità a sensore 191 a contatto con la base 201, consentendo l'accoppiamento reciproco e la misura delle forze agenti sulla base 201.

La figura 14 mostra un dispositivo 210 disposto fra una prima ed una seconda parte 300 e 310, traslabili fra loro. Ad esempio, le due parti 300 e 310 possono avere forma cilindrica, simmetriche rispetto ad un asse centrale A1, delle quali in figura 14 è mostrata solo metà sezione.

In particolare, la prima parte 300 è qui costituita da una prima base 222, di forma circolare, e da una parete cilindrica 223. La seconda parte 310 può comprendere una seconda base 221, di forma circolare e di diametro sostanzialmente pari al diametro interno della parete cilindrica 223, in modo da potere traslare all'interno di questa, parallelamente all'asse centrale A1, come mostrato dalla freccia M. La prima base 222 e la seconda base 221 presentano rispettive facce 222A, 221A reciprocamente

affacciate e parallele, definenti, insieme alla parete cilindrica 223, una camera 214. Le facce 222A, 221A si estendono qui perpendicolarmente all'asse centrale A1.

All'interno della camera 214 è disposta una rondella sagomata a tazza 320, ad esempio di acciaio. La rondella sagomata a tazza 320 comprende una porzione planare 321, di forma discoidale, una porzione sporgente centrale 322, estendentesi verso una delle parti 300, 310, qui verso la faccia 221A della seconda base 221, ed una porzione sporgente periferica 323, estendentesi verso l'altra delle parti 300, 310, qui verso la faccia 222A della prima base 222.

Una membrana 315, ad esempio di ceramica e di forma circolare, è a contatto di un lato della rondella sagomata a tazza 320, qui sul lato rivolto verso faccia 222A della prima base 222, eccentricamente rispetto all'asse centrale A1 del dispositivo 210. Una piastrina sensore 213 è fissata, ad esempio saldata tramite glass frit, alla membrana 315. La membrana 315 può avere spessore di 100 μm , in modo da potersi deformare facilmente. La piastrina sensore 213, avente uno spessore di ad esempio 100 μm , integra resistori piezoelettrici non mostrati ed è collegata con un circuito di elaborazione non mostrato (ad esempio un ASIC) attraverso fili 228 e connessioni elettriche non mostrate.

In alternativa, la membrana 315 potrebbe avere delle resistenze serigrafate ed essere collegata direttamente al chip di elaborazione ASIC.

Una rondella anulare 316, ad esempio di ceramica, poggia perifericamente sulla membrana 315 e un anello elastico o O-Ring 215 è interposto fra la rondella anulare 316 e la faccia 222A della prima base 222. In una variante, la rondella anulare 316 può mancare.

Qui, la membrana 315, la piastrina sensore 213 ed eventualmente la rondella anulare 320 formano una unità a sensore 211. Una analoga unità a sensore può essere disposta specularmente, a destra dell'asse centrale A1, in modo non mostrato. Inoltre, le parti 300, 310 e la rondella sagomata a tazza 320 costituiscono un contenitore 212 definente la camera 214 in cui è alloggiata l'unità a sensore 211 e l'elemento elastico (anello elastico 215).

In uso, un movimento M di avvicinamento reciproco fra le due parti 300 e 310 dà origine ad una forza F1 sulla porzione sporgente periferica 323 della rondella sagomata a tazza 320, che si deforma, come mostrato da linea tratteggiata. L'anello elastico 215 mantiene la membrana 315 a contatto con la rondella sagomata a tazza 320, provocando una analoga deformazione della membrana 315 e della piastrina sensore 213, che, attraverso i suoi piezoresistori, rileva l'entità della deformazione e quindi

la forza applicata.

La figura 15 mostra un dispositivo 230 operante in modo simile a quello di figura 14, in cui le due parti 400, 410 sono simmetriche rispetto ad un asse centrale A2 costituente un asse di simmetria del contenitore 232 attraversante l'unità a sensore 231. Qui, la rondella sagomata a tazza 320 è sostituita da una piastrina ("plate") ad S 420, non simmetrica, e piezoresistori 247 sono realizzati al di sopra della membrana 415, ad esempio serigrafati.

Analogamente alla figura 14, il dispositivo 230 ha una rondella anulare 416, ad esempio di ceramica, poggiante perifericamente sulla membrana 415. Inoltre, un anello elastico 235 è interposto fra la rondella anulare 416 e la prima parte 400.

Il dispositivo qui descritto presenta numerosi vantaggi.

In particolare, tra l'unità a sensore e il substrato deformabile (base, rondella o piastrina) non si hanno condizioni di stress residuo, dato che essi non sono saldati reciprocamente. Inoltre, data l'assenza di saldature fra l'unità a sensore e il substrato deformabile, non ci sono parti sottoposte a concentrazione di stress. Questo permette di aumentare notevolmente l'ambito operativo del dispositivo. Inoltre, in presenza di

gradienti di temperatura, il presente dispositivo non è soggetto a stress dovuti a materiali con caratteristiche di espansione diverse, fra loro vincolati rigidamente.

Risulta infine chiaro che al dispositivo 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, le diverse forme di realizzazione descritte possono essere combinate in modo da fornire ulteriori soluzioni.

Inoltre, nelle soluzioni in cui un cappuccio è fissato alla piastrina sensore, l'insieme può essere sostituito da una singola piastrina semiconduttrice, alloggiante una cavità sepolta delimitante una porzione della piastrina costituente una membrana flessibile, come noto per i sensori MEMS. La deflessione della membrana può essere rilevata tramite piezoresistori integrati nella membrana o tramite altri componenti di rilevamento operanti secondo diversi principi fisici, ad esempio per via capacitiva. In questo caso, la piastrina può essere disposta in posizione ribaltata, in modo da avere la membrana a contatto con la base, membrana o altro supporto deformabile e vie passanti conduttive (ad esempio le cosiddette "through silicon vias" possono essere previste per realizzare le connessioni elettriche con il retro della piastrina.

RIVENDICAZIONI

1. Dispositivo per il rilevamento di carichi, comprendente:

un contenitore (12; 32; 52; 72; 92; 112; 132; 152; 172; 192; 212; 232) formante una camera (24; 44; 64; 84; 104; 124; 184, 194; 214) ed avente un substrato deformabile (21; 41; 61; 81; 101; 121; 141; 161; 181; 201; 320; 420) configurato, in uso, per essere deformato da una forza;

un'unità a sensore (11; 31; 51; 71; 91; 111; 131; 151; 171; 191; 211; 231), a contatto diretto con il substrato deformabile e configurata per rilevare deformazioni del substrato deformabile;

un elemento elastico (15; 35; 55; 75; 95; 115; 135; 155; 175; 195; 215; 235) all'interno della camera e agente fra il contenitore e l'unità a sensore, l'elemento elastico essendo configurato in modo da generare, sull'unità a sensore, una forza atta a mantenere l'unità a sensore a contatto con il substrato deformabile.

2. Dispositivo secondo la rivendicazione 1, in cui l'unità a sensore (11; 71; 111; 131; 151; 171; 191; 211) comprende una piastrina sensore (13; 73; 113; 133; 153; 173; 193; 213) di materiale semiconduttore o ceramica avente una prima faccia (13A) a contatto con il substrato deformabile (21; 81; 121; 141; 161; 181; 201; 315) e portante elementi sensori di deformazione (27; 107).

3. Dispositivo secondo la rivendicazione 2, i cui gli elementi sensori di deformazione sono piezoresistori (27; 107).

4. Dispositivo secondo la rivendicazione 2 o 3, in cui la piastrina sensore (13; 73; 113; 133; 153; 173; 193; 213) ha una seconda faccia (13B) e un corpo (14; 89; 94; 114; 134; 154; 174) è interposto fra la piastrina sensore e l'elemento elastico (15; 75; 95; 115; 135; 155; 175), il corpo avendo rigidità maggiore della piastrina, in cui la piastrina sensore e il corpo delimitano fra loro un'intercapedine (16; 76).

5. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui l'elemento elastico (15; 35; 55; 75; 95; 115; 135; 155; 175; 195; 215; 235) è scelto fra un elemento a molla, un anello elastico, e un gel visco-elastico.

6. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-4, in cui l'elemento molla (15; 95; 115; 135; 155) è una lamina metallica sagomata a nastro o a tazza.

7. Dispositivo secondo la rivendicazione 6, in cui l'elemento elastico comprende inoltre una massa viscosa (99; 119; 139) circondante l'unità a sensore (91; 111; 131) ed è interposta fra l'unità a sensore (91; 111; 131) e il contenitore (92; 112; 132).

8. Dispositivo secondo la rivendicazione 7, in cui la massa viscosa (139) circonda almeno parte dell'elemento elastico (135).

9. Dispositivo secondo la rivendicazione 7, in cui la massa viscosa (139) è interposta fra l'elemento elastico (115) e l'unità a sensore (111).

10. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il contenitore (12; 32; 52; 72; 92; 112; 132; 152; 172; 212; 232) comprende un coperchio (22; 42; 62; 82; 102; 122; 142; 162; 182) fissato ad una base (21; 41; 61; 81; 101; 121; 141; 161; 181), la base formando il substrato deformabile e il coperchio formando una superficie di riscontro per l'elemento elastico (15; 35; 55; 75; 95; 115; 135; 155; 175).

11. Dispositivo secondo la rivendicazione 1, in cui l'unità a sensore (31; 51) comprende una membrana flessibile (47; 67) portante elementi sensori di deformazione (33; 63) e l'elemento elastico (35; 55) agisce fra il contenitore (32; 52) e la membrana flessibile.

12. Dispositivo secondo la rivendicazione 11, comprendente un elemento di contrasto (48, 49; 59) circondante gli elementi sensori di deformazione (33; 63) e l'elemento elastico (35; 55) è disposto fra una superficie interna del contenitore (32; 52) e l'elemento di contrasto.

13. Dispositivo secondo la rivendicazione 11 o 12, in

cui l'elemento elastico è un anello elastico (35; 55).

14. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-4 e 10-12, quando dipendenti da 1-4, in cui l'elemento elastico (175) è una massa visco-elastica riempiente completamente la camera (184).

15. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-5, in cui l'elemento elastico è un lamierino sagomato (195) comprendente una porzione periferica (195A), una porzione centrale (195B) ed una pluralità di bracci (195C) accoppianti la porzione periferica alla porzione centrale, in cui la porzione centrale appoggia sull'unità a sensore (191) e la porzione periferica è bloccata dal contenitore (192) ad una distanza dal substrato deformabile (201) inferiore rispetto all'altezza della unità a sensore.

16. Dispositivo secondo la rivendicazione 15, in cui in cui il contenitore (192) comprende un coperchio (202) fissato al substrato deformabile (201) e la porzione periferica (195A) è fissata fra il coperchio e il substrato deformabile.

17. Dispositivo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-5, in cui il contenitore (212; 232) comprende una prima parte (300; 400) ed una seconda parte (310; 410), mobili fra loro e definenti la camera (214), un lato interno della prima parte formando una superficie di

contrasto; il substrato deformabile (320; 420) è un elemento non planare, avente una porzione portante (321) a contatto con l'unità a sensore (211; 231), una prima porzione sporgente (323) estendentesi verso la prima parte e una seconda porzione sporgente (322) estendentesi verso la seconda parte; e l'unità a sensore comprende una membrana flessibile (315; 415) portante elementi sensori di deformazione (213; 247) e l'elemento elastico (215; 235) è interposto fra la superficie di riscontro e l'unità a sensore.

18. Dispositivo secondo la rivendicazione 17, in cui il substrato deformabile è una rondella a tazza (320) avente una porzione periferica (323) formante la prima porzione sporgente e una porzione centrale (322) formante la seconda porzione sporgente, e l'elemento elastico (215) è un anello elastico interposto fra la superficie di riscontro e la membrana flessibile (315).

19. Dispositivo secondo la rivendicazione 17, in cui il substrato deformabile è una rondella ad S (420) e l'elemento elastico (235) è un anello elastico interposto fra la superficie di riscontro e la membrana flessibile (415).

20. Dispositivo per il rilevamento di carichi, comprendente:

un contenitore (12; 32; 52; 72; 92; 112; 132; 152;

192) avente una base deformabile (21; 41; 61; 81; 101; 121; 141; 161; 201) ed un coperchio (22; 42; 62; 82; 102; 122; 142; 162; 182) delimitanti una camera (24; 44; 64; 84; 104; 124; 184; 194; 214), la base deformabile essendo configurata, in uso, per essere deformata da una forza da misurare;

un'unità a sensore (11; 31; 51; 71; 91; 111; 131; 151; 191), a contatto diretto con la base deformabile e configurata per rilevare deformazioni della base deformabile;

un elemento elastico a molla (15; 35; 55; 75; 95; 115; 135; 155; 195) all'interno della camera, agente fra il contenitore e l'unità a sensore, configurato in modo da generare, sull'unità a sensore, una forza atta a mantenere l'unità a sensore a contatto con il substrato deformabile.

21. Dispositivo secondo la rivendicazione 20, in cui l'unità a sensore (11; 71; 91; 111; 131; 151; 191) comprende una piastrina di materiale semiconduttore o ceramico (13; 73; 93; 113; 133; 153; 193) a contatto diretto con il substrato deformabile (21; 81; 101; 121; 141; 161; 201), senza interposizione di materiale, e portante elementi sensori di deformazione (27; 107.)

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

Elena CERBARO

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

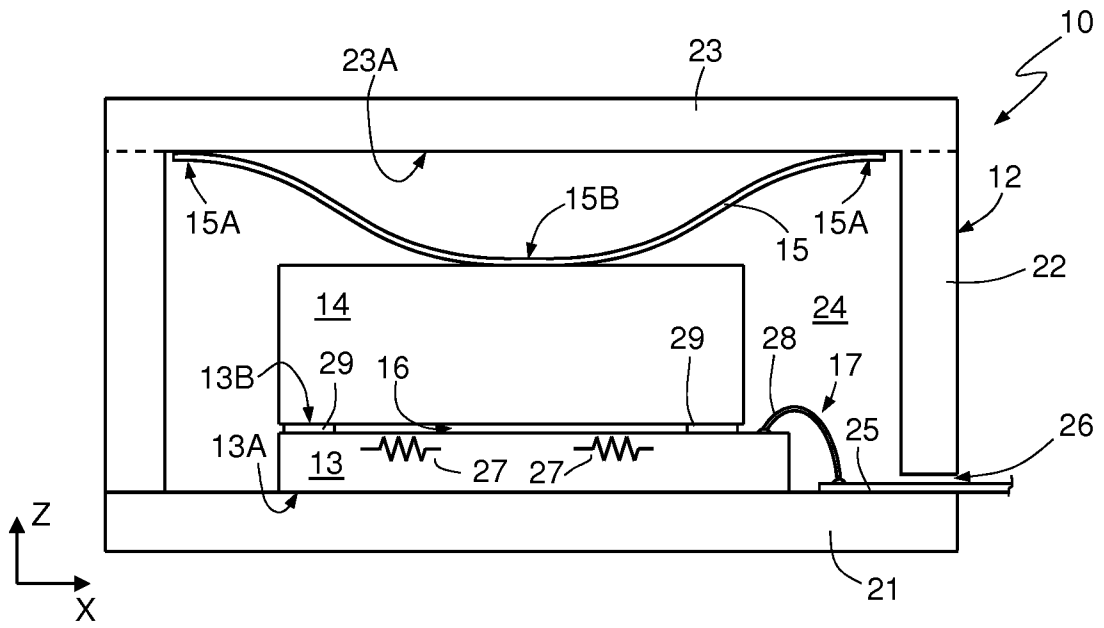


Fig.1

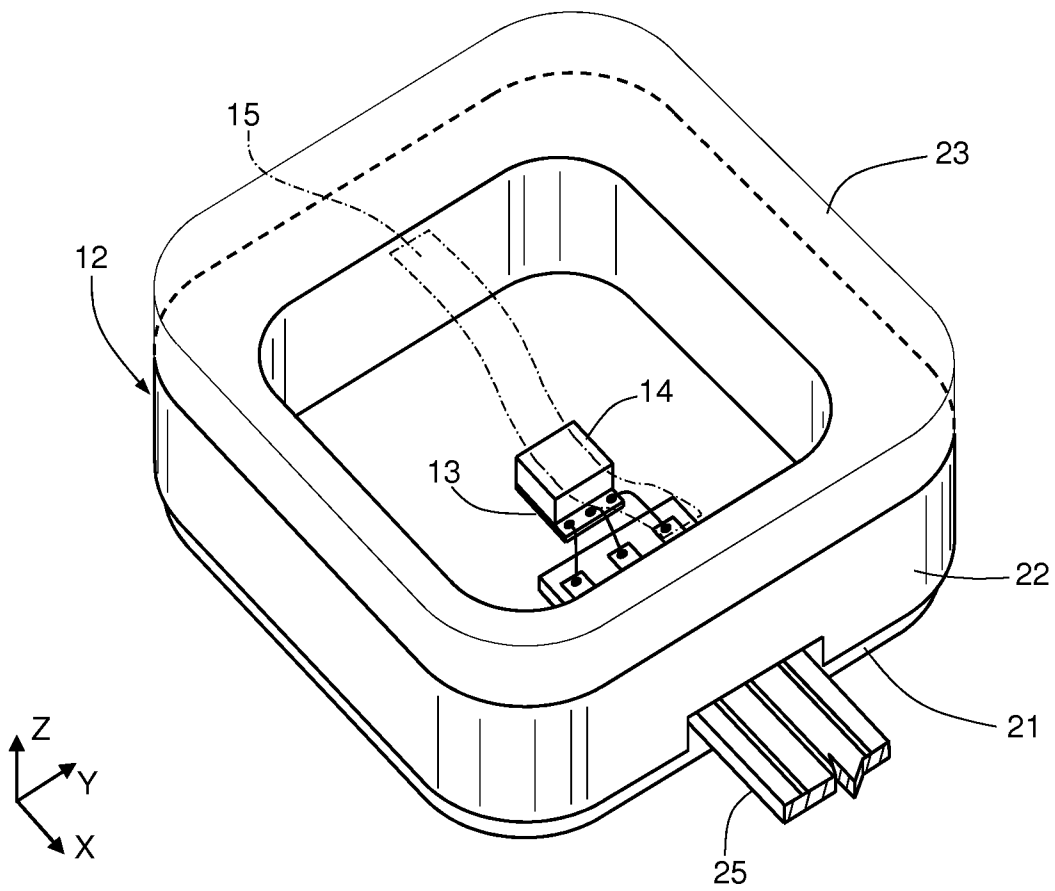


Fig.2

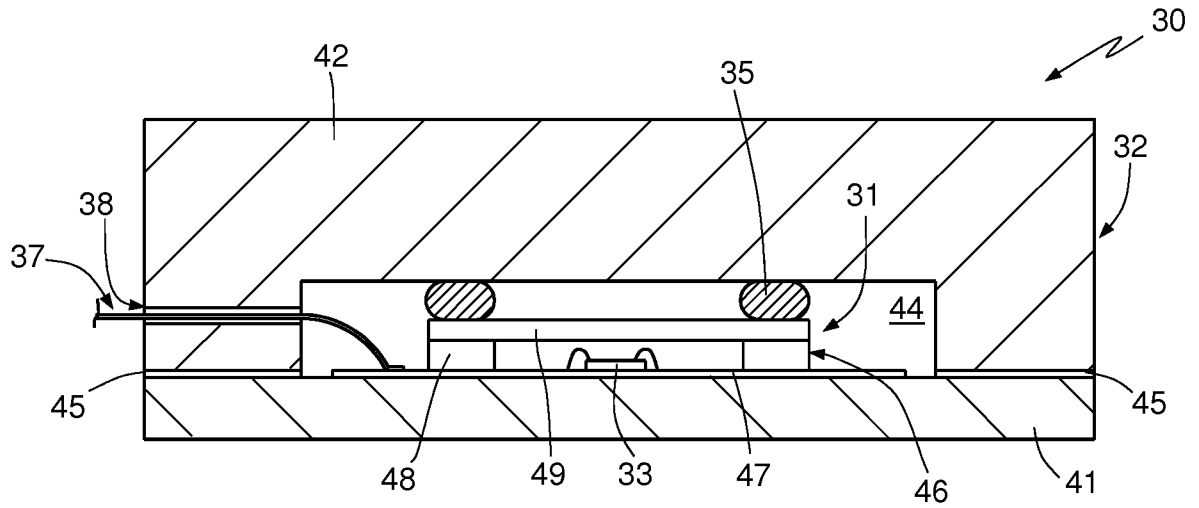


Fig.3

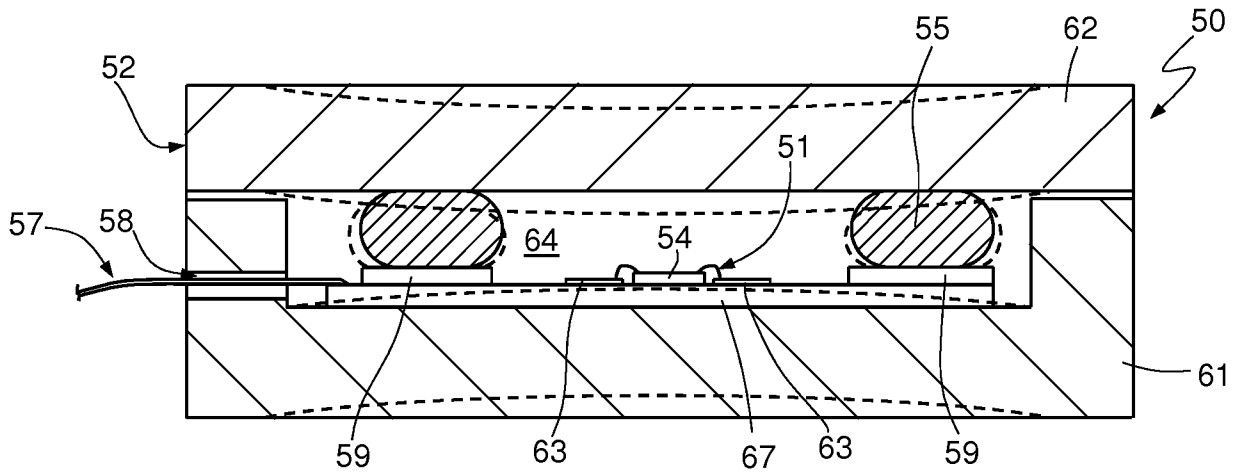


Fig.4

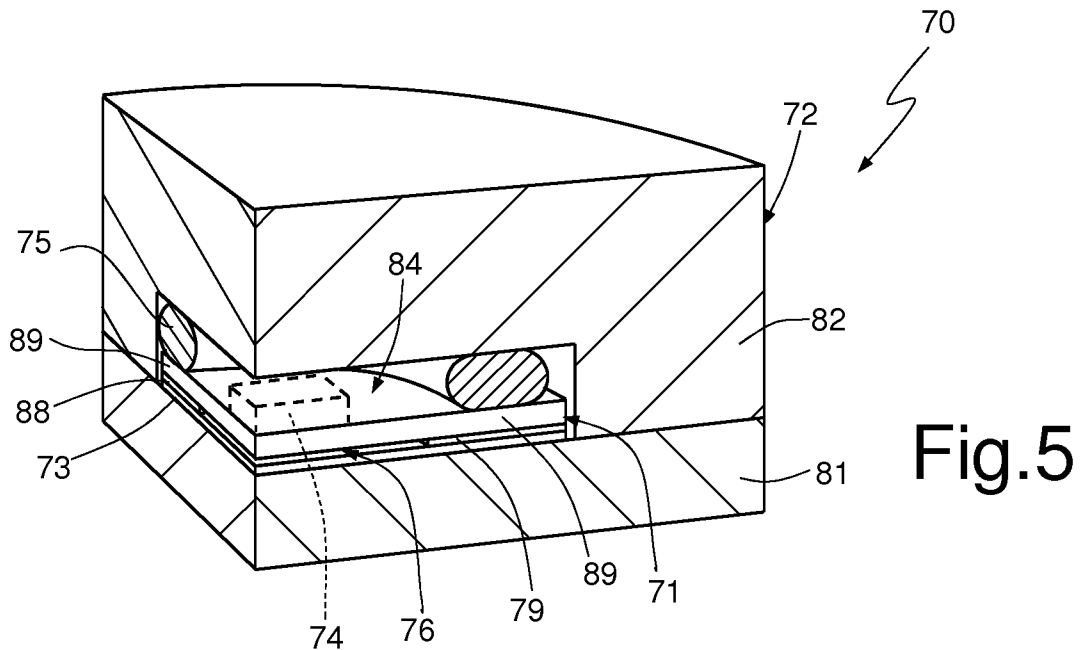


Fig.5

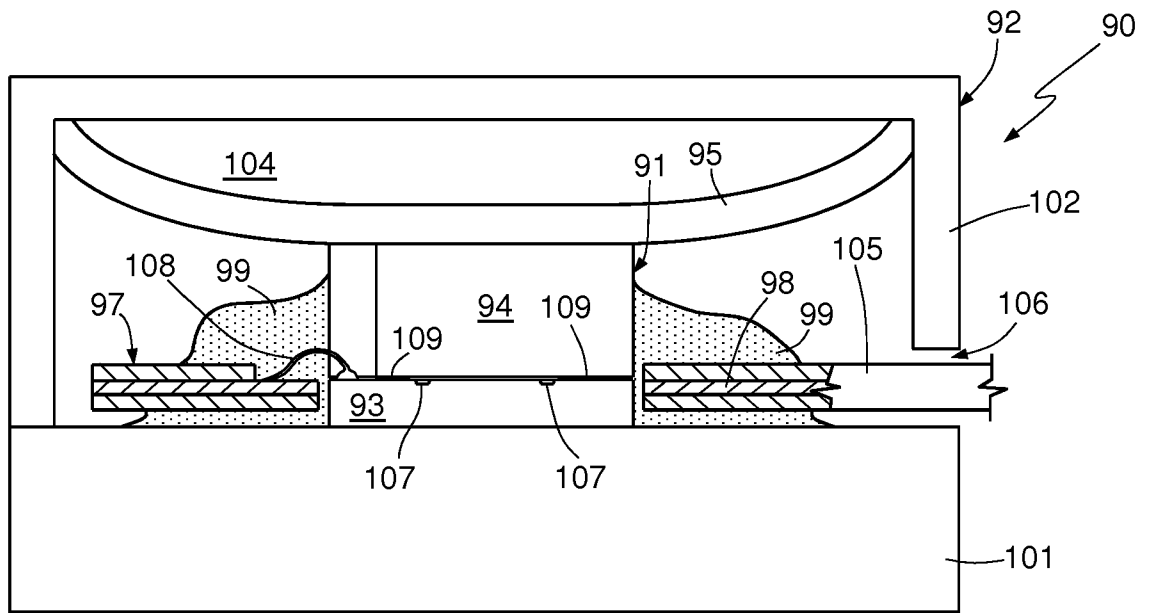


Fig. 6

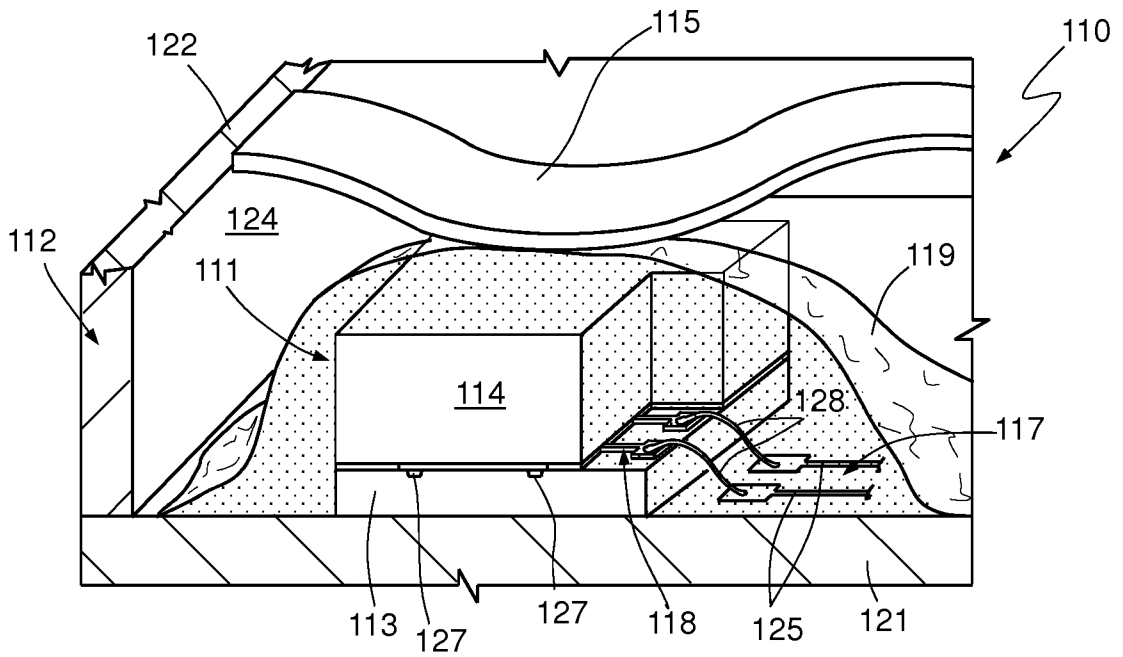
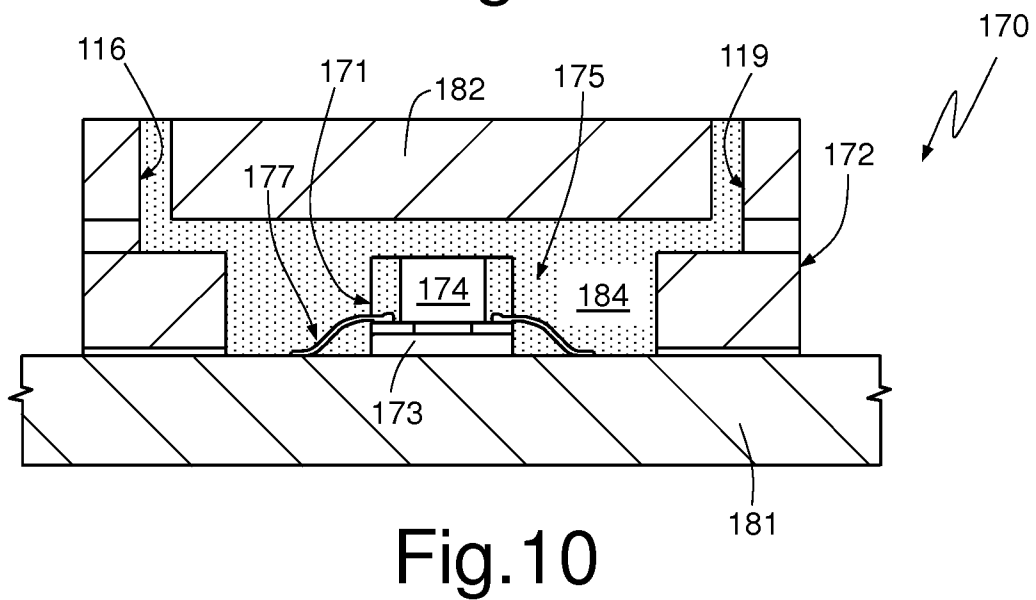
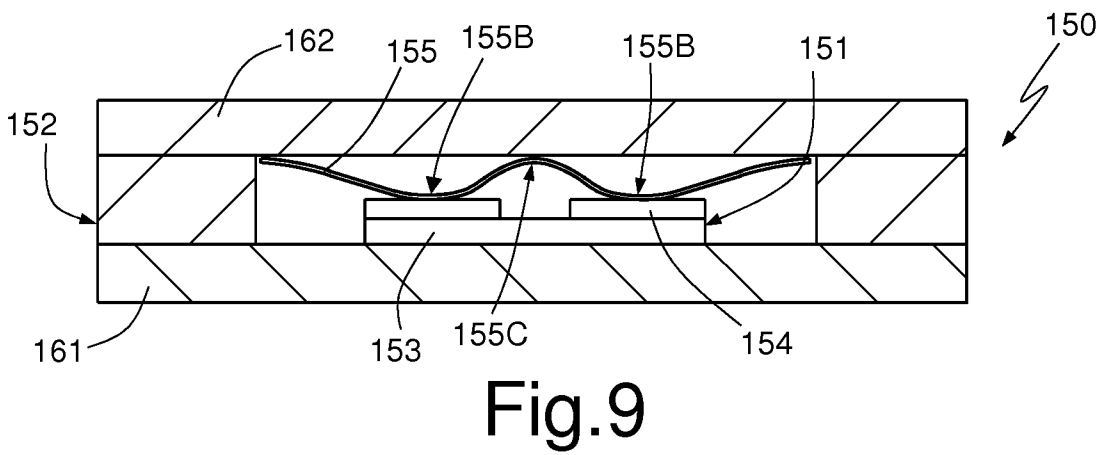
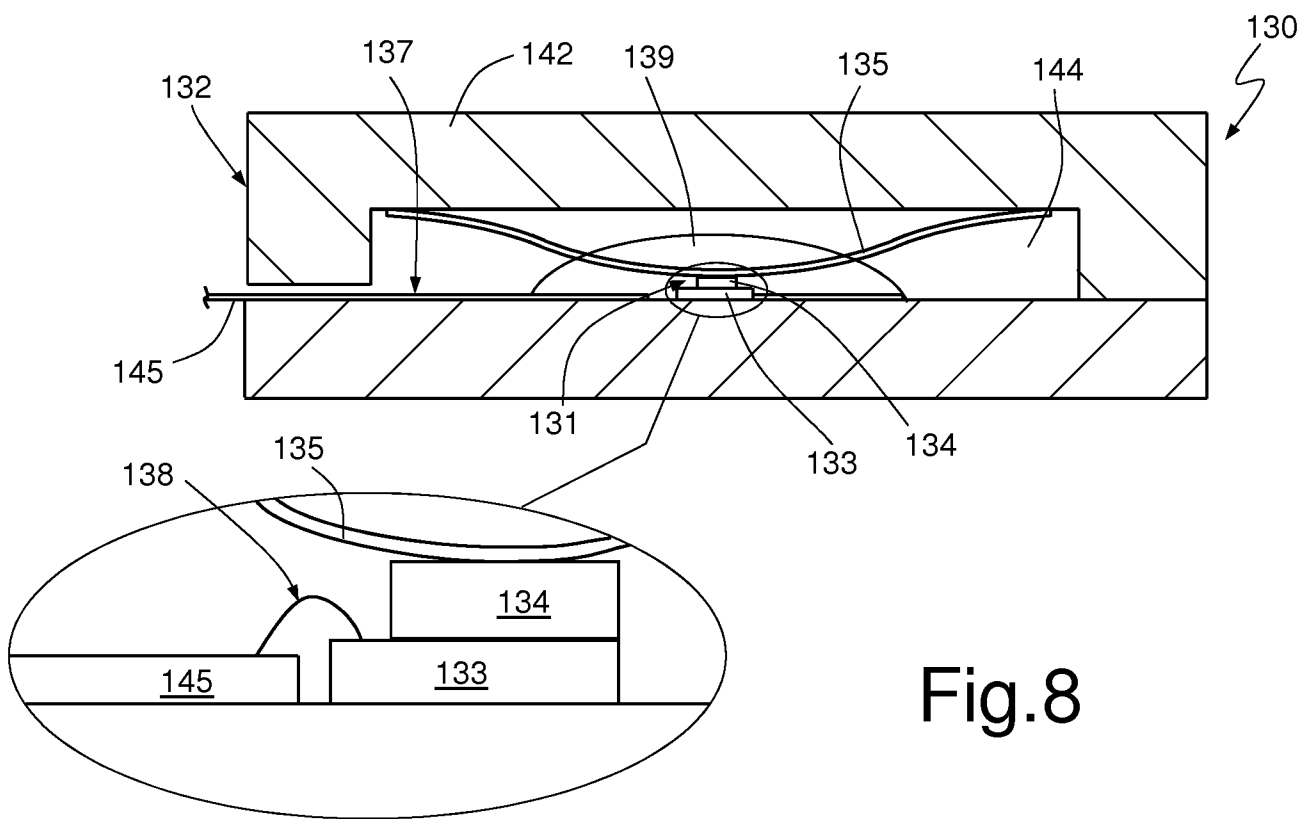


Fig. 7



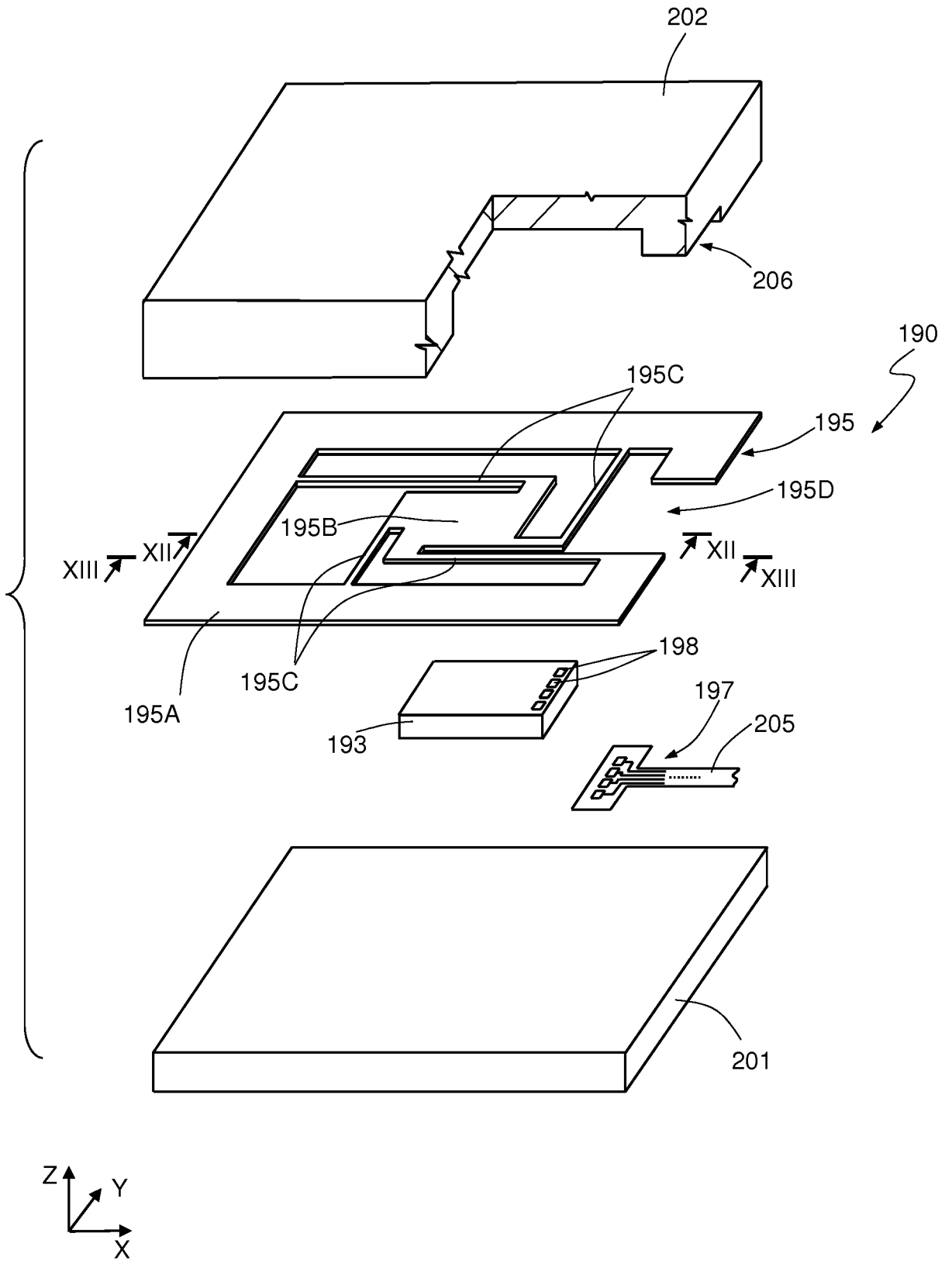


Fig.11

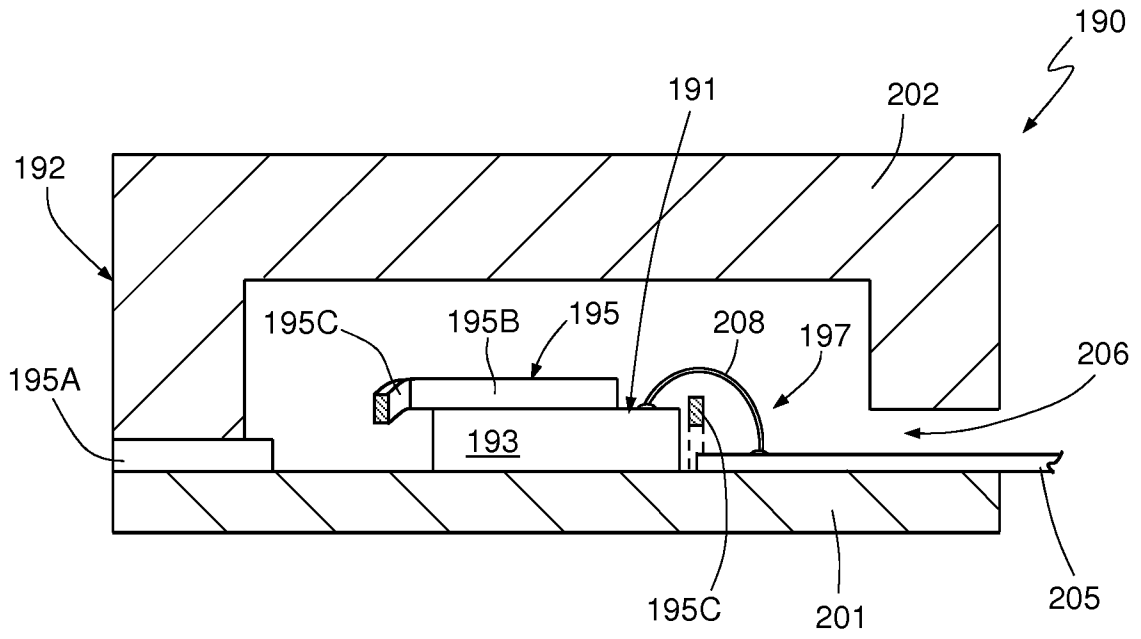


Fig.12

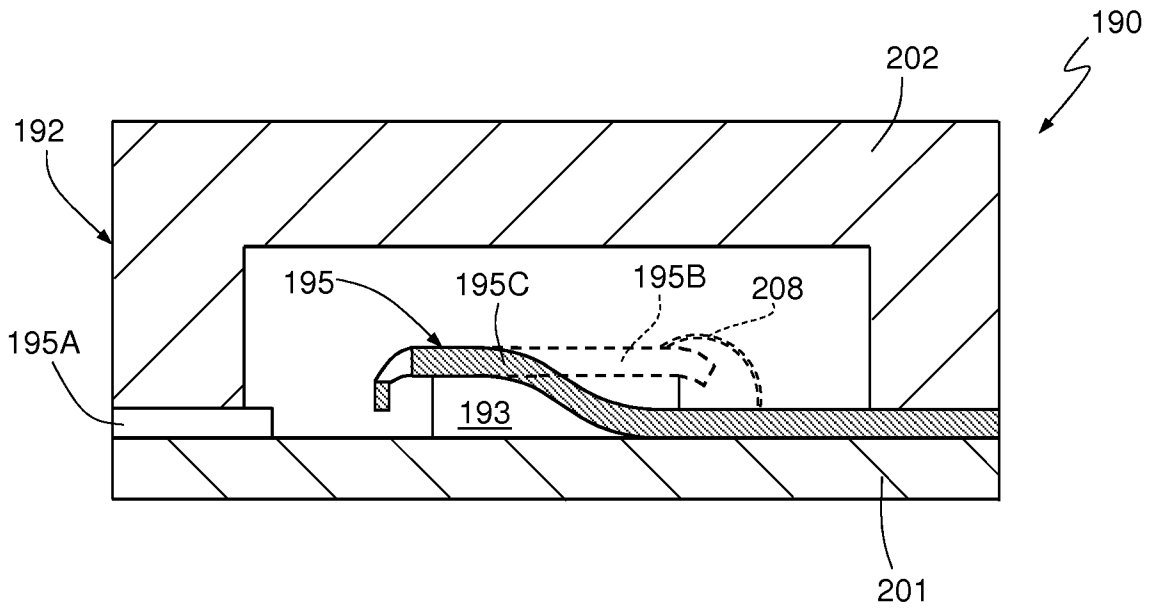


Fig.13

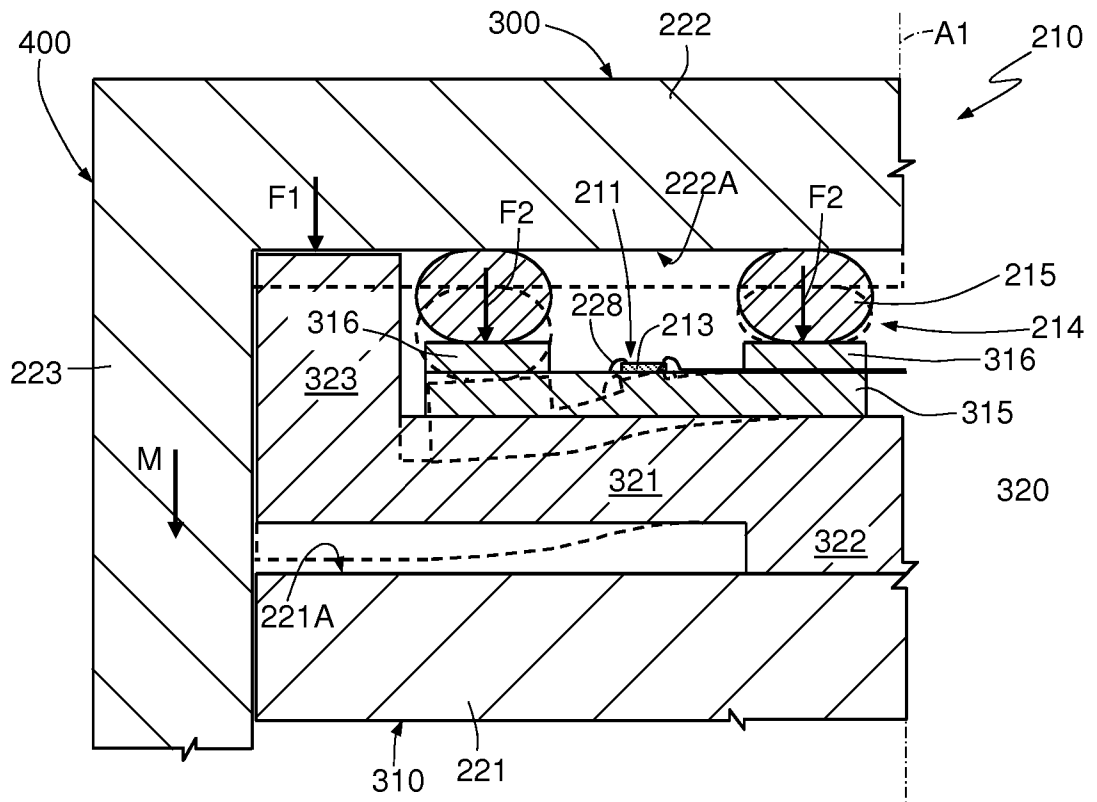


Fig.14

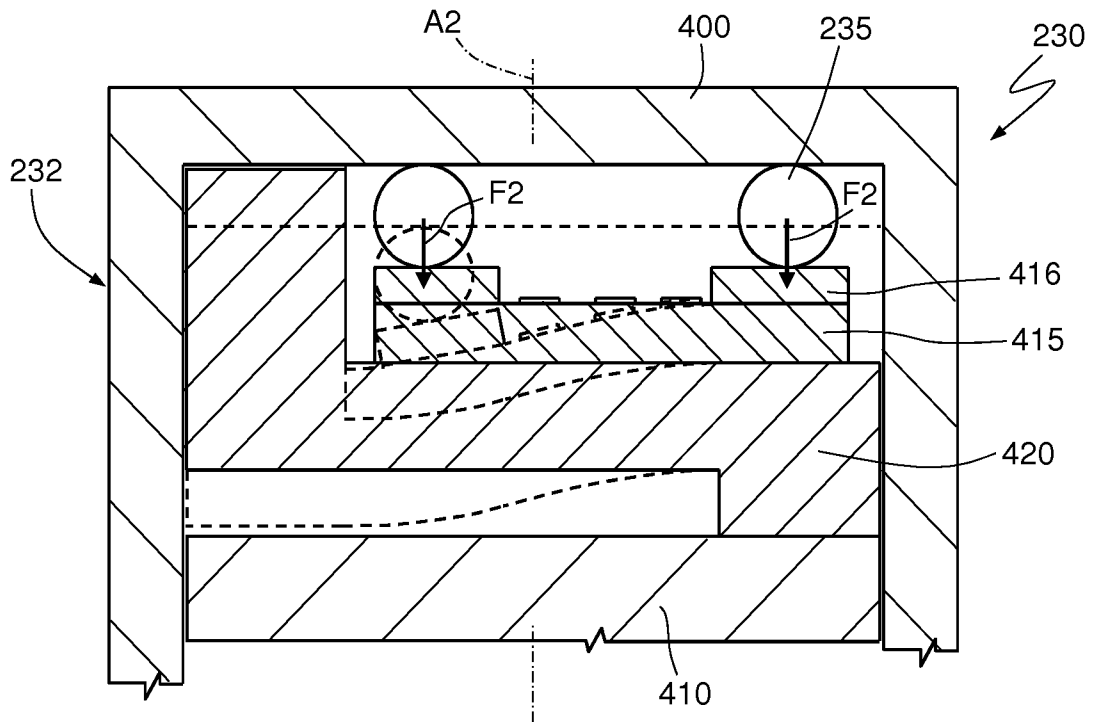


Fig.15