

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102010901838482A1

Publication Date

20111112

Applicant

METALLUX SA

Title

SENSORE DI PRESSIONE

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

"SENSORE DI PRESSIONE",

di: Metallux SA, di nazionalità svizzera, con sede in Via Moree 12, CH-6850 Mendrisio (Svizzera).

Inventori designati:

- Luca SALMASO, Str. Regina 125, CH-6982 Serocca d'Agno (Svizzera)
- Massimo MONICHINO, Via Sanzio 16, 20149 Milano
- Fabio NEBBIA, Via Mazzini 2, 15036 Giarole (AL)

Depositata il: 12 maggio 2010

* * *

TESTO DELLA DESCRIZIONE

Campo dell'invenzione

La presente invenzione si riferisce ad un sensore di pressione avente le caratteristiche indicate almeno al preambolo della rivendicazione 1.

Più particolarmente, l'invenzione riguarda un sensore di pressione avente:

- un elemento sensibile alla pressione, comprendete un die di materiale semiconduttore, particolarmente silicio, definente una cavità cieca avente un'estremità aperta in corrispondenza di una prima faccia del die, l'estremità opposta della cavità essendo chiusa da una porzione a membrana definita dal die in corrispondenza della sua faccia opposta alla prima faccia;
- un substrato, attraversato da un'apertura passante ed avente una superficie piana in corrispondenza della quale si apre un'estremità dell'apertura passante, l'elemento sensibile essendo montato sulla superficie piana del substrato con l'estremità aperta della relativa cavità affacciata all'apertura passante del substrato;
- un circuito elettrico al quale il die è elettricamente connesso.

L'invenzione di riferisce altresì ad un metodo per la produzione di un tale sensore, secondo almeno il preambolo della rivendicazione 10.

Tecnica anteriore

Sensori di pressione avente la struttura indicata sono generalmente noti ed utilizzati in dispositivi per la rilevazione della pressione di fluidi (liquidi e aeriformi) in vari settori, quale il settore automobilistico, il settore domestico e degli elettrodomestici,

il settore del condizionamento ambientale e idro-termo-sanitario in genere.

In una prima tipologia di soluzioni il substrato è costituito da un corpo principale del sensore, avente funzioni strutturali, ad esempio formato in materiale metallico, al quale è in genere accoppiato un coperchio di chiusura, che protegge il die di semiconduttore e la circuiteria elettrica/elettrica del sensore, ed integra un connettore.

In un'altra tipologia di soluzioni il substrato è invece costituito da un supporto di circuito stampato o PCB (*Printed Circuit Board*) in vetroresina, che quindi supporta sia il die, sia la suddetta circuiteria. In queste soluzioni, il substrato costituito dal PCB è montato all'interno di un involucro plastico o metallico. Il die in silicio è saldato ad una relativa base di vetro, cava assialmente, tramite "*anodic bonding*", ovvero un processo che prevede l'utilizzo di elettricità per il riscaldamento e la fusione tra silicio e vetro, con ottenimento di un legame chimico. La base suddetta viene incollata a tenuta sul relativo substrato, tramite una resina siliconica o epossidica, in corrispondenza di una relativa apertura passante.

A prescindere dal tipo di realizzazione specifica, e molto schematicamente, l'apertura passante del substrato risulta posta in comunicazione di fluido con un circuito in cui si trova il mezzo di cui deve essere rilevata la pressione, sia esso un liquido o un aeriforme. In tal modo, anche la cavità del die risulta in comunicazione di fluido con il circuito in cui si trova il mezzo oggetto di misura. La pressione del suddetto mezzo genera una flessione più o meno marcata della porzione a membrana del die. L'entità della deformazione, rappresentativa della pressione, è rilevata realizzando opportunamente il die, ad esempio ricavando in corrispondenza della sua porzione a membrana un ponte resistivo miniaturizzato.

La seconda tipologia di soluzioni indicata si dimostra poco idonea all'impiego di sensori di pressione a semiconduttore in abbinamento a fluidi particolarmente aggressivi dal punto di vista chimico, a causa di rischi di deterioramento del PCB. Considerazioni analoghe valgono per il caso in cui il sensore sia impiegato per rilevare la pressione di fluidi aventi elevate temperatura, ad esempio nell'ordine dei 150°C, oppure nel caso in cui il substrato è potenzialmente soggetto ad elevate sollecitazioni meccaniche, come nel caso di pressioni elevate.

Questi problemi vengono ridotti nelle soluzioni in cui la base in vetro del die è

incollata su di un substrato metallico, tipicamente costituito dal corpo principale del sensore, avente funzioni strutturali. Tuttavia, anche queste soluzioni sono nel complesso poco idonee all'impiego in abbinamento a fluidi particolarmente aggressivi dal punto di vista chimico, atteso che anche in questo caso la base in vetro del die viene incollata a tenuta tramite una resina siliconica o epossidica, e queste resine sono scarsamente resistenti ad aggressioni chimiche e/o a ad elevate temperature. Il sensore necessita comunque di un circuito elettrico di collegamento, il cui supporto deve essere posizionato in prossimità del die. Per questa ragione, la faccia del corpo metallico, in corrispondenza della quale sono montati il die ed il circuito tipicamente non è piana, ma lavorata in modo da definire due distinte superfici di appoggio parallele, a differente altezza. In particolare, la suddetta faccia del corpo metallico viene lavorata in modo da definire una porzione centrale in rilievo - attraversata da una porzione terminale del passaggio di presa di pressione - sulla superficie di sommità della quale viene incollata la base in vetro del die. Il supporto di circuito o PCB viene formato con un'apertura di dimensioni tali da poter ricevere passante il suddetto rilievo e poggiare sulla superficie più bassa del substrato. In questo modo, il PCB non giunge mai a contatto con il fluido oggetto di misura e può estendersi attorno al rilievo, per un collegamento più agevole al die.

Nelle configurazioni note citate, con un circuito stampato o PCB aggiunto sul substrato, se il substrato stesso fosse completamente piano, il chip o die incollato su di esso risulterebbe inserito all'interno della suddetta apertura del supporto di circuito: ne consegue che, in presenza di un PCB relativamente spesso, la superficie di sommità del die - il cui corpo è tipicamente molto sottile - potrebbe trovarsi ad un livello inferiore alla superficie di sommità del PCB, con conseguente difficoltà o impossibilità a realizzare i collegamenti elettrici o un "*wire bonding*" tra die e PCB, tecnologia che tipicamente necessita di notevole precisione, in particolare per poter realizzare il processo in modo automatizzato. Dall'altro lato, in caso di utilizzo di un PCB sottile, quale un PCB in materiale flessibile, si possono presentare difficoltà di posizionamento certo tra il PCB stesso ed il die, ed in particolare tra il die e le piazzole del PCB su cui devono essere realizzati i collegamenti con tecnica "*wire bonding*".

Tale inconveniente viene accentuato dal fatto che il PCB deve essere incollato al

substrato, con un conseguente aumento di spessore, dovuto proprio allo strato di colla. In assenza di tale incollaggio tra il PCB ed il substrato, il collegamento elettrico non sarebbe fattibile, in quanto realizzato da fili capillari - il suddetto wire bonding - che si romperebbero al minimo movimento. Questo rischio è peraltro presente anche in presenza di incollaggio tra PCB e substrato, a causa dei potenziali spostamenti tra le due parti, ad esempio nella fase di incollaggio oppure dovuti a successive dilatazioni o deformazioni dei relativi materiali in temperatura.

Questo tipo di soluzione, con faccia superiore definente due diversi piani d'appoggio, complica la realizzazione del dispositivo, ed in particolare del corpo metallico, che deve essere sottoposto a lavorazione meccanica per definire le due superfici parallele, quella più alta per l'appoggio della base del die, e quella più bassa per l'appoggio del supporto di circuito. Come detto, anche con queste soluzioni rimane poi il problema del deterioramento delle resine epossidiche o silconiche impiegate per l'incollaggio al substrato della base in vetro del die, resine che tendono a degradarsi quanto a contatto con fluidi aggressivi e/o ad elevate temperature.

Sommario e scopo dell'invenzione

La presente invenzione si propone essenzialmente di realizzare un sensore di pressione, impiegabile anche con fluidi aggressivi e/o aventi alte temperature, di struttura ed affidabilità migliorata rispetto alla tecnica anteriore citata.

Questo ed altri scopi ancora, che risulteranno in seguito, sono raggiunti secondo l'invenzione da un sensore di pressione e da un procedimento per la fabbricazione di un sensore di pressione aventi almeno le caratteristiche indicate nelle rivendicazioni allegate, che costituiscono parte integrante dell'insegnamento tecnico fornito in relazione all'invenzione.

Breve descrizione dei disegni

Ulteriori scopi, caratteristiche e vantaggi della presente invenzione risulteranno chiari dalla descrizione particolareggiata che segue e dai disegni annessi, forniti a puro titolo di esempio esplicativo e non limitativo, in cui:

- la figura 1 è una vista prospettica, parziale e schematica, di un sensore di pressione in accordo ad una prima forma di attuazione dell'invenzione;
- la figura 2 è una sezione schematica del sensore di figura 1;

- la figura 3 è un dettaglio ingrandito di figura 2;
- la figura 4 è una vista prospettica, parziale e schematica, di un sensore di pressione in accordo ad una seconda forma di attuazione dell'invenzione;
- la figura 5 è una sezione schematica del sensore di figura 4, in scala maggiore;
- la figura 6 è una vista prospettica, parziale e schematica, di un sensore di pressione in accordo ad una terza forma di attuazione dell'invenzione;
- la figura 7 è una sezione schematica del sensore di figura 6, in scala maggiore;
- la figura 8 rappresenta, tramite sezioni parziali e schematiche, le fasi principali di un procedimento di incollaggio e sigillatura utilizzato nella produzione dei sensori di pressione secondo le figure 1-7;
- le figure 9 e 10 sono viste simili a quelle delle figure 1 e 2, ma relative ad un sensore di pressione in accordo ad una quarta forma di attuazione dell'invenzione;
- le figure 11 e 12 sono viste simili a quelle delle figure 4 e 5, ma relative ad un sensore di pressione in accordo ad una quinta forma di attuazione dell'invenzione;
- le figure 13 e 14 sono viste simili a quelle delle figure 6 e 7, ma relative ad un sensore di pressione in accordo ad una sesta forma di attuazione dell'invenzione;
- la figura 15 rappresenta, tramite sezioni parziali e schematiche, un esempio di successione di fasi di un procedimento di incollaggio e sigillatura utilizzato nella produzione dei sensori di pressione secondo le figure 9-14.

Descrizione di forme di attuazione preferite dell'invenzione

Il riferimento ad “una forma di attuazione” all’interno di questa descrizione sta ad indicare che una particolare configurazione, struttura, o caratteristica descritta in relazione alla forma di attuazione è compresa in almeno una forma di attuazione. Quindi, i termini “in una forma di attuazione” e simili, presenti in diverse parti all’interno di questa descrizione, non sono necessariamente tutti riferite alla stessa forma di attuazione. Inoltre, le particolari configurazioni, strutture o caratteristiche possono essere combinate in ogni modo adeguato in una o più forme di attuazione. I riferimenti utilizzati nel seguito sono soltanto per comodità e non definiscono l’ambito di tutela o la portata delle forme di attuazione.

Nel seguito della presente descrizione, termini quali “*superiore*” ed “*inferiore*” vanno intesi come semplice riferimento spaziale non limitativo, per agevolare la

descrizione dei particolari illustrati nelle figure.

Con particolare riferimento alle figure 1, 2 e 3, con 1 è indicato nel suo complesso un esempio di sensore di pressione secondo la presente invenzione. Si noti che nelle varie figure il sensore 1 è mostrato limitatamente alle parti di immediato interesse ai fini della comprensione dell'invenzione, e quindi senza un relativo corpo o coperchio che - a seconda dei casi - copre parzialmente oppure racchiude completamente le parti qui rappresentate nelle figure.

Nella forma di attuazione esemplificata, il sensore 1 ha un corpo principale 2, avente funzioni strutturali, con una parte inferiore cilindrica filettata 2a, al di sopra della quale è definita una sede per un anello di tenuta 3. La parte 2a è utilizzabile, ad esempio, per fissare direttamente il corpo principale 2 in una sede filettata che è in comunicazione di fluido con il circuito in cui si trova il mezzo di cui deve essere rilevata la pressione.

Il corpo 2 è attraversato da un passaggio assiale, indicato con 4 nelle figure 2 e 3, che realizza una presa di pressione, tale passaggio essendo preferibilmente, ma non necessariamente, sostanzialmente coassiale all'asse del corpo 2. Il passaggio 4 attraversa il corpo 2 completamente, aprendosi in corrispondenza dell'estremità o faccia superiore del corpo stesso, indicata con 5, che è piana. A tale faccia superiore piana 5 è associato un circuito elettrico.

In una forma di attuazione, il corpo 2 - o almeno la sua parte definente la faccia piana 5 - adempie quindi anche alla funzione di supporto di circuito ed è preferibilmente formato con un materiale elettricamente isolante, preferibilmente un materiale ceramico, ad esempio ottenuto tramite sinterizzazione di polveri di allumina, oppure un polimero; la parte del corpo 2 che adempie alla funzione di supporto di circuito potrebbe essere anche formato in idoneo vetro.

Come si vedrà in seguito, in una diversa forma di attuazione, il corpo 2 o la sua parte definente la faccia 5 può anche essere formato con un materiale elettricamente conduttivo, quale un materiale metallico, ad esempio in acciaio o in alluminio, o un polimero conduttivo: in questi casi, sulla faccia 5 è preferibilmente depositato uno strato di materiale isolante, quale uno strato di ossido metallico elettricamente isolante, sopra il quale vengono poi ulteriormente depositati dei collegamenti e/o piste elettriche, come in seguito descritto.

Come detto la superficie o faccia 5 è sostanzialmente piana, ed in essa si apre l'estremità superiore del passaggio 4. Sulla faccia 5 è montato un elemento sensibile alla pressione, comprendete un die, ovverosia un piccolo blocco o piastrina a base di materiale semiconduttore, tipicamente silicio, che è vincolato (*die-bonded*) alla faccia 5. Nel suddetto die, indicato complessivamente con 6 nelle figure, può essere ricavato direttamente in forma miniaturizzata il circuito integrato che sovrintende al funzionamento generale del sensore di pressione 1. Il die 6 può essere configurato come una singola piastrina o blocchetto in silicio avente sezione quadrangolare, ma tale realizzazione non deve intendersi come limitativa, potendo il die 6 avere sagome diverse da quella illustrata ed essere formato da una pluralità di parti o strati in silicio reciprocamente uniti. Il die 6 è ottenibile con tecnica di per sé nota nel settore della produzione di *chip* a semiconduttore.

A differenza di un comune circuito integrato, il die 6 è preferibilmente privo di un proprio involucro o *package*, e quindi anche privo di relativi terminali (*pin* o *lead*) sporgenti di collegamento, tipicamente realizzati da elementi metallici relativamente rigidi. A questo scopo, sulla faccia superiore in semiconduttore sono apposti direttamente dei contatti o piazzole, non rappresentati, in forma di film sottili di materiale elettricamente conduttivo depositato sul die, preferibilmente ma non necessariamente un materiale nobile, quale ad esempio oro o una lega alluminio silicio 1%; materiali o leghe preferite utilizzabili allo scopo possono comprendere oro, platino, silicio, palladio, berillio, argento, alluminio e rame.

Come si vede in figura 3, nel corpo di materiale semiconduttore è definita una cavità cieca 6a, che ha un'estremità aperta in corrispondenza della faccia inferiore del die, mentre l'estremità opposta della cavità 6a è chiusa da una porzione a membrana 6b, definita dal die 6 in corrispondenza della sua faccia superiore.

Il die 6 è montato sulla superficie superiore piana 5 del corpo o supporto 2 in corrispondenza dell'apertura del passaggio 4, con l'estremità aperta della cavità 6a in corrispondenza di tale apertura.

Come detto, sulla faccia 5 è previsto il suddetto circuito elettrico, raffigurato solo in parte per esigenze di maggior chiarezza, che comprende una pluralità di piste 7 di collegamento, formate con materiale elettricamente conduttivo, depositato sulla

superficie superiore del corpo 5, ed organizzate attorno alla regione di montaggio del die 6. In figura 1 sono rappresentate a titolo esemplificativo tre sole piste 7, dando per scontato che il circuito può comprendere più di tre piste, anche aventi layout differente da quello esemplificato in figura 1.

Il die 6 è collegato a rispettive piste 7 del suddetto circuito tramite sottili fili di collegamento, alcuni indicati genericamente con 8, di materiale elettricamente conduttivo, particolarmente micro-fili flessibili aventi uno spessore o diametro compreso tra circa 5 e 100 micron, preferibilmente da circa 25 a circa 35 micron. I suddetti fili 8 sono preferibilmente formati con un materiale o una lega comprendente un materiale selezionato tra oro, platino, silicio, palladio, berillio, argento, alluminio e rame. I micro-fili 8 sono collegati tra i contatti del die 6 e le piste 7 e/o i componenti di interesse del circuito formato sulla faccia 5, impiegando processi del tipo noto come “*wire bonding*”, e particolarmente del tipo “*wedge-bonding*” oppure “*ball-bonding*”, ad esempio tramite termocompressione, o saldatura ad ultrasuoni, o saldatura termo-sonica. I micro-fili 8 possono avere forme o sezioni differenti, quale una forma o sezione circolare o quadrangolare o sostanzialmente appiattita, ad esempio dei micro-nastri (*mico-ribbon*) flessibili di materiale conduttivo, privi di rivestimento isolante.

Alcune delle piste conduttive 7 del circuito sono in collegamento elettrico con rispettivi terminali del sensore 1, indicati con 9, per l'alimentazione elettrica e/o il trasporto di segnali generati dal die 6, eventualmente trattati, condizionati e/o elaborati per il tramite di componenti elettrici e/o elettronici del circuito. Il circuito previsto sulla superficie della faccia 5 può infatti includere una pluralità di componenti di circuito, di concezione generalmente nota nel settore, tra i quali anche componenti attivi e/o componenti passivi e/o un circuito integrato, oltre al die 6.

Secondo una caratteristica della presente invenzione, la faccia inferiore del die 6, quale la faccia del corpo in silicio del die 6 in corrispondenza della quale si apre la relativa cavità 6a, è incollata e sigillata direttamente al substrato costituito dalla superficie piana 5 del corpo 2 tramite almeno uno strato di materiale vetroso.

Nella forma di attuazione delle figure 1-3 è previsto almeno uno strato di materiale vetroso, indicato con 10. Come si vede, quindi, il die 6 è montato sulla stessa superficie 5 in cui è previsto il circuito elettrico.

Le figure 4 e 5 si riferiscono ad una seconda forma di attuazione dell'invenzione. In tali figure sono impiegati i medesimi numeri di riferimento delle figure precedenti, per indicare elementi tecnicamente equivalenti a quelli già descritti.

Il sensore 1 delle figure 4 e 5 differisce dal sensore 1 delle figure 1-3 sostanzialmente per la forma del corpo 2 che definisce la faccia piana 5 su cui è previsto il circuito elettrico. Anche nella forma di attuazione delle figure 4-5 il corpo 2 è direttamente formato di materiale elettricamente isolante, particolarmente un materiale ceramico o a base di uno o più ossidi. In una forma di attuazione preferita, questo corpo 2 è di allumina, ovverosia ossido di alluminio (AL_2O_3). Similmente al corpo 2 delle figure 1-3, anche il corpo 2 delle figure 4-5 può essere ottenuto tramite sinterizzazione.

Il corpo 2 è attraversato dal relativo passaggio assiale 4 e, in questa forma di attuazione, sulla faccia superiore del corpo 2 è montato il die 6, tramite un relativo strato di materiale vetroso 10.

Si apprezzerà che, anche in questa forma di attuazione, essendo il corpo 2 di materiale elettricamente isolante, sulla sua superficie o faccia superiore piana 5 può agevolmente essere formato almeno in parte il circuito elettrico del sensore 1. In particolare, sulla faccia superiore 5 del corpo 2 può essere direttamente depositato il materiale elettricamente conduttivo necessario alla formazione delle piste 7 e degli eventuali altri componenti di circuito, siano essi ottenibili tramite deposizione di materiale, siano essi associabili al circuito, quali ad esempio delle resistenze.

Anche in questa forma di attuazione, quindi, il materiale costituente il corpo 2 viene sfruttato direttamente come substrato per il circuito del sensore 1, senza le necessità di una apposita basetta di circuito stampato. Tale corpo 2 è preferibilmente di forma sostanzialmente cilindrica, provvisto di opportuni riferimenti o sedi perimetrali, in particolare per un opportuno posizionamento in un altro corpo, quali scanalature che si estendono tra la suddetta faccia superiore ed una faccia inferiore.

Le figure 6 e 7 si riferiscono ad una terza forma di attuazione dell'invenzione. Anche in tali figure sono impiegati i medesimi numeri di riferimento delle figure precedenti, per indicare elementi tecnicamente equivalenti a quelli già descritti. Il sensore 1 delle figure 6 e 7 differisce dal sensore 1 delle figure precedenti sostanzialmente per la forma del corpo 2 e/o la presenza, sul die 6, di un coperchio cavo 11, definente una

relativa cavità cieca 11a. Il coperchio 11, quale un coperchio in vetro o in silicio, è montato a tenuta ermetica, tramite un idoneo sigillante o un fissaggio mediante anodic bonding, sulla faccia superiore del die 6, di modo che la porzione a membrana 6b risulti affacciata all'apertura della cavità 11a. In questa configurazione, il sensore 1 è un sensore di pressione assoluta, con la camera ermetica definita tra il coperchio 11 e la faccia superiore del die 6 che fornisce un riferimento di pressione.

La superficie o faccia piana 5 sulla quale è montato il die 6, con o senza il coperchio 11, può appartenere ad un corpo principale 2 di materiale isolante.

Come precedentemente accennato, peraltro, il substrato sul quale viene montato il die 6 può essere anche di materiale elettricamente conduttivo. A tale scopo, ad esempio, il corpo 2 rappresentato schematicamente e parzialmente nelle figure 6 e 7 - sulla faccia superiore 5 del quale è montato direttamente il die 6 - può essere di metallo, quale acciaio o alluminio. In una attuazione di questo tipo, sulla faccia superiore 5, preferibilmente in un momento successivo al montaggio del die 6, viene depositato uno strato di materiale elettricamente isolante, ad esempio un ossido metallico elettricamente isolante, ad eccezione della zona di montaggio del die 6, e su tale strato di materiale isolante viene poi depositato il materiale destinato a formare le piste di collegamento 7, con gli eventuali altri componenti del circuito.

A prescindere dal tipo di substrato o di materiale che lo costituisce, anche nella forma di attuazione delle figure 6 e 7, il die 6 viene incollato e sigillato direttamente sulla superficie superiore piana 5 del corpo 2 tramite almeno uno strato di materiale vetroso 10.

La figura 8 illustra le fasi principali del procedimento di incollaggio e sigillatura del die 6 alla faccia piana 5 del relativo substrato 2.

In sostanza, sulla superficie piana 5 del substrato 2 viene depositato uno strato 10a di pasta vetrosa in forma fluida 10a, nella regione che circonda l'apertura del passaggio 4, ad esempio tramite *screen-printing* o serigrafia.

Nella forma di attuazione preferita dell'invenzione, la pasta costituente lo strato 10a comprende particolato di vetro ed additivi dispersi in una idonea matrice organica. Il particolato può essere costituito da prime particelle in vetro aventi dimensioni fino a 20 micron, ben al sopra della rugosità tipica delle superfici da incollare. Gli additivi preferiti

previsti, scelti per abbassare il punto di vetrificazione, possono comprendere ad esempio uno o più tra ossido di tallio, ossido di vanadio, ossido di fosforo. La matrice organica può comprendere ad esempio uno o più solventi aromatici e/o alifatici.

Dopo la deposizione dello strato di pasta 10a, su di esso viene direttamente posizionato il die 6, come visibile nella parte A di figura 8, ad esempio tramite tecnica *die attach* e/o usando idonee dime di posizionamento.

In seguito, il semilavorato viene riscaldato in un forno, per sottoporre ad una fase di essiccamento lo strato 10a. La temperatura di processo è di preferenza compresa tra circa 60°C e circa 190°C, preferibilmente tra circa 80°C e circa 170°C. Nel corso di questa fase, la matrice organica della pasta vetrosa viene dissolta grazie ad un processo di *burn out*, in modo da ottenere uno strato essiccato 10b comprensivo del solo vetro e degli additivi, come evidenziato in forma schematica nella parte B di figura 8.

Il semilavorato viene quindi sottoposto, sempre in forno, ad una fase di trattamento ad una temperatura superiore a quella di essiccamento, per determinare la rifusione e/o la vetrificazione finale del materiale residuo costituente lo strato essiccato 10b, ovvero per determinare un fissaggio a tenuta del die 6 sul substrato 2. La temperatura di processo è di preferenza compresa tra circa 180°C e circa 320°C, preferibilmente tra circa 200°C e circa 300°C, per ottenere lo strato vetroso 10. Con questa seconda fase si determina l'incollaggio e la sigillatura tra il die 6 ed il relativo substrato 2, per il tramite dello strato 10.

In sostanza, quindi, la pasta a base di vetro 10a viene sottoposta ad un profilo termico, preferibilmente in due fasi, nella prima delle quali viene bruciata e rimossa completamente la matrice organica, lasciando solo la struttura vetrosa e gli eventuali additivi, e nella seconda delle quali, a temperatura più elevata, avviene la fusione del vetro. Il processo potrebbe tuttavia comprendere anche una sola fase termica, ad esempio senza la fase intermedia di essiccamento, ovvero realizzando la rimozione della matrice organica direttamente durante la fase di rifusione e vetrificazione.

Con tale processo di vetrificazione la pasta si trasforma in un blocco di materiale amorfo, che permette di stabilire un legame con le superfici da incollare, realizzando un unico pacchetto.

I legami coinvolti nell'adesione tra la superficie del substrato 2 ed il die tramite la

pasta vetrosa sono preferibilmente di natura meccanica e/o chimica e/o fisica.

Da un punto di vista meccanico, l'adesione tra le parti è favorita dalla penetrazione della pasta vetrosa fusa nelle microasperità della superficie del substrato; tale effetto è massimizzato nel caso di un substrato 2 di materiale ceramico, particolarmente sinterizzato, a causa della rugosità superficiale del substrato stesso.

Da un punto di vista chimico, la fase di vetrificazione dà luogo a processi ossidativi e di diffusione, che creano una zona di transizione tra la pasta vetrosa e le superfici da incollare.

Nel caso ideale, durante il processo di cottura/vetrificazione, vengono a formarsi uno o più strati di ossidi sia dal lato pasta che dal lato substrato, che condividono parte degli atomi. Le tipologie dei legami si basano sull'affinità dei materiali: a base di vetro (quindi Si e O) verso il die (Si), ed a base di ossidi inorganici verso il substrato. Ad esempio, nel caso di substrato in allumina (Al_2O_3), gli atomi di ossigeno vengono condivisi con quelli SiO_2 del vetro della pasta vetrosa. Il legame è molto intimo e tale da non permettere più di attribuire l'atomo ad una o all'altra molecola. Questo permette una forza di adesione molto elevata e la sigillatura della superficie.

Similmente, in caso di substrato metallico, i fenomeni ossidativi che intervengono nella fase di cottura determinano una condivisione di atomi di ossigeno tra quelli della pasta e degli ossidi metallici. Da un punto di vista fisico, infine, fra la pasta vetrificata ed il substrato agiscono forze da interazione intermolecolari deboli (forze di Van der Vaal), il cui contributo al legame è comunque inferiore rispetto ai precedenti.

Le figure 9 e 10 illustrano una soluzione di sensore strutturalmente simile a quella delle figure 1-3, in cui tra il die 6 e la faccia 5 del supporto o substrato 2 sono previsti almeno due strati vetrosi 10 e 10'. I due strati 10 e 10' sono formati in successione a partire da rispettivi strati di pasta vetrosa del tipo precedentemente indicato. Questi strati di pasta vetrosa possono anche essere più di due e/o avere spessori tra loro differenti, ad esempio, con uno strato 10' avente spessore maggiore rispetto allo strato 10 sottostante. Al fine di ottenere almeno uno strato vetroso a spessore maggiore, la pasta vetrosa può essere vantaggiosamente essere addizionata o caricata di seconde particelle, ad esempio in forma di sfere, fibre o fiocchi, preferibilmente vetrose, le quali contribuiscono a mantenere una certa consistenza e spessore della pasta durante almeno

una prima fase di deposizione.

Le seconde particelle possono avere dimensioni superiori alle prime particelle costituenti il particolato della pasta vetrosa, ovvero avere dimensioni maggiori di 20 micron, preferibilmente di almeno 50 micron. Preferibilmente la pasta, caricata le prime particelle e le seconde particelle è tale da consentire la deposizione di uno strato con spessore superiore a 0,1 mm, quale uno spessore di pasta compreso tra 0,1 mm e 1 mm.

Secondo una versione preferenziale, le seconde particelle sono almeno atte a definire una struttura che determina lo spessore della pasta in fase di deposizione e/o la distanza tra il chip ed il substrato, con le prime particelle che sono almeno atte a rifondersi per determinare il legame o fissaggio del die al substrato.

Analogamente, le figure 11-12 e 13-14 illustrano soluzioni simili a quelle delle figure 4-5 e 6-7, rispettivamente, ma contraddistinte da almeno due strati 10 e 10' di incollaggio e sigillatura tra il die 6 ed il relativo corpo 2 che realizza il substrato.

La figura 15 illustra le fasi successive tipiche di un procedimento di incollaggio e sigillatura tramite due strati vetrosi 10 e 10'. La sequenza di fasi indicate è fornita a titolo esemplificativo, talune di queste fasi potendo essere in parte differenti e/o ripetute nel caso di deposizione di più strati vetrosi.

In termini generali, il procedimento prevede la formazione del die 6 e del relativo substrato 2, secondo metodologie di per sé note.

Di preferenza, almeno la parte della superficie superiore 5 del substrato 2 in cui si apre il passaggio 4 viene dapprima pulita tramite un solvente, ad esempio acetone o alcol isopropilico (parte A di figura 15).

In seguito, sulla superficie superiore 5 del substrato 2, viene depositato uno strato di una pasta vetrosa 10a del tipo precedentemente indicato, in modo da circoscrivere la regione della superficie superiore 5 del substrato 2 in cui si apre il passaggio 4 (parte B di figura 15).

Viene in seguito causata l'essiccazione in forno dello strato 10a, come precedentemente spiegato, ad una prima temperatura, per ottenere lo strato essiccato 10b (parte C di figura 15). Successivamente, lo strato essiccato 10b viene vetrificato, alla seconda temperatura, per ottenere lo strato vetroso 10 (parte D di figura 15). In seguito, sullo strato vetrificato 10 viene depositato un nuovo strato 10a' di pasta vetrosa

(parte E di figura 15), poi essiccato per ottenere un secondo strato essiccato 10b' (parte F di figura 15).

Nel caso in cui si vogliono prevedere più di due strati vetrosi tra il die ed il relativo substrato, il secondo strato essiccato 10b' viene vetrificato e su di esso viene depositato un nuovo strato di pasta vetrosa, poi essiccato e vetrificato, con operazioni analoghe a quelle già sopra descritte.

In ogni caso, prima della vetrificazione dell'ultimo strato essiccato previsto (lo strato 10b', nel caso di figura 15), su di esso viene posizionato il die 6 (parte G di figura 15) ed il suddetto ultimo strato essiccato viene poi vetrificato (parte H di figura 15).

In un procedimento alternativo, dopo la deposizione del secondo strato 10a', su di esso può essere posizionato il die 6, dopodiché si procede all'essiccazione e poi alla vetrificazione.

Il montaggio del die mediante lo strato 10, o la pluralità di strati 10, 10', viene preferibilmente effettuato prima della deposizione sul supporto 2 del materiale necessario alla formazione delle relative piste conduttive e degli eventuali componenti di circuito. In sostanza, quindi, sulla superficie superiore 5 del substrato come alla parte C di figura 8 o alla parte H di figura 15 vengono formate le piste conduttive 7, tramite deposizione - preferibilmente con tecnica serigrafica - di un materiale o inchiostro conduttivo, quale ad esempio una lega argento-palladio; seguono relative fasi di essiccazione e cottura, che vengono preferibilmente eseguite a temperature di processo inferiori rispetto a quelle impiegate per vetrificazione dello strato 10 o degli strati 10 e 10'.

Sempre sulla superficie superiore del substrato può essere poi depositato anche un materiale destinato a realizzare eventuali altri componenti del circuito, quali delle resistenze. Il materiale in questione può essere ad esempio un inchiostro o una pasta resistiva o piezo-resistiva, preferibilmente depositata tramite serigrafia; ovviamente tale materiale resistivo o piezo-resistivo è depositato in modo che le resistenze ottenute siano elettricamente a contatto con relative piste conduttive 7, preferibilmente leggermente sovrapposte tra loro. Anche in questo caso, dopo il deposito del materiale si procede all'essiccazione ed alla cottura del semilavorato, in particolare con temperature di processo inferiori a quelle impiegate per vetrificazione dello strato 10 o degli strati 10 e 10'.

Sulle estremità delle piste 7 che dovranno essere collegate al die 6 tramite i micro-fili 8 viene depositato, preferibilmente tramite serigrafia, un sottile strato dello stesso materiale costituente i micro-fili 8, o compatibile con il materiale costituente i micro-fili. Anche in questo caso, la deposizione del materiale è seguita da relative fasi di essiccazione e cottura a temperature inferiori a quelle impiegate per vetrificazione dello strato 10 o degli strati 10 e 10'.

In seguito sulla faccia superiore 5 del substrato 2 può essere depositato, ad esempio sempre tramite serigrafia, un materiale polimerico destinato a realizzare uno strato protettivo, con successiva essiccazione e cottura. Questo strato protettivo è depositato in modo da lasciare esposte le zone in cui alle piste conduttive 7 devono essere collegati eventuali componenti aggiuntivi del circuito, quali diodi, condensatori, un circuito integrato diverso dal die 6, eccetera. Ovviamente lo strato protettivo non è depositato nella zona in cui è montato il die 6; presso tale zona sono mantenute esposte anche le estremità delle piste a cui debbono essere collegati i micro-fili 8.

Sulla parte superiore del substrato 2 vengono quindi montati, preferibilmente tramite tecnica SMD, i suddetti eventuali componenti aggiuntivi del circuito. In tale fase, i terminali di collegamento dei componenti in questione vengono collegati elettricamente alle relative piste. Nella fase di collegamento elettrico o *wire bonding* del die 6 i micro-fili 8 vengono collegati tra i relativi contatti superiori del die 6 e le estremità delle piste conduttive 7 di interesse del corpo o substrato 2, secondo tecnica in sé nota.

Infine o precedentemente può essere eseguito il montaggio e la saldatura dei terminali di collegamento 9 alle piste conduttive 7 di interesse del circuito, necessari per il collegamento del sensore 1 ai fini del suo impiego.

Nel caso in cui il sensore 1 debba essere di tipo assoluto, come detto, sulla faccia superiore del die 6 può essere applicato il coperchio 11 delle figure 7 o 14.

Le medesime operazioni sopra indicate vengono effettuate sostanzialmente anche nel caso in cui il substrato 2 di montaggio del die 6 sia elettricamente conduttivo. In una tale applicazione, preferibilmente dopo il montaggio del die 6, la superficie superiore 5 del substrato 2 viene ricoperta almeno in parte con lo strato di materiale elettricamente isolante, sul quale è poi depositato il materiale necessario alla formazione delle piste 7 e degli eventuali componenti di circuito ottenibili tramite deposizione, secondo quanto

precedentemente descritto. Lo strato di isolante, che può essere depositato tramite tecnica serigrafia, viene preferibilmente essiccato e/o cotto in forno a temperature di processo inferiori a quelle necessaria per la vetrificazione dello strato 10 o degli strati 10 e 10'.

In alternativa, comunque, potrebbe essere prima depositato e cotto uno strato di isolante, ed eventualmente depositate le piste 7 e fissati i componenti, avendo cura di lasciare libera la zona di substrato su cui poi fissare il die 6 tramite pasta vetrosa.

Come si è visto, il legame tra il silicio costituente il die 6 con il relativo corpo di supporto 2, sia esso in materiale isolante (ad esempio un materiale ceramico, vetro o un polimero isolante), sia esso in metallo (ad esempio un metallo o un polimero conduttivo), avviene attraverso uno o più strati sigillanti/incollanti vetrosi, mediante un processo di deposizione durante il quale avviene una parziale dissoluzione della superficie dei componenti da saldare.

La soluzione prevista secondo l'invenzione, con il relativo il processo di lavorazione, consente di ottenere:

- un legame intimo tra le parti, tale da conferire un'elevata ermeticità alla zona sigillata (fino ad 10^{-9} atm-cc/sec.);
- un legame tenace tra le parti, tale da conferire un'elevata forza di adesione delle superfici incollate, che di fatto rende la pressione di scoppio (*burst pressure*) dipendente solo dalla membrana 6b del die 6, e non più dal materiale di incollaggio;
- una maggiore affidabilità rispetto alle resine siliconiche e/o epossidiche tradizionalmente impiegate per l'incollaggio di die in silicio; queste resine note sono soggette a maggiore degrado a seguito delle sollecitazione meccaniche nel tempo (colpi di pressione) e/o all'esposizione a temperature elevata (maggiori di 140°C);
- una completa insensibilità al mezzo oggetto di misura, che pertanto può essere un gas o un fluido aggressivo (ad esempio gas ad alta temperatura), contrariamente alle citate resine di incollaggio tradizionali, che subiscono pesante degradazione in presenza di mezzi aggressivi;
- una grande stabilità alla giunzione (stabile fino a circa 200°C), in quanto la temperatura di transizione vetrosa è di circa 215°C ;
- una grande riduzione delle deformazioni differenziali in temperatura che inducono variazioni di lettura del sensore, in quanto il coefficiente di espansione termica

della pasta vetrosa impiegata è di circa 7 ppm/°C, ed è pertanto simile a quello del silicio (2,5-3 ppm/°C), contrariamente alle resine tradizionali epossidiche e siliconiche che si attestano invece su valori ben superiori (compresi tra i 40 e i 200 ppm/°C)

- un preciso e stabile posizionamento del die rispetto al circuito, depositato direttamente sul substrato su cui è incollato il die, in particolare al fine di evitare errati o anomali micro-collegamenti (wire bonding) e/o danneggiamenti dovuti a reciproci micro-movimenti.

Si apprezzerà inoltre che la soluzione proposta consente di ridurre il numero di pezzi necessari alla produzione del sensore, in particolare senza dover necessariamente dotare il die 6 di una specifica base in vetro che deve essere opportunamente formata e poi attaccata a tenuta al die stesso.

L'ottenimento del substrato con superficie superiore sostanzialmente completamente piana è più semplice rispetto alle soluzioni note che prevedono una specifica porzione in rilievo per il posizionamento del die.

L'ottenimento di un circuito direttamente sul substrato, con superficie superiore piana, consente inoltre di migliorare nel complesso l'affidabilità del prodotto e/o agevolarne il processo produttivo.

La deposizione di più strati vetrosi, quando prevista, consente di ottenere una elevata precisione dimensionale, una migliore uniformità di spessore ed una migliore adesione al substrato (ad esempio, con spessori sottili si evitano tensioni elevate durante i processi di cottura) e/o un elevato spessore finale dello strato vetroso. Un maggior spessore dello strato vetroso, che si dimostra atto a svolgere anche funzioni di compensazione per stress e/o per dilatazioni tra substrato e/o circuito, da un lato, e die in silicio dall'altro lato, è preferibilmente ottenuta tramite una pasta vetrosa caricata di particelle, fibre o fiocchi di spessore relativamente elevato.

Grazie alle suddette caratteristiche, il sensore di pressione secondo l'invenzione risulta adatto quindi ad essere impiegato in ambienti con fluidi aggressivi, a temperature elevate, con burst pressure elevata, con maggiore accuratezza in range termici estesi e, in definitiva, con affidabilità superiore.

E' chiaro che numerose varianti sono possibili per la persona esperta del ramo al sensore descritto come esempio, senza per questo uscire dagli ambiti dell'invenzione così

come definita nelle rivendicazioni allegate.

I materiali apposti sulla superficie del substrato (quali la pasta vetrosa, il materiale per le piste conduttive e gli eventuali componenti di circuito depositati, l'eventuale materiale isolante e l'eventuale materiale protettivo) possono essere depositati sul substrato del die con tecniche diverse da quelle sopra indicate, ad esempio tramite litografia, foto-litografia, spruzzatura.

Almeno talune delle caratteristiche indicate nei vari esempi di attuazione potrebbero essere combinate tra loro anche in modo differente, per realizzare dei sensori di pressione differenti da quelli descritti e raffigurati. Tali caratteristiche, descritte a titolo preferenziale in riferimento ad un die in silicio potrebbero essere almeno in parte associate ad un differente die o chip sensore di pressione.

* * * * *

* * * * *

RIVENDICAZIONI

1. Un sensore di pressione avente:

- un elemento sensibile alla pressione, comprendete un die a base di materiale semiconduttore (6), particolarmente silicio, definente una cavità cieca (6a), la cavità (6a) avendo un'estremità aperta in corrispondenza di una prima faccia del die (6), l'estremità opposta della cavità (6a) essendo chiusa da una porzione a membrana (6b) definita dal die (6) in corrispondenza di una sua seconda faccia, che è opposta alla prima faccia;

- un substrato (2), attraversato da un'apertura passante (4) ed avente una superficie piana (5) in corrispondenza della quale si apre un'estremità dell'apertura passante (4), il die (6) essendo montato sulla superficie piana (5) del substrato (2) con l'estremità aperta della relativa cavità (7a) affacciata all'apertura passante (4) del substrato (2);

- un circuito elettrico (7) al quale il die (6) è elettricamente connesso,

caratterizzato dal fatto che la prima faccia del die (6) è incollata e sigillata sulla superficie piana (5) del substrato (2) tramite almeno uno strato di materiale vetroso (10, 10') che si estende tra il die o il materiale semiconduttore (6) ed il materiale costituente il substrato (2).

2. Il sensore secondo la rivendicazione 1, in cui il circuito elettrico comprende una pluralità di piste elettricamente conduttive (7), ad almeno alcune delle quali il die (6) è elettricamente collegato, almeno parte del circuito elettrico essendo formato sulla superficie piana (5) del substrato (2).

3. Il sensore secondo la rivendicazione 1 o la rivendicazione 2, in cui il substrato (2) è di materiale elettricamente isolante.

4. Il sensore secondo la rivendicazione 3, in cui il materiale elettricamente isolante comprende uno tra un materiale ceramico, vetro, un materiale a base di uno o più ossidi, quale un ossido di alluminio (AL_2O_3), un polimero.

5. Il sensore secondo la rivendicazione 1 o la rivendicazione 2, in cui il substrato (2) comprende un corpo di materiale elettricamente conduttivo, quale un metallo o un polimero conduttivo, in particolare avente una faccia piana rivestita parzialmente da un film di materiale isolante sul quale si trovano le piste elettricamente conduttive (7).

6. Il sensore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il die (6) è collegato a rispettive piste conduttive (7) del circuito elettrico tramite wire bonding, ovvero tramite sottili fili di collegamento (8) di materiale elettricamente conduttivo, particolarmente micro-fili flessibili aventi uno spessore o diametro compreso tra circa 5 e 100 micron, preferibilmente da circa 25 a circa 35 micron, ed essendo preferibilmente formati con un materiale o una lega comprendente o a base di materiale selezionato tra oro, platino, silicio, palladio, berillio, argento, alluminio e rame.

7. Il sensore secondo la rivendicazione 3 o la rivendicazione 5, comprendente un corpo di supporto avente funzioni strutturali (2), il substrato essendo realizzato da detto corpo o da una parte di detto corpo avente anche funzioni strutturali.

8. Il sensore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la prima faccia del die (6) è incollata alla superficie piana (5) del substrato (2) tramite almeno due strati di materiale vetroso (10, 10').

9. Il sensore secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente almeno uno tra:

- uno strato di materiale isolante, particolarmente uno strato di ossido metallico non conduttivo elettricamente, depositato sulla superficie piana (5) del substrato (2);

- piste elettricamente conduttive (7), preferibilmente depositate sulla superficie piana (5) del substrato (2), formate con un materiale o una lega comprendente un materiale selezionato tra oro, platino, silicio, palladio, berillio, argento, alluminio e rame;

- uno o più componenti di circuito formati con un materiale resistivo o piezoresistivo depositato sulla superficie piana (5) del substrato (2) o su di un film isolante che ricopre parzialmente la superficie piana (5) del substrato (2);

- uno strato protettivo di almeno parte del circuito elettrico, particolarmente di materiale polimerico;

- porzioni di piste conduttive (7) formate con lo stesso materiale, o un materiale compatibile, di micro-fili (8) che collegano il die (6) al circuito elettrico.

10. Un procedimento per produrre un sensore di pressione, particolarmente secondo una o più delle rivendicazioni da 1 a 9, comprendente i passi di:

- a) provvedere un elemento sensibile alla pressione (6),

- b) provvedere un substrato (2),

c) montare l'elemento sensibile (6) sul substrato (2),

in cui il passo a) comprende il provvedere un elemento sensibile di tipo die a base di materiale semiconduttore (6), particolarmente silicio, definente una cavità cieca (6a), avente un'estremità aperta in corrispondenza di una prima faccia del die (6) ed un'estremità opposta chiusa da una porzione a membrana (6b) definita dal die (6) in corrispondenza di una sua seconda faccia opposta alla prima faccia;

in cui il passo b) comprendere il provvedere il substrato (2) con un'apertura passante (4) ed una superficie sostanzialmente piana (5), in corrispondenza della quale si apre un'estremità dell'apertura passante (4);

in cui il passo c) comprendere posizionare o assicurare il die (6) al substrato (2) in modo tale per cui l'estremità aperta della cavità (6a) del die (6) è affacciata all'apertura passante (4) del substrato (2);

caratterizzato dal fatto che il passo c) comprende incollare la prima faccia del die (6) alla superficie piana (5) del corpo di supporto (2) tramite almeno uno strato vetroso (10, 10').

11. Il procedimento secondo la rivendicazione 10, in cui passo c) comprende le operazioni di:

c1) depositare almeno uno strato di una pasta vetrosa (10a; 10a') in forma fluida sulla superficie piana (5) del substrato (2) attorno all'apertura passante (4);

c2) causare l'essiccazione dell'almeno uno strato di pasta vetrosa (10a; 10a') ad una prima temperatura di processo, particolarmente compresa tra circa 60°C e circa 190°C, preferibilmente tra circa 80°C e circa 170°C, per ottenere uno strato essiccato (10b; 10b');

c3) causare la vetrificazione dello strato essiccato (10b; 10b') ad una seconda temperatura di processo, più alta della prima temperatura di processo, particolarmente compresa tra circa 180°C e circa 320°C, preferibilmente tra circa 200°C e circa 300°C, per ottenere un detto strato vetroso (10, 10').

12. Il procedimento secondo la rivendicazione 10 o la rivendicazione 11, in cui la prima faccia del die (6) è incollata alla superficie piana (5) del substrato (2) tramite una pluralità di strati vetrosi sovrapposti (10, 10'), depositati in successione, tramite le operazioni di:

c1.1) depositare uno strato di pasta vetrosa (10a) per ottenere un primo strato (10b),

c1.2) vetrificare il primo strato (10b) per ottenere un primo strato vetroso (10),

c1.3) depositare almeno un ulteriore strato di pasta vetrosa (10a') sul primo strato vetrificato (10) per ottenere almeno un secondo strato (10b');

c1.4) causare la vetrificazione dell' almeno un secondo strato (10b'), per ottenere un secondo strato vetroso (10') sul primo strato vetroso (10),

eventualmente depositare e vetrificare uno o più ulteriori strati di pasta vetrosa su di un sottostante strato vetroso,

ed in cui, prima della vetrificazione dell'ultimo strato di pasta vetrosa depositato, su tale ultimo strato viene posizionato il die (7).

13. Il procedimento secondo una delle rivendicazioni da 10 a 12, in cui la pasta vetrosa in forma fluida (10a, 10a') comprende particolato di vetro ed additivi o particelle dispersi in una matrice organica, la matrice organica essendo eliminata a seguito di un'operazione di essiccamento del relativo strato di pasta vetrosa (10a, 10a').

14. Il procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 10 a 13, comprendente inoltre formare sulla superficie piana (5) del substrato (2) un circuito elettrico, particolarmente almeno in parte tramite una deposizione di materiale.

15. Il procedimento secondo una o più delle rivendicazioni da 10 a 14, in cui in cui la pasta o materiale vetroso comprende almeno uno tra:

- particolato di vetro, particolarmente in forma di sfere, fibre o fiocchi;
- uno o più additivi, quali ossido di tallio, ossido di vanadio, ossido di fosforo;
- una matrice organica, comprendere in particolare uno o più solventi aromatici e/o alifatici;
- particelle di primo tipo e particelle di secondo tipo, in particolare particelle vetrose di una prima dimensione e particelle vetrose di una seconda dimensione.

* * * * *

CLAIMS

1. A pressure sensor having:

- a pressure-sensitive element, comprising a semiconductor-based die (6), particular silicon, defining a blind cavity (6a), the cavity (6a) having an end open at a first face of the die (6), the opposite end of the cavity (6a) being closed by a diaphragm portion (6b) defined by the die (6) at a second face thereof, which is opposed to the first face;

- a substrate (2) with a through-opening (4) and having a flat surface (5) at which an end of the through-opening opens (4), the die (6) being mounted on the flat surface (5) of the substrate (2) with the open end of the corresponding cavity (7a) facing the through-opening (4) of the substrate (2);

- an electric circuit (7) to which the die (6) is electrically connected,

characterized in that the first face of the die (6) is bonded and sealed onto the flat surface (5) of the substrate (2) by means of at least one layer of a glassy material (10, 10') extending between the die or the semiconductor material (6) and the material forming the substrate (2).

2. The sensor according to claim 1, wherein the electric circuit comprises a plurality of electrically conductive tracks (7), to at least some of which the die (6) is electrically connected, at least part of the electric circuit being formed one the flat surface (5) of the substrate (2).

3. The sensor according to claim 1 or claim 2, wherein the substrate (2) is made of electrically insulating material.

4. The sensor according to claim 3, wherein the electrically insulating material comprises one of a ceramic material, glass, a material based on one or more oxides, such an aluminum oxide (AL_2O_3), a polymer.

5. The sensor according to claim 1 or claim 2, wherein the substrate (2) comprises a body made of an electrically conductive material, such as a metal or a conductive polymer, in particular having a flat face coated with a film made of insulating material onto which are the electrically conductive tracks (7).

6. The sensor according to any one of the preceding claims, wherein the die (6) is

connected to respective conductive tracks (7) of the electric circuit by wire bonding, i.e. through thin connecting wires (8) made of electrically conductive material, particularly flexible micro-wires having a thickness or diameter comprised between about 5 and 100 microns, preferably from about 25 to 35 microns, and being preferably formed of a material of alloy comprising, or based on, a material selected from gold, platinum, silicon, palladium, beryllium, silver, aluminum and copper.

7. The sensor according to claim 3 or claim 5, comprising a support body having structural functions (2), the substrate being formed of said body of a part thereof also having structural functions.

8. The sensor according to any one of the preceding claims, wherein the first face of the die (6) is bonded to the flat surface (5) of the substrate (2) by means of at least two layers of glassy material (10, 10').

9. The sensor according to any one of the preceding claims, comprising at least one of:

- one layer of insulating material, particularly one layer made of a metal oxide which is not electrically conductive, deposited onto the flat surface (5) of the substrate (2);

- electrically conductive tracks (7), preferably deposited onto the flat surface (5) of the substrate (2), formed of a material or an alloy comprising a material selected from gold, platinum, silicon, palladium, beryllium, silver and copper;

- one or more circuit components formed of a resistive or piezo-resistive material deposited onto the flat surface (5) of the substrate (2) or onto an insulating film that partially coats the flat surface (5) of the substrate (2);

- a layer for protecting at least part of the electric circuit, particularly made of a polymeric material;

- portion of conductive tracks (7) formed of the same material of micro-wires (8) connecting the die (6) to the electric circuit, or a material compatible thereto.

10. A process for producing a pressure sensor, particularly according to one or more of claims from 1 to 9, comprising the steps of:

- a) providing a pressure-sensitive element (6),

- b) providing a substrate (2),

c) assembling the sensitive element (6) on the substrate (2),

wherein step a) comprises providing a sensitive element of the semiconductor-based die type (6), particularly silicon, defining a blind cavity (6a), having an end open at a first face of the die (6) and an opposed end closed by a diaphragm portion (6b) defined by the die (6) at a second face thereof opposite to the first face;

wherein step b) comprises providing the substrate (2) with a through-opening (4) and a substantially flat surface (5), at which an end of the through-opening (4) opens;

wherein step c) comprising positioning or securing the die (6) onto the substrate (2) such that the open end of the cavity (6a) del die (6) faces the though-opening (4) of the substrate (2),

characterized in that step c) comprises bonding the first face of the die (6) to the flat surface (5) of the support body (2) by means of at least one glassy layer (10, 10').

11. The process according to claim 10, wherein step c) comprises the operations of:

c1) depositing at least one layer of a glassy paste (10a; 10a') in a fluid form onto the flat surface (5) of the substrate (2) around the tough-opening (4);

c2) causing drying of the at least one layer of glassy paste (10a; 10a') at a first process temperature, particularly comprised between about 60°C and about 190°C, preferably between about 80°C and about 170°C, to obtain a dried layer (10b; 10b');

c3) causing vitrification of the dried layer (10b; 10b') at a second process temperature, higher than the first process temperature, particularly comprised between about 180°C and about 320°C, preferably between about 200°C and about 300°C, to obtain one said glassy layer (10; 10').

12. The process according to claim 10 or claim 11, wherein the first face of the die (6) is bonded to the flat surface (5) of the substrate (2) by a plurality of superimposed glassy layers (10, 10'), deposited in sequence, by the operations of:

c1.1) depositing one layer of glassy paste (10a) to obtain one first layer (10b),

c1.2) vitrifying the first layer (10b) to obtain one first glassy layer (10),

c1.3) depositing at least one further layer of glassy paste (10a') onto the first vitrified layer (10), to obtain at least one second layer (10b');

c1.4) causing vitrification of the at least one second layer (10b'), to obtain a

second glassy layer (10') on the first glassy layer (10),

possibly depositing and vitrifying one or more further layers of glassy paste on an underlying glassy layer,

and wherein, before vitrification of the last layer of glassy paste, onto said last layer the die is positioned (7).

13. The process according to any one of claims 10 to 12, wherein the glassy paste in fluid form (10a, 10a') comprises particulate glass and additives or particles dispersed in an organic matrix, the organic matrix being eliminated following upon a an operation of drying the corresponding layer of glassy paste (10a, 10a').

14. The process according to any one of claims 10 to 13, also comprising forming on the flat surface (5) of the substrate (2) an electric circuit, particularly at least partly by a deposition of material.

15. The process according to any one of claims 10 to 14, wherein the glassy paste or material comprises at least one of:

- particulate glass, in particular in form of sphere, fiber or flake particles;
- one or more additives, such as thallium oxide, vanadium oxide, phosphorous oxide;
- an organic matrix, comprising in particular one or more aromatic or aliphatic solvents;
- first-type particles and second-type particles, in particular glassy particles of a first dimension and glassy particles of a second dimension.

Fig. 1

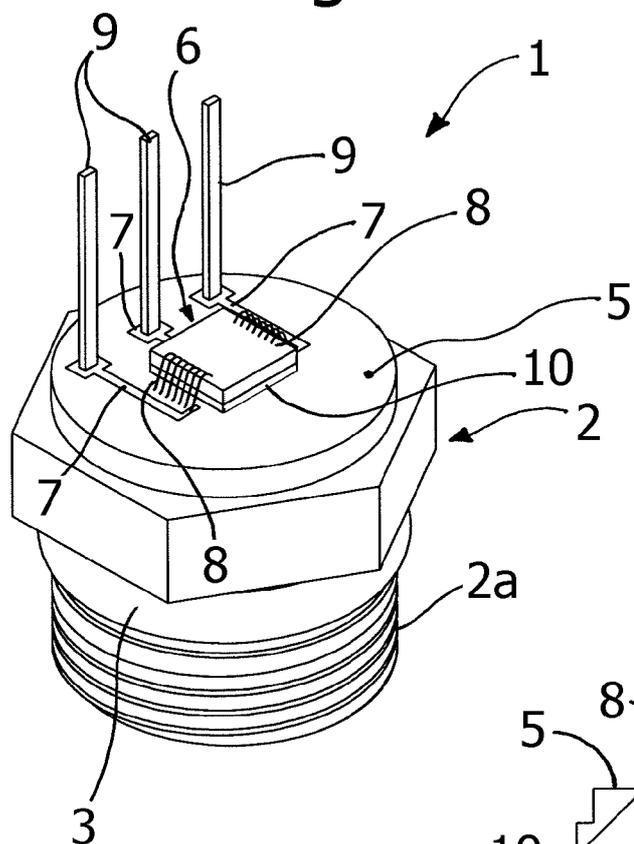


Fig. 2

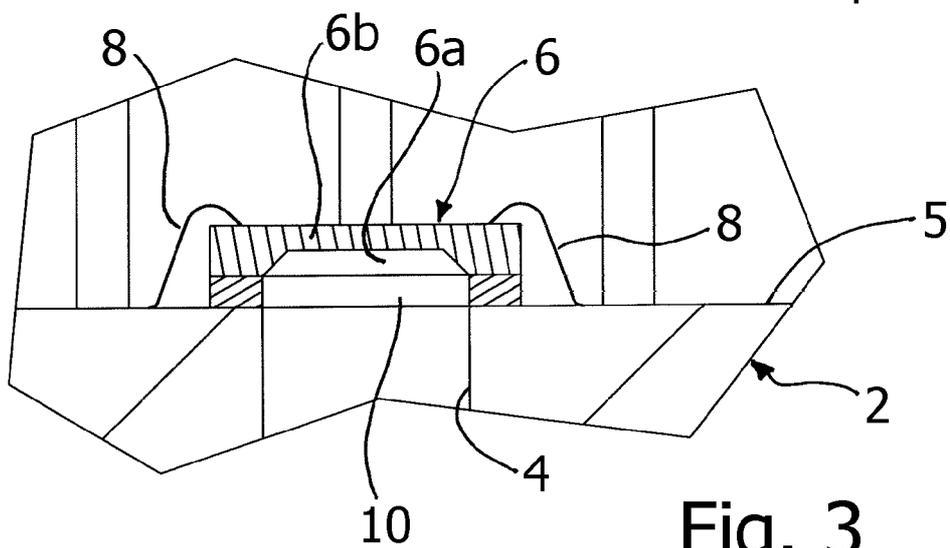
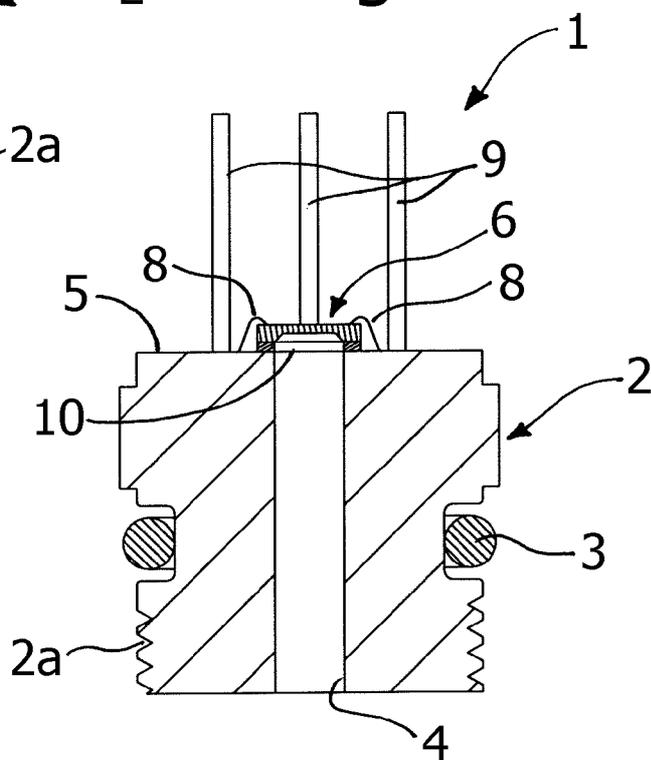


Fig. 3

Fig. 4

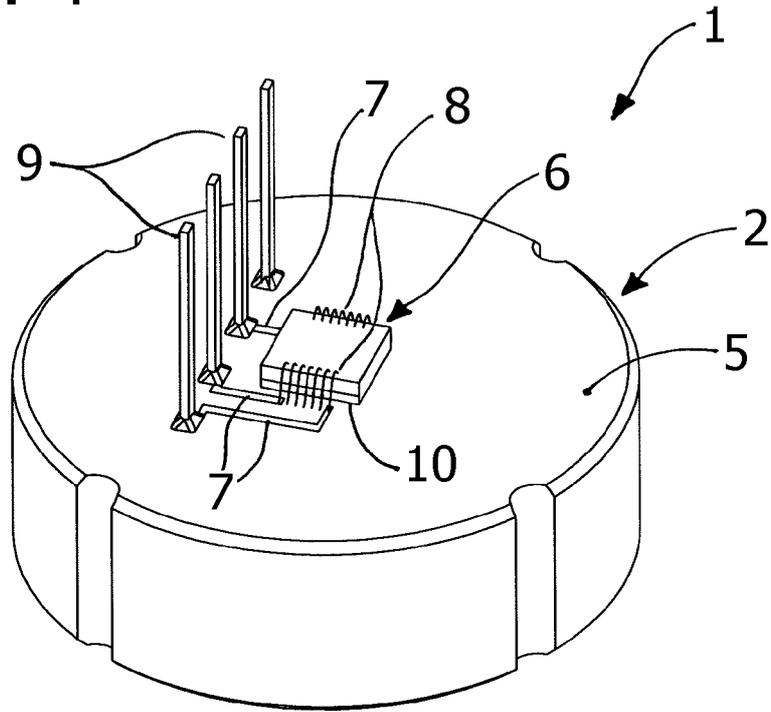


Fig. 5

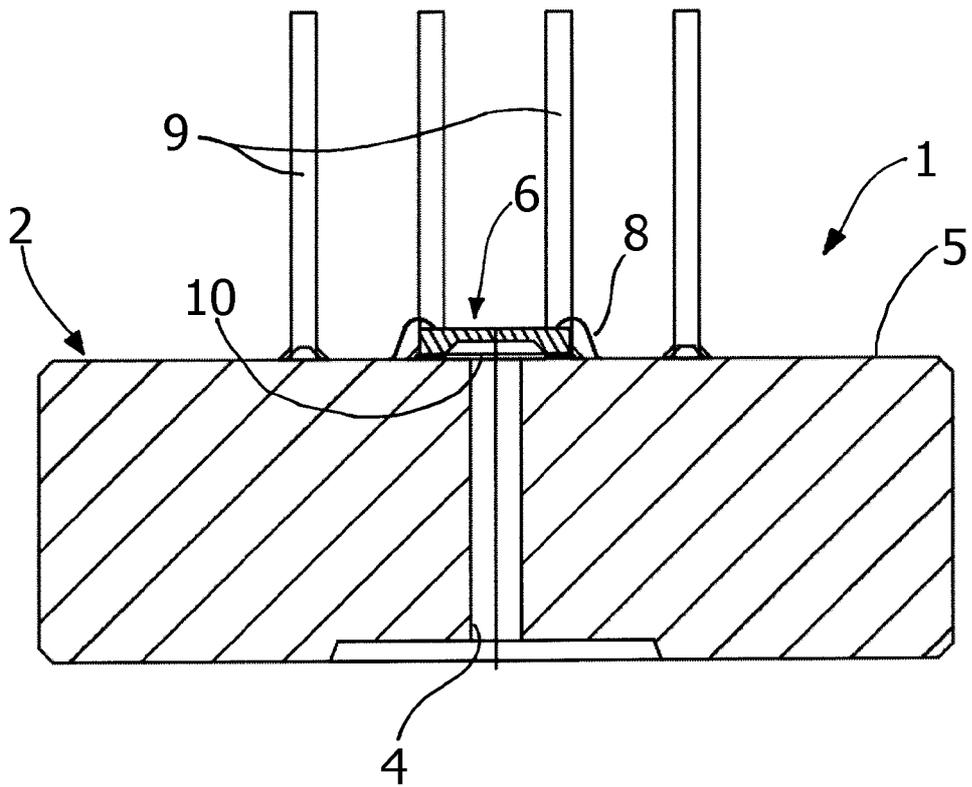


Fig. 6

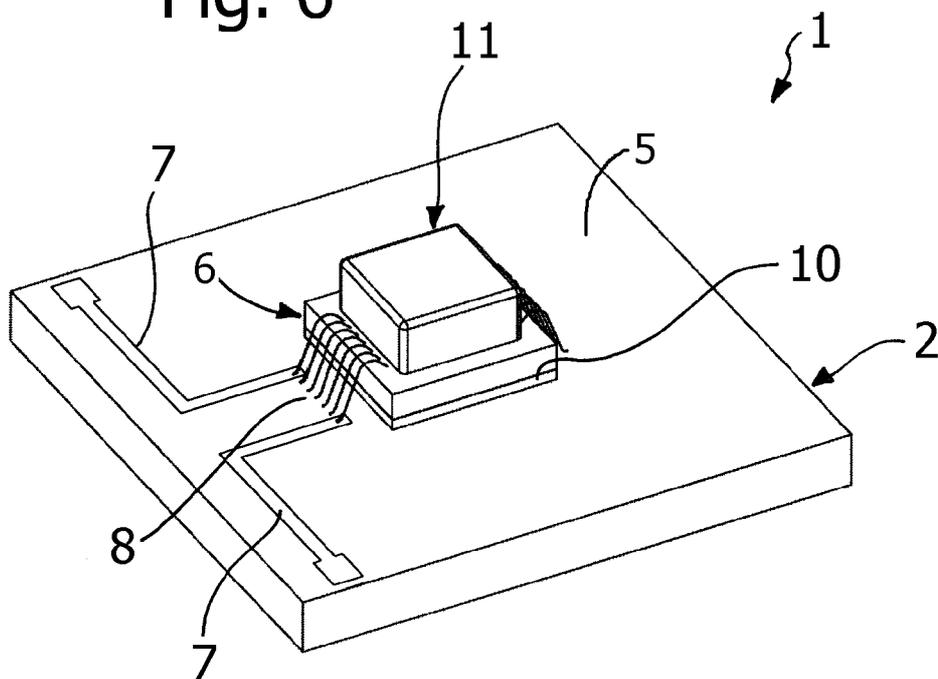


Fig. 7

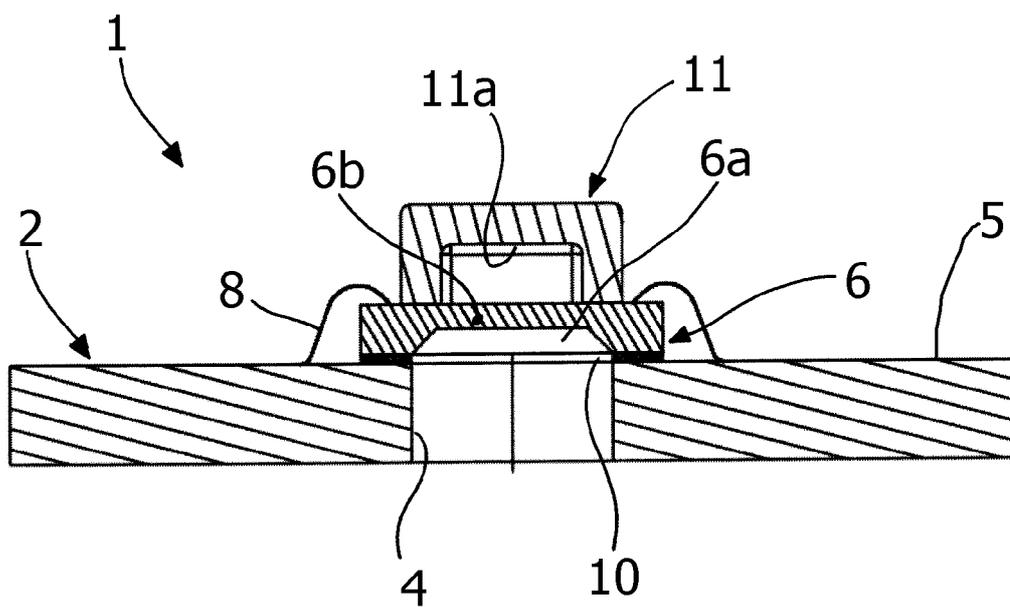
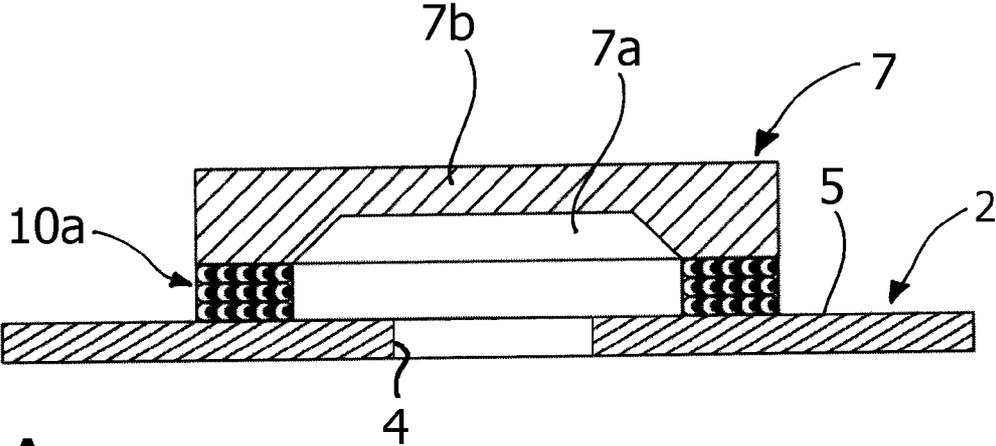
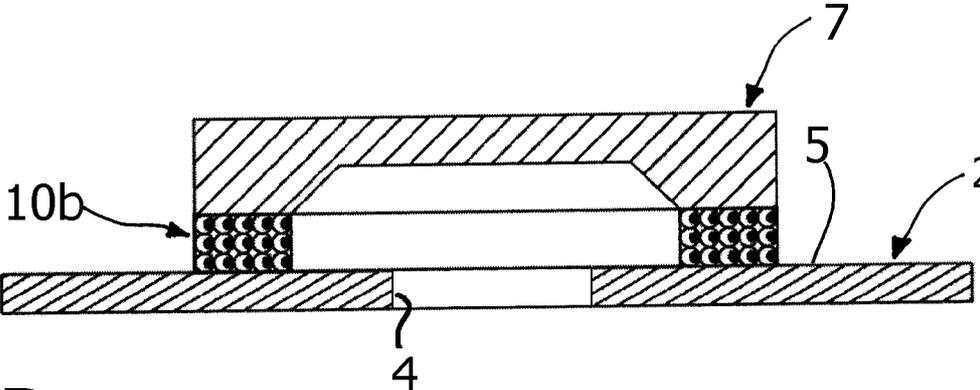


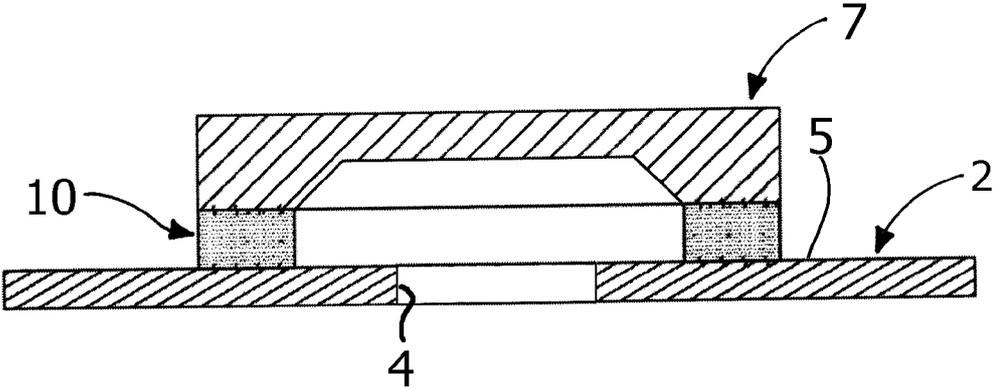
Fig. 8



A



B



C

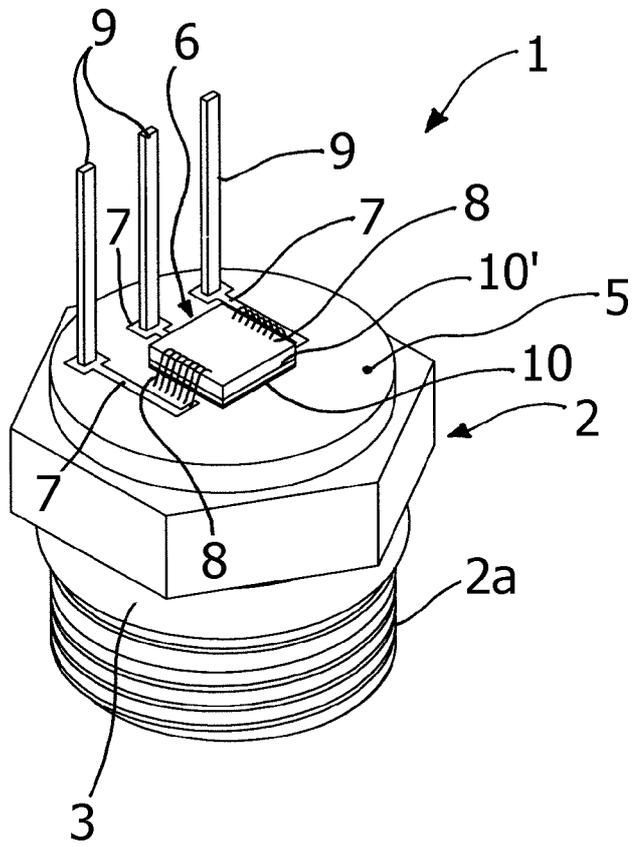


Fig. 9

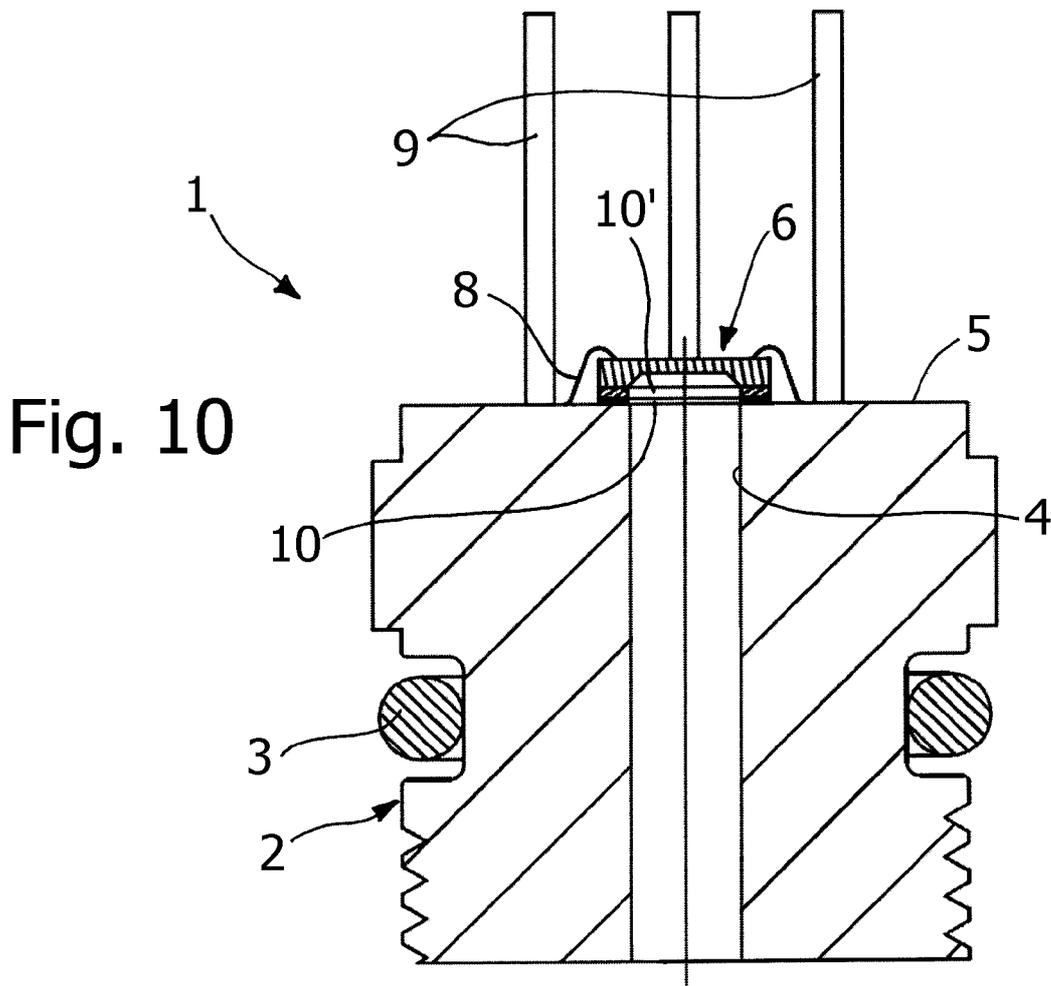


Fig. 10

Fig. 11

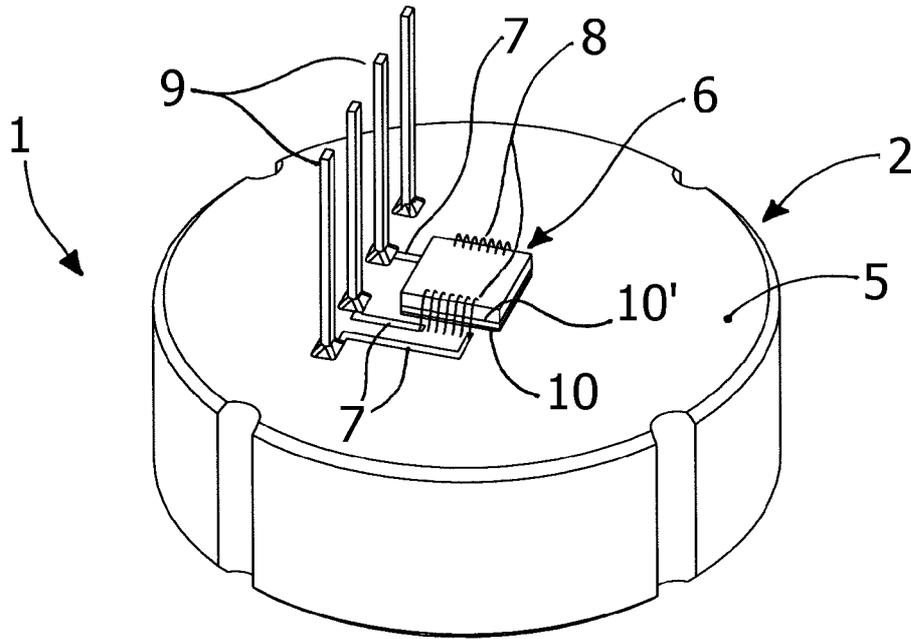


Fig. 12

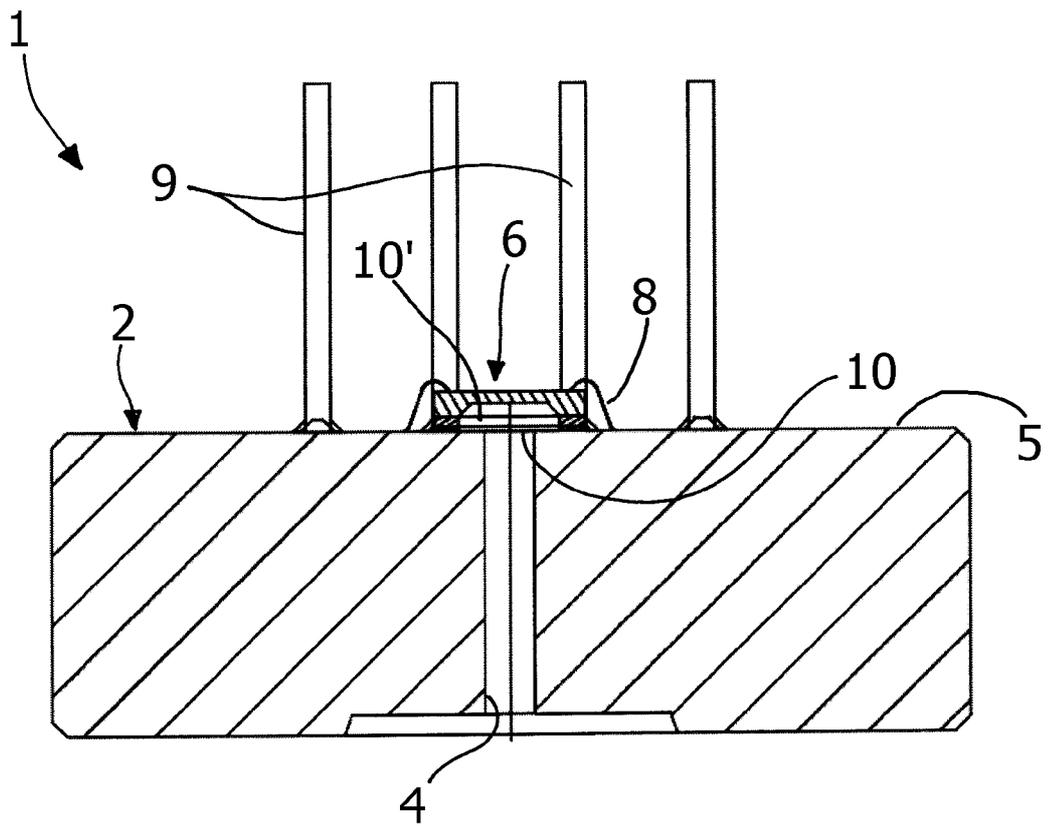


Fig. 13

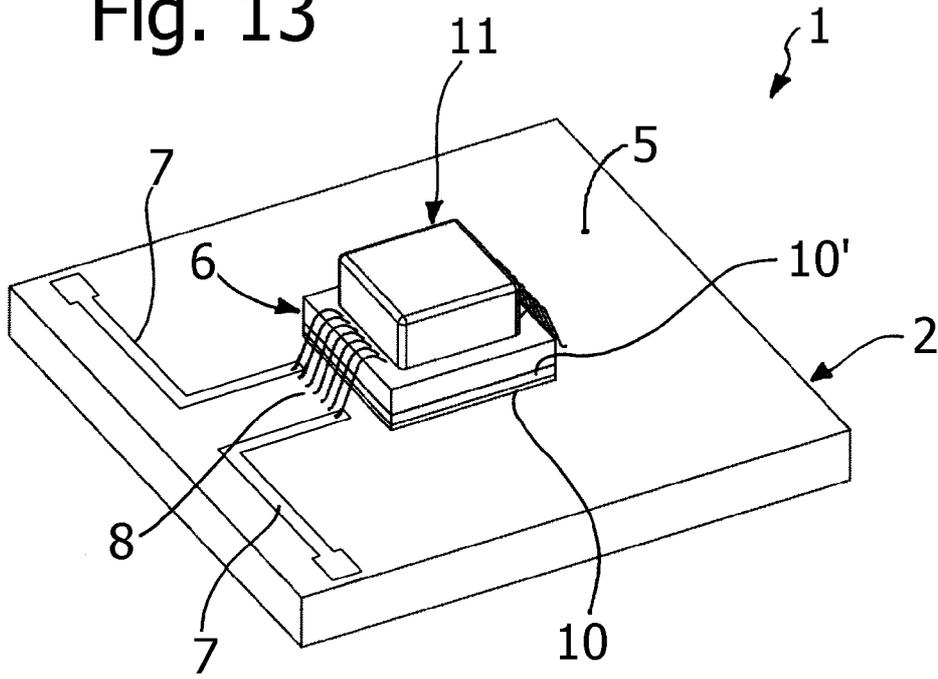


Fig. 14

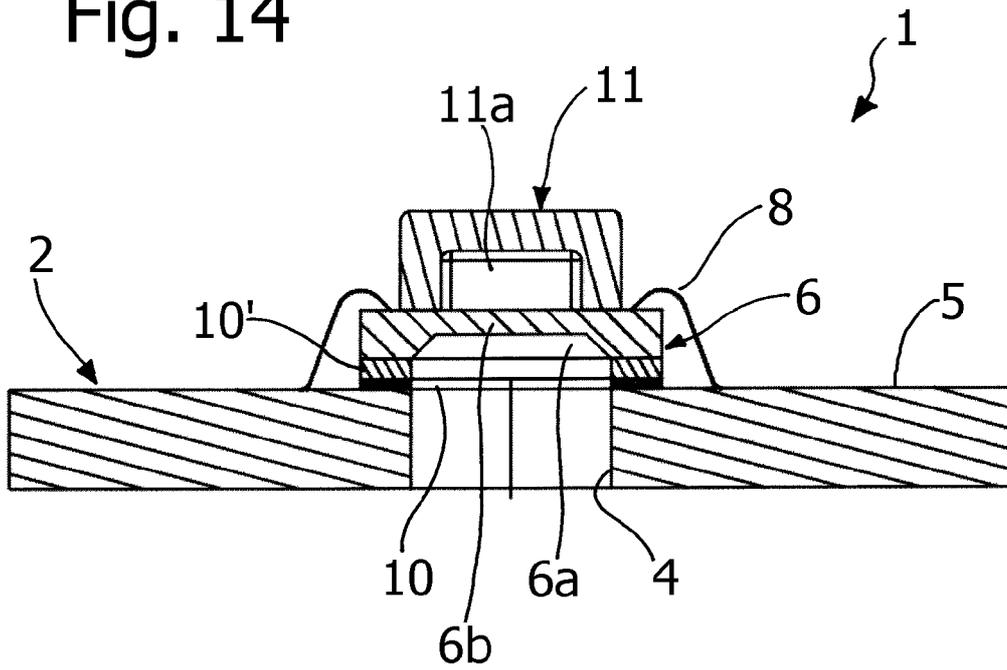


Fig. 15

