

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902032367A1

Publication Date

20130915

Applicant

STMICROELECTRONICS S.R.L.

Title

ELEMENTO DI MEMORIA ELETTROMECCANICO INTEGRATO E MEMORIA
ELETTRONICA COMPRENDENTE IL MEDESIMO

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"ELEMENTO DI MEMORIA ELETTROMECCANICO INTEGRATO E MEMORIA
ELETTRONICA COMPRENDENTE IL MEDESIMO"

di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA C. OLIVETTI, 2

AGRATE BRIANZA (MB)

Inventori: PAGANI Alberto, MORELLI Marco, RICOTTI Giulio

* * *

La presente invenzione è relativa ad un elemento di memoria elettromeccanico integrato e ad una memoria elettronica comprendente il medesimo.

Come è noto, sono oggi disponibili memorie di tipo elettromeccanico, ciascuna delle quali è formata da una matrice di elementi di memoria di tipo elettromeccanico, i quali sono atti a memorizzare informazione.

In generale, ciascun elemento di memoria elettromeccanico può operare in due differenti stati, ciascuno dei quali può dunque essere associato ad un corrispondente bit di informazione. In altre parole, ciascun elemento di memoria elettromeccanico può variare una propria caratteristica meccanica, in maniera tale da consentire una corrispondente codifica di informazione.

Più in particolare, sono noti elementi di memoria

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

elettromeccanici atti a modificare la forma o la disposizione di rispettivi elementi meccanici, in modo elettronicamente controllabile.

Ad esempio, il brevetto US4979149 descrive un elemento di memoria elettromeccanico comprendente un componente meccanico che viene deformato plasticamente alternativamente in una prima posizione, in cui esibisce una prima curvatura, o una seconda posizione, in cui esibisce una seconda curvatura, tali prima e seconda posizione essendo associabili a corrispondenti bit di informazione.

La domanda di brevetto US20090129139 descrive invece un elemento di memoria elettromeccanico includente un elemento a sbalzo ("cantilever"), la cui disposizione nello spazio è controllata mediante impiego di forze elettrostatiche. In particolare, grazie all'impiego di tali forze elettrostatiche, l'elemento a sbalzo viene disposto alternativamente in una prima posizione, in cui è a contatto con un substrato, oppure in una seconda posizione, in cui è disgiunto dal substrato. Una volta che l'elemento a sbalzo viene portato a contatto con il substrato, il contatto tra l'elemento a sbalzo ed il substrato viene mantenuto da forze di adesione che si originano nei punti di contatto tra l'elemento a sbalzo ed il substrato, tali forze di adesione essendo superiori alla forza elastica

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

associata alla deformazione dell'elemento a sbalzo. E' dunque possibile associare un corrispondente bit alla posizione assunta dall'elemento a sbalzo, tale informazione essendo mantenuta nel tempo appunto grazie all'azione delle forze di adesione. Più in particolare, l'informazione viene mantenuta fino a quando l'elemento a sbalzo non viene allontanato dal substrato, mediante applicazione di un'opportuna tensione ad un elettrodo di controllo.

In pratica, riferendosi alle superfici di adesione per indicare le due superfici, rispettivamente dell'elemento a sbalzo e del substrato, tra le quali si manifestano le forze di adesione, la programmazione ed il mantenimento dell'informazione dipendono dalle condizioni in cui si trovano le superfici di adesione. Nel caso di una memoria elettromeccanica formata da una pluralità di elementi di memoria elettromeccanici, le condizioni possono variare da un elemento di memoria elettromeccanico all'altro, con conseguente limitazione dell'affidabilità della memoria stessa. Infatti, le condizioni delle superfici di adesione non sono facilmente riproducibili (con esattezza) da un elemento di memoria elettromeccanico all'altro.

Scopo della presente invenzione è fornire un elemento di memoria elettromeccanico che risolva almeno in parte gli inconvenienti dell'arte nota.

Secondo la presente invenzione vengono realizzati un

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

elemento di memoria elettromeccanico ed una memoria elettronica come definiti, rispettivamente, nelle rivendicazioni 1 e 14.

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

- la figura 1 mostra in modo schematico una sezione di una forma di realizzazione del presente elemento di memoria elettromeccanico, in un primo stato operativo;

- la figura 2 mostra schematicamente una vista dall'alto, con porzioni rimosse, della forma di realizzazione mostrata in figura 1;

- le figure 3 e 4 mostrano in modo schematico sezioni trasversali della forma di realizzazione mostrata nelle figure 1 e 2, in un secondo stato operativo;

- la figura 5 mostra in modo schematico una sezione trasversale di una forma di realizzazione del presente elemento di memoria elettromeccanico, nel primo stato operativo;

- le figure 6-8 mostrano in modo schematico sezioni trasversali di forme di realizzazione del presente elemento di memoria elettromeccanico, durante rispettive fasi di rispettivi processi di fabbricazione;

- a figure 9a-9c, 10-12 mostrano in modo schematico

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

sezioni trasversali di ulteriori forme di realizzazione del presente elemento di memoria elettromeccanico;

- la figura 13 mostra schematicamente una vista dall'alto di una ulteriore forma di realizzazione del presente elemento di memoria elettromeccanico;

- la figura 14 mostra schematicamente una sezione trasversale di una ulteriore forma di realizzazione del presente elemento di memoria elettromeccanico;

- la figura 15 mostra schematicamente una vista dall'alto della forma di realizzazione del presente elemento di memoria elettromeccanico mostrata in figura 14;

- le figure 16-19 mostrano in modo schematico sezioni trasversali di ulteriori forme di realizzazione del presente elemento di memoria elettromeccanico;

- le figure 20 e 21 mostrano schematicamente sezioni di circuiti integrati contenenti il presente elemento di memoria elettromeccanico;

- le figure 22 e 23 mostrano schematicamente sezioni trasversali di ulteriori forme di realizzazione del presente elemento di memoria elettromeccanico;

- la figura 24 mostra uno schema a blocchi di una memoria elettromeccanica;

- la figura 25 mostra uno schema elettrico equivalente di una porzione della memoria elettromeccanica mostrata in figura 24; e

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

- le figure 26-30 mostrano andamenti nel tempo di segnali elettrici all'interno della memoria elettromeccanica.

Le figure 1 e 2 mostrano un elemento di memoria elettromeccanico 1, il quale comprende un corpo di supporto fisso 2, in cui sono formati un primo elemento conduttivo 4 ed un primo elemento fisso di contatto 6. In modo di per sé noto, il corpo di supporto fisso 2 può comprendere un corpo di materiale semiconduttore (non mostrato) e/o una o più regioni di materiale dielettrico o conduttore (non mostrate); inoltre, all'interno del corpo di supporto fisso 2 sono formati un primo ed un secondo circuito elettronico 8, 10, i quali sono elettricamente collegati, rispettivamente, al primo elemento conduttivo 4 ed al primo elemento fisso di contatto 6. In aggiunta, il corpo di supporto fisso 2 definisce un recesso 12, delimitato da una superficie inferiore S e da una o più pareti laterali, il numero di pareti laterali dipendendo dalla forma del recesso 12; ad esempio, nella presente descrizione si assume che il recesso 12 abbia forma, in vista dall'alto, di un rettangolo, e quindi abbia quattro pareti laterali, sebbene esso possa assumere forme di tipo differente.

L'elemento di memoria elettromeccanico 1 comprende inoltre un primo corpo mobile 14, il quale include un primo elemento a sbalzo 16 ed un primo elemento mobile di

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

contatto 18. Il primo elemento a sbalzo 16 è vincolato ad una prima estremità ad una prima parete laterale P1 e si estende all'interno del recesso 12, sovrastando, a distanza, il primo elemento conduttivo 4 ed il primo elemento fisso di contatto 6, i quali sono lateralmente distanziati tra loro; il primo elemento a sbalzo 16 è inoltre collegato elettricamente sia al primo che al secondo circuito elettronico 8, 10. Il primo elemento mobile di contatto 18 è vincolato ad una seconda estremità del primo elemento a sbalzo 16 e sovrasta, a distanza, il primo elemento fisso di contatto 6.

Il primo elemento fisso di contatto 6, il primo elemento a sbalzo 16 ed il primo elemento mobile di contatto 18 sono formati di materiali metallici quali ad esempio: rame, alluminio, tungsteno, cobalto, palladio, rodio, oro, nickel o relative leghe. Inoltre, ciascuno tra il primo elemento fisso di contatto 6, il primo elemento a sbalzo 16 ed il primo elemento mobile di contatto 18 può essere formato da una pluralità di strati di materiale non necessariamente conduttivi, purché almeno lo strato esterno sia di materiale conduttore.

Ciascuno tra il primo elemento fisso di contatto 6, il primo elemento a sbalzo 16 ed il primo elemento mobile di contatto 18 può dunque essere formato, ad esempio, da un insieme di strati, tale insieme includendo uno strato

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

esterno che riveste esternamente il sottoinsieme di strati formato da tutti gli altri strati. Sono inoltre possibili ulteriori forme di realizzazione, in cui il primo elemento a sbalzo 16 è formato di materiale semiconduttore, eventualmente drogato, ed è rivestito da uno strato conduttore.

Nel seguito ci si riferirà, per semplicità di descrizione, al caso in cui il primo elemento fisso di contatto 6, il primo elemento a sbalzo 16 ed il primo elemento mobile di contatto 18 sono formati, ciascuno, di un singolo materiale; in particolare, si assume che il primo elemento a sbalzo 16, il primo elemento fisso di contatto 6 ed il primo elemento mobile di contatto 18 siano formati, rispettivamente, di un primo, un secondo ed un terzo materiale. La descrizione che segue può comunque essere generalizzata, ad esempio, al summenzionato caso in cui uno o più tra il primo elemento a sbalzo 16, il primo elemento fisso di contatto 6 ed il primo elemento mobile di contatto 18 siano formati da una rispettiva pluralità di strati, gli strati più esterni di ciascuna pluralità essendo appunto formati, rispettivamente, dal primo, dal secondo e dal terzo materiale.

Ciò premesso, il primo elemento a sbalzo 16 è una trave lineare, la quale si estende, in un primo stato operativo, parallelamente alla superficie inferiore S del

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

recesso 12. Il primo stato operativo è assolutamente stabile ed è caratterizzato dal fatto che non è possibile far fluire corrente tra il primo elemento mobile di contatto 18 ed il primo elemento fisso di contatto 6; inoltre, il primo stato operativo può essere associato, a titolo puramente esemplificativo, ad uno stato logico '0'. In aggiunta a ciò, il primo elemento a sbalzo 16 definisce una sorta di prima piastra di un primo condensatore C1, la cui seconda piastra è definita dal primo elemento conduttivo 4.

Operativamente, applicando una tensione tra il primo elemento a sbalzo 16 ed il primo elemento conduttivo 4, cioè polarizzando il summenzionato primo condensatore C1, il primo circuito elettronico 8 genera una forza elettrostatica tale da incurvare il primo elemento a sbalzo 16 verso la superficie inferiore S del recesso 12. In particolare, la forza elettrostatica è tale per cui il primo elemento a sbalzo 16 si incurva fino ad assumere una posizione tale per cui il primo elemento mobile di contatto 18, il quale era precedentemente disgiunto dal primo elemento fisso di contatto 6, è in contatto diretto con il primo elemento fisso di contatto 6, come mostrato in figura 3. Pertanto, il primo elemento mobile di contatto 18 ed il primo elemento fisso di contatto 6 definiscono una superficie di contatto SC. Al fine di limitare l'area della

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

superficie di contatto SC, per i motivi descritti in seguito, il primo elemento mobile di contatto 18 ha una forma appuntita, quale ad esempio una forma triangolare, trapezoidale o a cuspid. Il primo elemento mobile di contatto 18 può dunque essere realizzato, ad esempio, mediante impiego delle cosiddette tecnologie dei sistemi nano-elettromeccanici ("Nano Electro-Mechanical Systems", NEMS), che consentono di realizzare punte con diametro di alcuni nanometri, ad esempio di 10nm o inferiore. In alternativa, si possono usare anche tecnologie dei sistemi micro-elettromeccanici ("Micro Electro-Mechanical Systems", MEMS), che consentono di realizzare punte con diametro di alcuni micron, ad esempio di 10µm o inferiore.

In seguito alla flessione, il primo elemento a sbalzo 16 assume dunque un secondo stato operativo, il quale, di per sé, è instabile, in quanto il primo elemento a sbalzo 16 tende a ritornare nel primo stato operativo. E' comunque possibile associare il secondo stato operativo, a titolo puramente esemplificativo, ad uno stato logico '1'.

Al fine di memorizzare lo stato logico '1', il secondo circuito elettronico 10 forza il passaggio di una corrente di programmazione attraverso il primo elemento a sbalzo 16 e la superficie di contatto SC.

Dal momento che la superficie di contatto SC ha un'area limitata, la densità di corrente che attraversa la

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

stessa superficie di contatto SC è particolarmente elevata, pertanto, in corrispondenza della superficie di contatto SC, si verifica un incremento di temperatura, il quale conduce alla formazione di una saldatura 20 (figura 4) tra il primo elemento mobile di contatto 18 ed il primo elemento fisso di contatto 6. In tal modo, anche quando il primo circuito elettronico 8 smette di polarizzare il primo condensatore C1, cioè anche in assenza di forze elettrostatiche, il primo elemento mobile di contatto 18 ed il primo elemento fisso di contatto 6 rimangono solidali tra loro, impedendo al primo elemento a sbalzo 16 di ritornare nel primo stato operativo. In tal modo, si verifica una memorizzazione dello stato logico '1', il quale è dunque associato alla possibilità di far fluire corrente tra il primo elemento mobile di contatto 18 ed il primo elemento fisso di contatto 6.

Più in particolare, al fine di consentire la saldatura, il secondo materiale ha una temperatura di fusione inferiore alla temperatura di fusione del primo materiale, in maniera tale per cui, in seguito al passaggio della corrente di programmazione attraverso la superficie di contatto SC, si verifica una parziale fusione del primo elemento fisso di contatto 6, mentre il primo elemento a sbalzo 16 mantiene sostanzialmente inalterate le proprie proprietà meccaniche. In altre parole, il primo elemento a

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

sbalzo 16 mantiene un comportamento elastico e, quindi, lineare, consentendo di variare più volte lo stato logico memorizzato.

In seguito alla parziale fusione del primo elemento fisso di contatto 6, il secondo circuito elettronico 10 interrompe il fluire della corrente di programmazione attraverso la superficie di contatto SC, in maniera tale per cui si verifica una corrispondente riduzione di temperatura ed una solidificazione del materiale precedentemente fuso, il quale forma legami intermetallici con il primo elemento mobile di contatto 18. Si realizza così la saldatura 20.

Relativamente al terzo materiale, esso può avere una temperatura di fusione superiore alla temperatura di fusione del secondo materiale, in maniera tale per cui il primo elemento mobile di contatto 18 rimane allo stato solido durante il processo di formazione della saldatura 20. Sono tuttavia possibili forme di realizzazione in cui la temperatura di fusione del terzo materiale è inferiore alla temperatura di fusione del secondo materiale, oltre che alla temperatura di fusione del primo materiale. In tal caso, durante il processo di formazione della saldatura 20, si verifica una parziale fusione del primo elemento mobile di contatto 18, anziché del primo elemento fisso di contatto 6. Anche in tal caso, comunque, il primo elemento

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

a sbalzo 16 mantiene sostanzialmente inalterate le proprie proprietà meccaniche.

Al fine di ripristinare lo stato logico '0', il secondo circuito elettronico 10 forza il passaggio di una corrente di cancellazione attraverso il primo elemento a sbalzo 16 e la superficie di contatto SC, in maniera tale da riscaldare la saldatura 20; ad esempio, la corrente di cancellazione può essere uguale alla corrente di programmazione. In tal modo, le forze elastiche associate alla curvatura del primo elemento a sbalzo 16 causano il distacco del primo elemento mobile di contatto 18 dal primo elemento fisso di contatto 6, e conseguentemente un rilascio del primo elemento a sbalzo 16, il quale ritorna nel primo stato operativo.

A titolo puramente esemplificativo, l'elemento di memoria elettromeccanico 1 può essere realizzato durante le cosiddette fasi di un processo "back-end of line" (BEOL), cioè durante la fase di realizzazione degli strati metallici di un circuito integrato. In tal caso, come mostrato in figura 5, in cui per semplicità non sono mostrati il primo ed il secondo circuito elettronico 8, 10, il corpo di supporto fisso 2 comprende un corpo di materiale semiconduttore 30 ed una regione superiore 32, la quale si estende al sopra del corpo di materiale semiconduttore 30 e definisce il recesso 12. In

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

particolare, la regione superiore 32 è formata da materiale dielettrico e/o metallico, ed inoltre definisce la superficie inferiore S del recesso 12 e la prima parete laterale P1, cui è vincolata la prima estremità del primo elemento a sbalzo 16.

In tale forma di realizzazione, il primo elemento conduttivo è definito da una prima metallizzazione 34, la quale è affacciata alla superficie inferiore S; inoltre, il primo elemento fisso di contatto è definito da una seconda metallizzazione 36, la quale è lateralmente distanziata dalla prima metallizzazione 34 ed è affacciata alla superficie inferiore S.

Come mostrato in figura 6, l'elemento di memoria elettromeccanico 1 può anche essere realizzato almeno in parte durante le cosiddette fasi di un processo "front-end of line" (FEOL), cioè durante la fasi immediatamente successive alla predisposizione della fetta ("wafer") di materiale semiconduttore.

In tal caso, la prima parete laterale P1 è ancora definita dalla regione superiore 32, ma la superficie inferiore S del recesso 12 è definita dal corpo di materiale semiconduttore 30. Inoltre, il primo elemento conduttivo è definito da una prima sacca 44, la quale è formata all'interno del corpo di materiale semiconduttore 30, si estende a partire dalla superficie inferiore S ed è

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

drogata alternativamente P o N. All'interno del corpo di materiale semiconduttore 30 è altresì presente una seconda sacca 45, la quale è lateralmente distanziata dalla prima sacca 44, si estende a partire dalla superficie inferiore S ed è drogata alternativamente P o N. Il primo elemento fisso di contatto è ancora definito dalla seconda metallizzazione, qui indicata con 46, la quale è disposta al di sopra della seconda sacca 45, con cui è in contatto diretto.

In pratica, come mostrato ancora in figura 6, durante il processo di formazione di tale forma di realizzazione, si verifica che al di sopra della regione superiore 32 ed all'interno del recesso 12 è presente una regione di riempimento 50, formata ad esempio di materiale dielettrico, la quale viene successivamente rimossa dal recesso 12, in modo di per sé noto. La figura 6, come peraltro anche le successive figure 7 e 8, si riferisce dunque ad un istante di tempo in cui il processo di formazione dell'elemento di memoria elettromeccanico 1 non è ancora terminato. Tal processo di formazione viene appunto terminato con la rimozione della regione di riempimento 50, in maniera tale da consentire il movimento del primo corpo mobile 14.

Come mostrato in figura 7, all'interno del corpo di materiale semiconduttore 30 può essere presente almeno

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

un'ulteriore sacca, quale ad esempio una terza sacca 52.

Ad esempio, la terza sacca 52 può estendersi a partire dalla superficie inferiore S del recesso 12, lateralmente distanziata rispetto alla seconda sacca 45; inoltre, la prima sacca 44 può estendersi all'interno della terza sacca 52, in modo da essere circondata da quest'ultima. In tal caso, la prima sacca 44 ed il corpo di materiale semiconduttore 30 hanno un primo tipo di drogaggio (ad esempio, di tipo P), mentre la seconda e la terza sacca 45, 52 hanno un secondo tipo di drogaggio (ad esempio, di tipo N). Pertanto, la prima sacca 44 può essere polarizzata in maniera indipendente rispetto al corpo di materiale semiconduttore 30.

Come mostrato in figura 8, è altresì possibile che la seconda sacca 45 si estenda anch'essa all'interno della terza sacca 52. In tal caso, la seconda sacca 45 ha un drogaggio del primo tipo.

Come mostrato in figura 9a, sono altresì possibili forme di realizzazione in cui il primo elemento fisso di contatto (qui indicato con 56) è disposto al di sopra della superficie inferiore S del recesso 12, dunque all'esterno del corpo di supporto fisso 2, con cui è in contatto diretto. In tal caso, il primo elemento fisso di contatto 56 può poggiare su una prima regione conduttiva 57, interposta tra il primo elemento fisso di contatto 56 ed il

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

secondo circuito elettronico 10 (non mostrato in figura 9a) ed estendentesi all'interno del corpo di supporto fisso 2 a partire dalla superficie inferiore S. Il primo elemento fisso di contatto 56 è formato ancora del secondo materiale e può avere una forma appuntita, quale ad esempio una forma triangolare, trapezoidale o a cuspid. Più in particolare, assumendo che il primo elemento mobile di contatto 18 ed il primo elemento fisso di contatto 56 definiscano rispettive forme a singola punta, il primo elemento mobile di contatto 18 ed il primo elemento fisso di contatto 56 sono disposti in maniera tale per cui le due punte da essi definite sono rivolte l'una verso l'altra.

Come mostrato in figura 9b, sono inoltre possibili forma di realizzazione in cui il primo elemento mobile di contatto 18 è assente. In tal caso, è la stessa seconda estremità del primo elemento a sbalzo 16, cioè l'estremità non vincolata, a fungere da primo elemento mobile di contatto, e dunque a contattare (nel secondo stato operativo) il primo elemento fisso di contatto 6; in altre parole, il terzo materiale coincide con il primo materiale. Inoltre, come mostrato in figura 9c, la seconda estremità del primo elemento a sbalzo 16 è rastremata, in modo da definire una punta, la quale, nel secondo stato operativo, contatta il primo elemento fisso di contatto 6. In assenza del primo elemento mobile di contatto 18, il primo elemento

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

a sbalzo 16 può essere disposto più prossimo al primo elemento conduttivo 4, incrementando di conseguenza le forze elettrostatiche e riducendo l'ingombro complessivo dell'elemento di memoria elettromeccanico 1.

Come mostrato in figura 10, è inoltre possibile ridurre la distanza tra la prima e la seconda piastra del primo condensatore C1. A tal fine, l'elemento di memoria elettromeccanico 1 può includere un primo ed un secondo elemento di collegamento 58, 60, nonché un elemento addizionale 62.

Il primo ed il secondo elemento di collegamento 58, 60 sono vincolati al primo elemento a sbalzo 16, sono lateralmente distanziati tra loro e sono interposti tra la prima parete laterale P1 ed il primo elemento mobile di contatto 18. L'elemento addizionale 62 è a sua volta vincolato al primo ed il secondo elemento di collegamento 58, 60, si estende parallelamente alla superficie inferiore S del recesso 12 e sovrasta, a distanza, il primo elemento conduttivo 4, senza contattare alcuna parete laterale del recesso 12.

Il primo ed il secondo elemento di collegamento 58, 60 sono formati da materiale conduttore. Inoltre, l'elemento addizionale 62 è formato di materiale conduttore, in maniera tale che funge da prima piastra del primo condensatore C1, la seconda piastra essendo ancora definita

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

dal primo elemento conduttivo 4. Dal momento che la prima e la seconda piastra sono a distanza ravvicinata, è possibile generare una forza elettrostatica particolarmente intensa.

Sebbene non mostrate, sono altresì possibili forme di realizzazione in cui il primo ed il secondo elemento di collegamento 58, 60 e l'elemento addizionale 62 sono vincolati al primo elemento conduttivo 4, anziché al primo elemento a sbalzo 16.

Come mostrato in figura 11, l'elemento di memoria elettromeccanico 1 può includere anche un secondo elemento a sbalzo 66, il quale si estende all'interno del recesso 12 a partire da una seconda parete laterale P2. In particolare, nel primo stato operativo, il secondo elemento a sbalzo 66 si estende parallelamente alla superficie inferiore S del recesso 12 ed è disposto specularmente rispetto al primo elemento a sbalzo 16; pertanto, la prima e la seconda parete laterale P1 e P2 sono tra loro affacciate.

L'elemento di memoria elettromeccanico 1 comprende inoltre un secondo elemento mobile di contatto 68, vincolato ad una seconda estremità del secondo elemento a sbalzo 66, la prima estremità del secondo elemento a sbalzo 66 essendo appunto vincolata alla seconda parete laterale P2. Nel primo stato operativo, il secondo elemento mobile di contatto 68 sovrasta, a distanza, il primo elemento

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

fisso di contatto 6, con il quale va dunque a contatto, nel secondo stato operativo. Il secondo elemento mobile di contatto 68 è ad esempio uguale al primo elemento mobile di contatto 18. In pratica, il secondo elemento a sbalzo 66 ed il secondo elemento mobile di contatto 68 definiscono un secondo corpo mobile 15.

In tale forma di realizzazione, l'elemento elettromeccanico di memoria 1 comprende un secondo elemento conduttivo 70, il quale si affaccia alla superficie inferiore S del recesso 12, è lateralmente distanziato rispetto al primo elemento fisso di contatto 6 ed è sovrastato, a distanza, dal secondo elemento a sbalzo 66. In particolare, il secondo elemento conduttivo 70 è disposto in maniera tale per cui il primo elemento fisso di contatto 6 risulta interposto tra il primo ed il secondo elemento conduttivo 4, 70. Sebbene non mostrato, il primo ed il secondo elemento conduttivo 4, 70 possono essere elettricamente collegati.

In pratica, il secondo elemento a sbalzo 66 ed il secondo elemento conduttivo 70 definiscono rispettivamente una prima ed una seconda piastra di un secondo condensatore C2.

In tale forma di realizzazione, il secondo circuito elettronico 10 è collegato anche al secondo elemento a sbalzo 66. Inoltre, l'elemento di memoria elettromeccanico

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

1 comprende un terzo circuito elettronico 72, il quale è collegato al secondo elemento a sbalzo 66 ed al secondo elemento conduttivo 70; pertanto, il terzo circuito elettronico 72 è in grado di polarizzare il secondo condensatore C2, generando così una forza elettrostatica atta a flettere il secondo elemento a sbalzo 66.

In tal modo, è possibile memorizzare due bit, utilizzando un solo elemento fisso di contatto.

Come mostrato in figura 12, sono inoltre possibili forme di realizzazione comprendenti sia il primo che il secondo elemento a sbalzo 16, 66, ma prive del primo e del secondo elemento mobile di contatto 18, 68. In tal caso, il primo elemento fisso di contatto 56 è disposto al di sopra della superficie inferiore S del recesso 12; inoltre, sono presenti un secondo elemento fisso di contatto 76 ed una seconda regione conduttiva 77.

In particolare, il secondo elemento fisso di contatto 76 è ad esempio uguale al primo elemento fisso di contatto 56 e si estende al di sopra della superficie inferiore S del recesso 12. La seconda regione conduttiva 77 è interposta tra il secondo elemento fisso di contatto 76 ed il secondo circuito elettronico 10, al quale è collegata, e si estende all'interno del corpo di supporto fisso 2 a partire dalla superficie inferiore S. Più in particolare, la seconda regione conduttiva 77 è sovrastata dal secondo

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

elemento fisso di contatto 76; inoltre, la prima e la seconda regione conduttiva 57, 77 sono lateralmente distanziate in maniera tale per cui il primo elemento conduttivo 4 risulta interposto tra la prima e la seconda regione conduttiva 57, 77. Il primo elemento a sbalzo 16 sovrasta il primo elemento fisso di contatto 56 ed una prima porzione del primo elemento conduttivo 4, mentre il secondo elemento a sbalzo 66 sovrasta il secondo elemento fisso di contatto 76 ed una seconda porzione del primo elemento conduttivo 4.

Operativamente, il primo elemento conduttivo 4 funge da seconda piastra sia per il primo che per il secondo condensatore C1, C2, le cui rispettive prime piastre sono ancora definite, rispettivamente, dal primo e dal secondo elemento a sbalzo 16, 66.

In tal modo, è possibile memorizzare due bit, utilizzando un solo elemento conduttivo.

Sono inoltre possibili forme di realizzazione (non illustrate) in cui il primo elemento conduttivo 4 ed il primo elemento fisso di contatto 6 si affacciano non alla superficie inferiore S del recesso 12, bensì ad una terza parete laterale del recesso 12, in maniera tale per cui, nel passare dal primo al secondo stato operativo, il primo elemento a sbalzo 16 flette parallelamente rispetto alla superficie inferiore S del recesso 12.

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

Secondo un'ancora differente forma di realizzazione, mostrata in figura 13, il primo elemento a sbalzo, qui indicato come 86, è formato da un primo, un secondo ed un terzo sottoelemento 87a-87c. Il primo ed il secondo sottoelemento 87a, 87b si estendono a sbalzo a partire dalla prima parete laterale P1, cui sono vincolati, mentre il terzo sottoelemento 87c raccorda tra loro il primo ed il secondo sottoelemento 87a-87b; inoltre, il primo elemento mobile di contatto 18 è vincolato al terzo sottoelemento 87c.

In altre parole, il primo elemento a sbalzo 86 ha una forma ad "U", le cui prima e seconda estremità sono definite rispettivamente dal primo e dal secondo sottoelemento 87a, 87b e sono vincolate entrambe alla prima parete laterale P1. La prima estremità del primo elemento a sbalzo 86 è ancora collegata al secondo circuito elettronico 10; inoltre, all'interno del corpo di supporto fisso 2 è presente un quarto circuito elettronico 88, il quale è elettricamente collegato alla seconda estremità del primo elemento a sbalzo 86, nonché al secondo circuito elettronico 10. In tal modo, è possibile, ad esempio mediante cooperazione tra il secondo ed il quarto circuito elettronico 10, 88, applicare una tensione tra la prima e la seconda estremità del primo elemento a sbalzo 86, e conseguentemente verificare se attraverso il primo elemento

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

a sbalzo 86 si genera un flusso di corrente di test. Nel caso in cui si manifesti il flusso della corrente di test, è possibile desumere informazioni circa la corretta fabbricazione del primo elemento a sbalzo 86.

Sono inoltre possibili forme di realizzazione (non mostrate) in cui al primo elemento a sbalzo 86, ed in particolare al terzo sottoelemento 87c, sono vincolati più elementi mobili di contatto, ad esempio uguali al primo elemento mobile di contatto 18. Così facendo, si introducono elementi mobili di contatto ridondanti rispetto al primo elemento mobile di contatto 18, aumentando la vita operativa dell'elemento di memoria elettromeccanico 1. In ulteriori forme di implementazione, il primo elemento a sbalzo 86 può avere forma a "V".

Come mostrato nelle figure 14 e 15, è altresì possibile che il primo elemento conduttivo non sia presente. In tal caso, il primo elemento a sbalzo, qui indicato con 96, comprende un primo ed un secondo strato 98 e 100, i quali hanno differenti coefficienti di dilatazione termica. In particolare, il primo strato 98 è formato del primo materiale, mentre il secondo strato 100 è formato da un quarto materiale, il quale è conduttore ed ha una temperatura di fusione superiore ad almeno una tra le temperature di fusione del secondo e del terzo materiale. Inoltre, il quarto materiale ha un coefficiente di

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

dilatazione termica superiore al coefficiente di dilatazione termica del primo materiale.

In dettaglio, il primo strato 98 comprende una prima, una seconda ed una terza porzione 99a-99c. La prima e la seconda porzione 99a, 99b si estendono a sbalzo a partire dalla prima parete laterale P1, cui sono vincolate, mentre la terza porzione 99c raccorda tra loro la prima e la seconda porzione 99a, 99b; inoltre, il primo elemento mobile di contatto 18 è vincolato alla terza porzione 99c. In altre parole, il primo strato 98 ha una forma ad "U", le cui prima e seconda estremità sono definite rispettivamente dalla prima e dalla seconda porzione 99a, 99b e sono vincolate entrambe alla prima parete laterale P1.

Il secondo strato 100 riveste superiormente il primo strato 98 ed ha forma, in vista dall'alto, uguale alla forma del primo strato 98. In alternativa, il primo strato 98 può anche avere forma a "V".

Come mostrato qualitativamente in figura 15, il primo circuito elettronico 8 è assente. Il secondo circuito elettronico 10 è collegato alla prima porzione 99a del primo strato 98, oltre che al primo elemento fisso di contatto 6. Il quarto circuito elettronico 88 è collegato alla seconda porzione 99b del primo strato 98, oltre che al secondo circuito elettronico 10.

Operativamente, nel primo stato operativo, il primo ed

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

il secondo strato 98, 100 si estendono parallelamente alla superficie inferiore S del recesso 12, impedendo il contatto tra il primo elemento mobile di contatto 18 ed il primo elemento fisso di contatto 6.

A partire dal primo stato operativo, il secondo ed il quarto circuito elettronico 10, 88 possono cooperare per far fluire una corrente di comando all'interno del primo e del secondo strato 98, 100, generando un conseguente incremento di temperatura all'interno del primo e del secondo strato 98, 100. Dal momento che il coefficiente di dilatazione termica del primo strato 98 è inferiore al coefficiente di dilatazione termica del secondo strato 100, l'incremento di temperatura causa un incurvarsi del primo elemento a sbalzo 96, ed in particolare una flessione di quest'ultimo in direzione della superficie inferiore S. In tal modo, si perviene ad una condizione in cui il primo elemento mobile di contatto 18 contatta il primo elemento fisso di contatto 6, senza impiegare forze elettrostatiche per incurvare il primo elemento a sbalzo 96, dunque senza la necessità di impiegare il primo circuito elettronico 8, né il primo elemento conduttivo 4.

Una volta che il primo elemento mobile di contatto 18 ed il primo elemento fisso di contatto 6 sono a contatto tra loro, è possibile programmare lo stato logico '1'. A tal fine, il secondo circuito elettronico 10 forza il

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

passaggio della corrente di programmazione attraverso il primo elemento a sbalzo 96 e attraverso la superficie di contatto SC formatasi tra il primo elemento mobile di contatto 18 ed il primo elemento fisso di contatto 6, con conseguente fusione e successiva solidificazione (in seguito all'interruzione della corrente di programmazione) di uno tra il primo elemento mobile di contatto 18 ed il primo elemento fisso di contatto 6. In tal modo, quando il secondo ed il quarto circuito elettronico 10, 88 non generano più alcuna corrente tra la corrente di comando e la corrente di programmazione, il primo elemento mobile di contatto 18 ed il primo elemento fisso di contatto 6 rimangono solidali tra loro, impedendo al primo elemento a sbalzo 96 di ritornare nel primo stato operativo. Si noti che, preferibilmente, durante le operazioni di fusione e successiva solidificazione, la corrente di comando continua a fluire nel primo elemento a sbalzo 96, ed in particolare attraverso nella prima, nella seconda e nella terza porzione 99a-99c del primo strato 98, in modo da mantenere il contatto tra il primo elemento mobile di contatto 18 ed il primo elemento fisso di contatto 6, fino a solidificazione avvenuta.

Al fine di ripristinare lo stato logico '0', il secondo circuito elettronico 10 forza il passaggio della corrente di cancellazione attraverso la prima porzione 99a

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

del primo strato 98 e la superficie di contatto SC, in maniera tale da riscaldare la saldatura 20; nel contempo, il quarto circuito elettronico 88 impedisce il passaggio della corrente di comando nel primo elemento a sbalzo 96, in modo da non ostacolare il rilascio del primo elemento a sbalzo 96. Ad esempio, la corrente di cancellazione può essere uguale alla corrente di programmazione. In tal modo, le forze elastiche associate alla curvatura del primo elemento a sbalzo 96 causano il distacco del primo elemento mobile di contatto 18 dal primo elemento fisso di contatto 6, e conseguentemente un rilascio del primo elemento a sbalzo 96.

Come mostrato in figura 16, sono inoltre possibili forme di realizzazione basate ancora sull'impiego di forze elettrostatiche, in cui il primo corpo mobile 14 comprende, invece del primo elemento a sbalzo, un elemento sospeso 106, il quale è vincolato ad una prima estremità alla prima parete laterale P1, e ad una seconda estremità alla seconda parete laterale P2. L'elemento sospeso 106 sovrasta dunque, a distanza, la superficie inferiore S del recesso 12.

In dettaglio, in questa forma di realizzazione, l'elemento di memoria elettromeccanico 1 include il primo ed il secondo elemento conduttivo 4, 70, tra i quali è interposto il primo elemento fisso di contatto 6.

In maggior dettaglio, l'elemento sospeso 106 è formato

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

del primo materiale e comprende una prima, una seconda ed una terza porzione 107a-107c, la prima e la seconda porzione 107a, 107b essendo rispettivamente vincolate alla prima ed alla seconda parete P1, P2, la terza porzione 107c essendo interposta tra la prima e la seconda porzione 107a, 107b, alle quali è collegata. Inoltre, la terza porzione 107c dell'elemento sospeso 106 ha forma lineare e porta il primo elemento mobile di contatto 18. La prima e la seconda porzione 107a, 107b hanno invece forme geometriche tali da conferire ad esse rigidità inferiori rispetto alla rigidità della terza porzione 107c.

L'elemento sospeso 106 definisce le prime piastre del primo e del secondo condensatore C1, C2, le cui rispettive seconde piastre sono definite, rispettivamente, dal primo e dal secondo elemento conduttivo 4, 70. Il primo circuito elettronico 8 è collegato al primo ed al secondo elemento conduttivo 4, 70, nonché all'elemento sospeso 106. Il secondo circuito elettronico 10 è anch'esso collegato all'elemento sospeso 106, nonché al primo elemento fisso di contatto 6.

Operativamente, in seguito alla polarizzazione del primo e del secondo condensatore C1 e C2 da parte del primo circuito elettronico 8, si verifica una flessione della prima e della seconda porzione 107a, 107b dell'elemento sospeso 106, con conseguente traslazione della terza

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

porzione 107c verso la superficie inferiore S; in particolare, la terza porzione 107c trasla verticalmente rimanendo in prima approssimazione parallela alla superficie inferiore S, fino a quando il primo elemento mobile di contatto 18 contatta il primo elemento fisso di contatto 6. Successivamente, il secondo circuito elettronico 10 forza il passaggio della corrente di programmazione attraverso l'elemento sospeso 106 e la superficie di contatto SC che si forma tra il primo elemento mobile di contatto 18 ed il primo elemento fisso di contatto 6, con conseguente fusione di uno di questi ultimi e, in seguito al successivo raffreddamento causato dall'interruzione dell'erogazione della corrente di programmazione, la formazione della saldatura. Tale saldatura può essere successivamente rimossa in modo analogo a quanto descritto in precedenza.

In generale, l'impiego di porzioni a bassa rigidità, quali appunto la prima e la seconda porzione 107a, 107b, comporta la possibilità di ridurre la lunghezza dell'elemento sospeso 106.

Sebbene non mostrate, sono inoltre possibili forme di realizzazione in cui l'elemento sospeso 106 definisce una sola porzione a bassa rigidità, ad esempio disposta in posizione centrale rispetto all'elemento sospeso 106 stesso. Ad esempio, la porzione a bassa rigidità può

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

sovrastare il primo elemento fisso di contatto 6; in tal caso, il primo elemento mobile di contatto 18 può essere assente, e la porzione a bassa rigidità, avendo ad esempio una forma a V con vertice rivolto verso la superficie inferiore S, può fare le veci del primo elemento mobile di contatto 18, andando a contattare direttamente, nel secondo stato operativo, il primo elemento fisso di contatto 6.

In altre forme di realizzazione (non mostrate), l'elemento sospeso 106 ha una forma a "V", e la prima e la seconda porzione 107a, 107b sono assenti. Inoltre, è possibile applicare una tensione tra la prima e la seconda estremità dell'elemento sospeso 106, per generare un flusso di corrente di test per verificare la corretta fabbricazione dell'elemento sospeso 106 stesso.

Come mostrato in figura 17, sono inoltre possibili forme di realizzazione ibride, in cui parte dell'elemento sospeso 106, come ad esempio la terza porzione 107c, sono ricoperte di uno strato ricoprente 110, il quale ha un coefficiente di dilatazione termica inferiore rispetto al coefficiente di dilatazione termica dell'elemento sospeso 106 stesso. In tal caso, l'elemento di memoria elettromeccanico 1 non include né il primo né il secondo elemento conduttivo 4, 70, né il primo circuito elettronico 8; infatti, la flessione della prima e della seconda porzione 107a, 107b, e dunque la traslazione della terza

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

porzione 107c dell'elemento sospeso 106 verso il primo elemento fisso di contatto 6, si ottengono facendo passare la corrente di comando attraverso l'elemento sospeso 106 e lo strato ricoprente 110, con conseguente riscaldamento di questi ultimi.

Come mostrato in figura 18, sono inoltre possibili forme di realizzazione includenti sia il primo che il secondo elemento a sbalzo 16, 66, i quali sono entrambi vincolati alla prima parete laterale P1, il secondo elemento a sbalzo 66 essendo sottostante al primo elemento a sbalzo 16 e sovrastando, a distanza, la superficie inferiore S del recesso 12. Inoltre, il secondo elemento mobile di contatto 68 è vincolato al secondo elemento a sbalzo 66 in maniera tale da sovrastare il secondo elemento a sbalzo 66 stesso. In altre parole, nel primo stato operativo, il primo ed il secondo elemento mobile di contatto 18, 68 sono verticalmente allineati e sono rivolti l'uno verso l'altro.

Nella forma di realizzazione mostrata in figura 18, il primo elemento conduttivo 4 ed il primo elemento fisso di contatto 6 sono disposti esternamente rispetto al corpo di supporto fisso 2. In particolare, il primo elemento conduttivo 4 si estende a sbalzo a partire dalla prima parete laterale P1, in maniera tale da risultare interposto tra il primo ed il secondo elemento a sbalzo 16, 66. Il

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

primo elemento fisso di contatto 6 si estende a sbalzo a partire dalla seconda parete laterale P2 ed è allineato orizzontalmente al primo elemento conduttivo 4. Pertanto, il primo elemento fisso di contatto 6 è interposto tra il primo ed il secondo elemento mobile di contatto 18, 68. Nel secondo stato operativo, il primo elemento mobile di contatto 18 contatta dunque superiormente il primo elemento fisso di contatto 6, mentre il secondo elemento mobile di contatto 68 contatta inferiormente il primo elemento fisso di contatto 6. Questa forma di realizzazione consente dunque di memorizzare due bit; inoltre, essa si sviluppa in senso verticale, riducendo l'occupazione di area.

E' altresì possibile che il primo ed il secondo elemento a sbalzo 16, 66 siano entrambi vincolati alla prima parete laterale P1 e siano disposti complanari. In tal caso, possono essere presenti ulteriori elementi a sbalzo, i quali sono anch'essi vincolati alla prima parete laterale P1 e sono tra loro complanari. Inoltre, a ciascun elemento a sbalzo possono essere associati un rispettivo elemento conduttivo ed un rispettivo elemento fisso di contatto; alternativamente, due o più elementi a sbalzo possono condividere un singolo elemento conduttivo e/o un singolo elemento fisso di contatto.

Come mostrato in figura 19, è altresì possibile che ciascuno tra il primo ed il secondo elemento a sbalzo siano

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

del tipo mostrato in figura 14. In dettaglio, il primo elemento a sbalzo (indicato con 96) comprende il primo ed il secondo strato 98 e 100, mentre il secondo elemento a sbalzo (indicato con 116) comprende un terzo strato 118, formato ad esempio del primo materiale, ed un quarto strato 120, formato ad esempio del quarto materiale, il quale, come detto, ha un coefficiente di dilatazione termica superiore al coefficiente di dilatazione termica del primo materiale. Più in particolare, il terzo strato 118 sovrasta il quarto strato 120, al fine di consentire la corretta flessione del secondo elemento a sbalzo 116 verso il primo elemento fisso di contatto 6. Inoltre, al fine di consentire il passaggio della corrente di comando sia nel primo che nel secondo elemento a sbalzo 96, 116, il primo, il secondo, il terzo ed il quarto strato 98, 100, 118, 120 hanno tutti, in vista dall'alto, una medesima forma ad "U", le estremità di tale forma essendo vincolate alla prima parete laterale P1.

Tutte forme di realizzazione descritte si caratterizzano per il fatto di poter essere cancellabili mediante riscaldamento, senza impiegare alcuna corrente. In particolare, ponendo una sorgente di calore in prossimità dell'elemento di memoria elettromeccanico 1 e riscaldando quest'ultimo in modo che raggiunga una temperatura superiore alla temperatura di fusione del primo elemento

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

fisso di contatto 6, oppure del primo elemento mobile di contatto 18, si ottiene una rimozione della saldatura ed il rilascio del primo corpo mobile 14. Al fine di agevolare la cancellazione dell'elemento di memoria elettromeccanico 1, è ad esempio possibile formare il primo elemento fisso di contatto 6 con un materiale avente temperatura di fusione particolarmente bassa, oppure ricoprire il medesimo con uno strato a bassa temperatura di fusione, quest'ultimo potendo essere formato, ad esempio, da una cosiddetta lega di saldatura.

Come mostrato in figura 20, l'elemento elettromeccanico 1 può inoltre essere formato all'interno di una piastrina 130 di un circuito integrato 132, il quale, oltre alla piastrina 130, include un incapsulamento ("package") 134, al di sotto del quale si estende una pluralità di elementi di contatto sporgenti 136 ("bump"), i quali appartengono ad un substrato (non mostrato). Il substrato è connesso elettricamente alla piastrina 130 in modo di per sé noto e può essere formato, ad esempio, da una scheda di circuito stampato ("printed circuit board", PCB). All'interno dell'incapsulamento 134 è presente una regione ad alta conducibilità termica 138, la quale è formata ad esempio da un metallo, è a contatto diretto con la piastrina 130 ed è atta a trasmettere alla piastrina 130 il calore generato da una sorgente di calore (non mostrata)

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

disposta all'esterno del circuito integrato 132. Come mostrato in figura 20, la regione ad alta conducibilità termica 138 può essere di tipo passante, cioè può attraversare interamente l'incapsulamento 134, oppure può essere di tipo cieco, cioè può estendersi nell'incapsulamento 134 a partire dalla piastrina 130, senza attraversare completamente l'incapsulamento 134. E' altresì possibile che la regione ad alta conducibilità termica 138 si estenda all'interno della piastrina 130.

Come mostrato in figura 21, all'interno della piastrina 130 può essere disposto un elemento riscaldante 139, quale ad esempio una resistenza. In alternativa, l'elemento riscaldante 139 può essere disposto a contatto con una superficie della piastrina 130.

Come mostrato in figura 22 con riferimento, a titolo puramente esemplificativo, alla forma di realizzazione illustrata in figura 1, il presente elemento di memoria elettromeccanico 1 può inoltre includere un cappuccio ("cap") 140, il quale si estende al di sopra del corpo di supporto fisso 2 e del recesso 12, in maniera tale da chiudere il recesso, definendo una cavità chiusa 142. In particolare, il cappuccio 140 può essere formato, ad esempio, da un materiale semiconduttore o da un polimero. Inoltre, all'interno della cavità chiusa 142 può essere presente un fluido inerte 144, quale ad esempio un gas di

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

azoto. Il fluido inerte 144 previene l'ossidazione dei componenti metallici dell'elemento di memoria elettromeccanico 1, quali il primo elemento mobile di contatto 18 ed il primo elemento fisso di contatto 6. Alternativamente, la cavità chiusa 142 può essere sotto vuoto.

Sebbene non mostrato, al fine di collegare l'elemento di memoria elettromeccanico 1 mostrato in figura 22 con il mondo esterno, l'elemento di memoria elettromeccanico 1 può includere una o più vie di materiale conduttore, anche note come vie attraverso il silicio ("Through-Silicon Vias", TSV). Le vie possono estendersi verticalmente attraverso il cappuccio 140 e/o attraverso il corpo di supporto fisso 2, andando a contattare corrispondenti piazzole metalliche (non mostrate). In particolare, nel caso di vie conduttrici che si estendono attraverso il corpo di supporto fisso 2, esse attraversano completamente il corpo di materiale semiconduttore 30 (figura 8), fino ad estendersi, eventualmente, in parte all'interno della regione superiore 32 (figura 8). Eventualmente, ciascuna via può attraversare completamente sia il corpo di materiale semiconduttore 30, sia la regione superiore 32.

Sebbene in figura 22 si sia mostrata una forma di realizzazione in cui il cappuccio 140 ricopre interamente il corpo di supporto fisso 2, sono possibili forme di

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

realizzazione in cui il cappuccio 140 lascia scoperta una porzione del corpo di supporto fisso 2, nel qual caso il corpo di supporto fisso 2 può essere posto in contatto con il mondo esterno attraverso protuberanze ("bump") o collegamenti a filo ("wire bonding"), anziché con vie.

Come mostrato in figura 23, è inoltre possibile che all'interno del corpo di supporto fisso 2 siano formate più cavità chiuse 142 (in particolare, in figura 23 sono mostrate due cavità chiuse), al cui interno sono presenti corrispondenti elementi a sbalzo. In tal caso, al di sopra del corpo di supporto fisso 2, è presente uno strato sigillante 145, il quale si estende al di sopra di tutte le cavità chiuse 142, in modo da sigillarle. Ad esempio, lo strato sigillante 145 può essere formato da un materiale dielettrico o polimerico quale, ad esempio, kapton; in questo secondo caso, lo strato sigillante 145 può essere preformato ed essere successivamente incollato al di sopra del corpo di supporto fisso 2. Inoltre, lo strato sigillante 145 può essere trasparente, per facilitare l'ispezione visiva dell'elemento di memoria elettromeccanico 1.

All'interno delle cavità chiuse 142 può inoltre essere presente, invece di un gas, un liquido 146, quale ad esempio un olio o una soluzione acquosa; il liquido 146 può essere inserito nelle cavità chiuse 142 prima della

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

chiusura delle medesime con lo strato sigillante 145, oppure successivamente alla disposizione dello strato sigillante 145, nel qual caso è ad esempio possibile predisporre canali microfluidici all'interno del corpo fisso di supporto 2.

Il liquido 146 può avere un'elevata costante dielettrica (ad esempio, superiore a 2), al fine di aumentare la capacità del primo condensatore C1 (se presente), in maniera tale da consentire una riduzione delle dimensioni del primo elemento a sbalzo 16 e del primo elemento conduttivo 4, a parità di capacità del primo condensatore C1. Inoltre, il liquido 146 può avere una bassa viscosità (ad esempio, inferiore a $1\text{Pa}\cdot\text{s}$), al fine di non ostacolare il movimento del primo elemento a sbalzo 16. La presenza del liquido 146 consente in ogni caso di smorzare gli inevitabili rimbalzi meccanici che si generano quando il primo elemento mobile di contatto 18 viene a contatto con il primo elemento fisso di contatto 6, consentendo così di anticipare l'erogazione della corrente di programmazione, quest'ultima dovendo attraversare la superficie di contatto SC solo dopo che i rimbalzi si sono esauriti. La presenza del liquido 146 consente inoltre di lubrificare il primo elemento mobile di contatto 18 ed il primo elemento fisso di contatto 6, riducendone l'usura e prolungandone la vita operativa.

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

Indipendentemente dai dettagli realizzativi, una pluralità di elementi di memoria elettromeccanici 1 può essere integrata per formare una memoria elettromeccanica 150, mostrata in figura 24. Prima di descrivere tale memoria elettromeccanica 150, si precisa che il primo, il secondo, il terzo ed il quarto circuito elettronico 8, 10, 72, 88 precedentemente descritti possono essere formati in tutto o in parte al di fuori del corpo di supporto fisso 2 dell'elemento di memoria elettromeccanico 1.

In dettaglio, in un esempio di implementazione, la memoria elettromeccanica 150 comprende una matrice di memoria 152 formata dalla pluralità di elementi di memoria elettromeccanici 1, disposti in righe e colonne. In particolare, riferendosi alle celle di memoria per indicare gli elementi di memoria elettromeccanici, le celle di memoria di una medesima riga sono collegate ad un corrispondente cammino conduttivo noto come linea di parola ("Word Line") WL. Inoltre, le celle di memoria di una medesima colonna sono collegate ad un corrispondente cammino conduttivo noto come linea di bit ("Bit Line") BL.

La memoria elettromeccanica 150 comprende inoltre un decodificatore di riga 154, collegato alle linee di parola WL, ed un decodificatore di colonna 156, collegato alle linee di bit BL. Il decodificatore di riga 154 ed il decodificatore di colonna 156 sono di tipo di per sé noto e

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

sono collegati a corrispondenti porzioni di un bus di indirizzo 158, in maniera tale di consentire la selezione di una singola linea di parola e di una singola linea di bit.

La memoria elettromeccanica 150 comprende inoltre un generatore di tensione 160, il quale svolge le funzioni del summenzionato secondo circuito elettronico 10 ed è collegato al decodificatore di riga 154. In uso, il decodificatore di riga 154 collega il generatore di tensione 160 alla linea di parola WL indicata dal bus di indirizzo 158. In una variante non mostrata, il generatore di tensione 160 può essere anche esterno alla memoria elettromeccanica 150.

La memoria elettromeccanica 150 comprende inoltre un primo ed un secondo bus interno 162, 164, un circuito di carico ("load") 166, un circuito commutatore 168 ed un circuito di selezione 170; il circuito di carico 166 ed il circuito commutatore 168 sono tra loro collegati.

In dettaglio, il circuito di carico 166 comprende un numero di carichi 172 (figura 25) pari al numero di linee di bit BL, mentre il circuito commutatore 168 comprende un numero di interruttori elettronici 174 (figura 25) pari al numero di linee di bit BL. In pratica, ciascuna linea di bit BL è collegata ad un rispettivo carico 172 e ad un rispettivo interruttore elettronico 174. Il generico carico

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

172 può essere ad esempio una resistenza o un carico di tipo attivo, creato con circuiti elettronici di tipo noto.

In maggior dettaglio, il circuito di selezione 170 è controllabile attraverso un rispettivo ingresso R/W ("Read/Write") e può operare alternativamente in una prima oppure una seconda modalità. Inoltre, il circuito di selezione 170 riceve in ingresso un bus di dati 180 (di tipo bidirezionale) ed è collegato al primo ed al secondo bus interno 162, 164. A sua volta, il secondo bus interno 164 è collegato al circuito commutatore 168, mentre il primo bus interno 162 è accoppiabile al decodificatore di colonna 156 in modo controllabile dal circuito di selezione 170 (caratteristica non mostrata in figura 24), come descritto in seguito.

Nella prima modalità, il circuito di selezione 170 pone il decodificatore di colonna 156 in contatto elettrico con il circuito di carico 166, cioè disaccoppia il primo bus interno 162 dal decodificatore di colonna 156; inoltre, il circuito di selezione 170 collega il bus di dati 180 al secondo bus interno 164.

Nella seconda modalità, il circuito di selezione 170 accoppia il primo bus interno 162 al decodificatore di colonna 156 e comanda il circuito commutatore 168 in modo che sia elettricamente equivalente ad una pluralità di circuiti aperti (caratteristica non mostrata in figura 24);

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

inoltre, il circuito di selezione 170 collega il bus di dati 180 al primo bus interno 162.

Come mostrato in figura 25, laddove per semplicità si è fatto riferimento al caso di una matrice di memoria formata da una singola cella di memoria, e dunque nella quale non sono presenti i decodificatori di riga e di colonna, ciascun elemento di memoria elettromeccanico 1 è elettricamente equivalente ad un interruttore elettromeccanico EI, il quale è collegato tra una rispettiva linea di parola WL e una rispettiva linea di bit BL.

Assumendo, a titolo esemplificativo, che la singola cella di memoria sia formata dall'elemento di memoria elettromeccanico mostrato in figura 1, l'interruttore elettromeccanico EI è controllato dal primo circuito elettronico 8, il quale, come detto, può essere formato all'esterno del corpo di supporto fisso 2, oppure può essere controllato da un'unità esterna (non mostrata). Nel seguito ci si riferisce dunque, per semplicità, al primo circuito elettronico 8, sottintendendo un possibile controllo del medesimo da parte dell'unità esterna.

Quando il circuito di selezione 170 opera nella prima modalità, la linea di bit BL è collegata ad un corrispondente carico 172, il quale è collegato ad un corrispondente interruttore elettronico 174. L'interruttore

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

elettronico 174 è controllato dal secondo bus interno 164, e quindi dal bus di dati 180.

In particolare, l'interruttore elettronico 174 è controllato dalla porzione del bus di dati 180 collegata alla porzione del secondo bus interno 164 che controlla direttamente l'interruttore elettronico 174, tuttavia, per brevità, nel seguito ci si riferisce genericamente al bus di dati 180 per indicare l'elemento che controlla la chiusura/apertura dell'interruttore elettronico 174. Ciò premesso, l'interruttore elettronico 174 è chiuso quando il bus di dati 180 indica un corrispondente valore logico '1', altrimenti è aperto. Pertanto, è possibile formare una saldatura all'interno dell'elemento di memoria elettromeccanico 1, e dunque memorizzare un bit '1', solo quando il valore logico indicato dal bus di dati 180 è pari a '1'.

In dettaglio, indicando con A e B i nodi dell'interruttore elettronico EI rispettivamente collegati al generatore di tensione 160 ed al carico 172, durante la programmazione del valore logico '1' sono generati i segnali mostrati in figura 26. In particolare, in figura 26 si assume che l'elemento di memoria elettromeccanico 1 si trovi inizialmente nel primo stato operativo, e quindi memorizzi il valore logico '0', dal momento che non vi è contatto (né saldatura) tra il primo elemento mobile di

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

contatto 18 ed il primo elemento fisso di contatto 6.

In maggior dettaglio, indicando con t il tempo, la tensione V_A sul nodo A è pari ad un valore V_{AP} non nullo. Ad un istante di tempo t_1 , il primo circuito elettronico 8 applica una tensione V_{C1} (negativa) al primo elemento conduttivo 4, al fine di chiudere l'interruttore elettromeccanico EI (in figura 26, la tensione sul primo elemento conduttivo è indicata con V_C). La chiusura dell'interruttore elettromeccanico EI richiede un certo tempo e si verifica ad un istante di tempo t_2 . Inoltre, si assume che, successivamente all'istante di tempo t_1 , la tensione V_{BUS} sul bus di dati 180 (a rigore, come detto, sulla porzione del bus di dati collegata alla porzione del secondo bus interno che controlla direttamente l'interruttore elettronico) sia pari a V_H , intendendo con V_H una tensione che indica il valore logico '1', cioè tale da chiudere l'interruttore elettronico 174. Pertanto, successivamente all'istante di tempo t_2 , si verifica il passaggio della corrente di programmazione attraverso l'interruttore elettromeccanico EI, con conseguente passaggio della tensione V_B sul nodo B da un valore nullo ad un valore non nullo, nonché con conseguente fusione parziale, ad esempio, del primo elemento fisso di contatto 6. Successivamente, ad un istante di tempo t_3 , il bus di dati 180 viene posto ad una tensione nulla; il

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

raffreddamento che ne consegue comporta la formazione della saldatura tra il primo elemento mobile di contatto 18 ed il primo elemento fisso di contatto 6, e quindi la tensione V_B non si annulla dopo l'istante di tempo t_3 . La tensione V_C permane al valore di tensione V_{C1} per un certo periodo di tempo dopo l'istante di tempo t_3 , al fine di mantenere in contatto il primo elemento mobile di contatto 18 ed il primo elemento fisso di contatto 6 durante la formazione della saldatura. In tal modo, la cella di memoria è programmata e memorizza il valore logico '1'. Eventualmente, è possibile controllare l'interruttore elettronico 174 in modo che si chiuda solo a partire dall'istante di tempo in cui si verificano entrambe le condizioni: i) il bus di dati 180 indica il valore logico '1'; e ii) l'interruttore elettromeccanico EI è chiuso. In tal modo, si riduce il degrado del contatto elettrico tra il primo elemento mobile di contatto 18 ed il primo elemento fisso di contatto 6, perché si prevengono il fluire della corrente e le scintillazioni durante i rimbalzi meccanici che si generano quando il primo elemento mobile di contatto 18 viene a contatto con il primo elemento fisso di contatto 6.

Si noti che, nel caso in cui il bus di dati 180 indichi un valore logico '0', la procedura precedentemente descritta non porta alla formazione di alcuna saldatura,

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

dal momento che l'interruttore elettronico 174 rimane aperto e dunque non consente il passaggio della corrente di programmazione. In tal modo, all'interno della cella di memoria viene correttamente memorizzato il valore logico '0'.

Quando il circuito di selezione 170 opera nella prima modalità è dunque possibile programmare la cella di memoria. Inoltre, è possibile cancellare il valore logico '1' eventualmente memorizzato nella cella di memoria. In altre parole, è possibile resettare la cella di memoria, ripristinando una condizione tale per cui la cella di memoria memorizza il valore logico '0'.

Al fine di resettare la cella di memoria, come mostrato in figura 27, il generatore di tensione 160 rimane acceso per tutta la durata delle operazioni, in maniera tale per cui la tensione V_A è pari ad un valore V_{AC} non nullo. Inoltre, il bus di dati 180 viene posto alla tensione V_H durante un intervallo temporale compreso tra un istante temporale t_i ed un istante temporale t_f , in modo da chiudere l'interruttore elettronico 174. In aggiunta, il primo elemento conduttivo 4 non viene polarizzato, oppure, come mostrato appunto in figura 27, viene applicata ad esso una tensione V_{C2} , in modo da generare una forza repulsiva tra il primo elemento conduttivo 4 ed il primo elemento a sbalzo 16. Il passaggio di corrente di cancellazione

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

attraverso la superficie di contatto SC e la saldatura 20 provoca così una fusione della saldatura ed il conseguente rilascio del primo elemento a sbalzo 16; tale rilascio avviene ad esempio ad un istante di tempo t_4 , in seguito al quale le tensioni V_C e V_{BUS} sono poste a zero.

Qualora l'elemento di memoria elettromeccanico 1 sia del tipo illustrato nelle figure 14 e 15, la programmazione e la cancellazione avvengono, ad esempio, sulla base dei segnali mostrati in figura 28.

In particolare, l'operazione di programmazione prevede di accendere il generatore di tensione 160 e di far passare la corrente di comando (indicata con I_C in figura 28) all'interno del primo e del secondo strato 98, 100, a partire da un istante di tempo t_5 e fino ad un istante di tempo t_6 . La tensione V_A sul nodo A è nuovamente pari al valore V_{AP} , per tutta la durata delle operazioni di programmazione.

Inoltre, ad un istante di tempo t_7 , compreso tra gli istanti di tempo t_5 e t_6 , il bus di dati 180 viene posto alla tensione V_H , in modo da chiudere l'interruttore elettronico 174. In particolare, l'istante di tempo t_7 è successivo all'istante di tempo in cui, a causa del passaggio della corrente di comando, si è verificato il contatto tra il primo elemento mobile di contatto 18 ed il primo elemento fisso di contatto 6, pertanto,

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

successivamente a tale istante di tempo t_7 , si verifica il passaggio della corrente di programmazione, con conseguente innalzamento della tensione V_B sul nodo B. Il bus di dati 180 viene successivamente posto ad una tensione nulla, ad esempio all'istante di tempo t_6 , al fine di interrompere il passaggio della corrente di programmazione, con conseguente solidificazione dalla saldatura. In una variante non mostrata, la corrente di comando I_C (analogamente alla tensione V_C di figura 26) può continuare a fluire all'interno del primo e del secondo strato 98, 100 per un certo periodo di tempo dopo l'istante di tempo t_6 , al fine di mantenere in contatto il primo elemento mobile di contatto 18 ed il primo elemento fisso di contatto 6 durante la fase di formazione della saldatura.

Relativamente all'operazione di cancellazione, come mostrato in figura 29, il generatore di tensione 160 rimane acceso per tutta la durata dall'operazione, in maniera tale per cui la tensione V_A sul nodo A rimane pari al valore V_{AC} , per tutta la durata delle operazioni di cancellazione. Inoltre, il bus di dati 180 viene posto alla tensione V_H durante un intervallo di tempo compreso tra gli istanti di tempo t_8 e t_9 . In tal modo, si verifica il passaggio di una corrente attraverso la superficie di contatto SC e la saldatura, con conseguente distruzione della saldatura e rilascio del primo elemento a sbalzo 16.

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

In particolare, il rilascio del primo elemento a sbalzo 16 comporta un annullamento della tensione V_B sul nodo B, ad un istante di tempo t_{10} compreso tra gli istanti di tempo t_8 e t_9 .

Relativamente alle cosiddette operazioni di lettura, il circuito di selezione 170 opera nella seconda modalità, come detto in precedenza, in maniera tale per cui gli interruttori elettronici 174 sono aperti ed il primo bus interno 162 è collegato al decodificatore di colonna 152. Inoltre, come mostrato in figura 30, ed indipendentemente dalla forma di realizzazione, il generatore di tensione 160 rimane acceso durante un intervallo di tempo compreso tra gli istanti di tempo t_{11} e t_{12} e imposta la tensione V_A in modo che sia pari ad un valore V_{AR} . In tal modo, in presenza della saldatura (stato logico '1'), la tensione V_{BUS} sul bus di dati 180 si porta, durante l'intervallo di tempo compreso tra gli istanti di tempo t_{11} e t_{12} , ad un livello alto, mentre, in assenza della saldatura (stato logico '0'), la tensione V_{BUS} sul bus di dati 180 rimane nulla. In particolare, il valore V_{AR} è tale per cui, attraverso la superficie di contatto SC, si verifica il passaggio di una corrente di lettura inferiore rispetto alle correnti di programmazione e di cancellazione, tale corrente di lettura essendo tale da non provocare la fusione della saldatura, se presente. In tal modo, le

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

operazioni di lettura non alterano lo stato della cella di memoria.

Ciò detto, sono comunque possibili numerose varianti della memoria elettromeccanica 150, nonché delle operazioni relative al suo funzionamento. Ad esempio, il circuito di carico 166 può essere interposto tra il decodificatore di riga 154 e la matrice di memoria 152. Inoltre, il circuito commutatore 168 può essere controllato sulla base sia del bus di dati 180 che del bus di indirizzo 158. In aggiunta, è possibile che uno o entrambi tra il decodificatore di riga 154 ed il decodificatore di colonna 156, oltre che altre parti della memoria elettromeccanica 150, siano formati da interruttori meccanici includenti rispettivi elementi di memoria elettromeccanici.

I vantaggi che il presente elemento di memoria elettromeccanico consente di ottenere emergono chiaramente dalla precedente descrizione. In particolare, esso rappresenta un elemento di memoria integrato di tipo meccanico e non volatile, il quale è facilmente riproducibile e consente, pertanto, di realizzare memorie ad elevata affidabilità. In particolare, il presente elemento di memoria elettromeccanico consente di memorizzare informazione per tempi dell'ordine di decine o centinaia di anni in modo affidabile, senza ricorrere a tecniche di immagazzinamento della carica elettrica.

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

Inoltre, si ha un'elevata immunità alle radiazioni elettromagnetiche.

Risulta infine chiaro che rispetto a quanto 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, l'elemento di memoria elettromeccanico può essere atto ad implementare una singola operazione di scrittura, in maniera tale da definire un cosiddetto elemento di memoria a singola scrittura, non cancellabile ("One Time Programmable", OTP).

Inoltre, possono essere presenti righe e/o colonne di elementi di memoria elettromeccanici usati per la ridondanza, nonché circuiterie elettroniche addizionali ed elementi di memoria elettromeccanici di tipo cosiddetto indirizzabile sulla base del contenuto ("content addressable"). E' così possibile riparare la memoria elettromeccanica 150 durante le fasi di test o durante il suo normale funzionamento, sostituendo un elemento di memoria elettromeccanico difettoso. Possono inoltre essere presenti circuiti cosiddetti BISTAR ("Built-In Self Test with Auto-Redundancy"), i quali fungono da elementi di ridondanza degli elementi di memoria elettromeccanici che si danneggiano durante la vita della memoria elettromeccanica 150.

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

RIVENDICAZIONI

1. Elemento di memoria elettromeccanico comprendente:

- un corpo di supporto fisso (2);

- un primo dispositivo mobile (14) includente un primo elemento deformabile (16;96;106) vincolato a detto corpo di supporto fisso, detto primo dispositivo mobile definendo un primo elemento mobile di contatto (18);

- un elemento fisso di contatto (6), solidale con il corpo di supporto fisso;

- mezzi attuatori (8,10,88) configurati per deformare il primo elemento deformabile in modo da disporre il primo dispositivo mobile in una prima posizione, in cui il primo elemento mobile di contatto è disgiunto dall'elemento fisso di contatto, o in una seconda posizione, in cui il primo elemento mobile di contatto è a contatto con l'elemento fisso di contatto, dette prima e seconda posizione essendo associabili a due differenti stati logici; e

- mezzi programmatori (10,88) configurati per cooperare con i mezzi attuatori per formare, se il primo dispositivo mobile è nella seconda posizione ed il primo elemento mobile di contatto e l'elemento fisso di contatto non sono saldati tra loro, una saldatura (20) tra il primo elemento mobile di contatto e l'elemento fisso di contatto.

2. Elemento di memoria secondo la rivendicazione 1, in cui i mezzi programmatori (10,88) sono inoltre configurati

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

per cooperare con i mezzi attuatori (8,10,88) per rimuovere, se il primo dispositivo mobile (14) è nella seconda posizione e tra il primo elemento mobile di contatto (18) e l'elemento fisso di contatto (6) è presente una precedente saldatura (20), detta precedente saldatura.

3. Elemento di memoria elettromeccanico secondo la rivendicazione 1 o 2, in cui il primo elemento deformabile (16;96;106) è formato almeno in parte di un primo materiale, l'elemento fisso di contatto (6) ed il primo elemento mobile di contatto (18) essendo formati, rispettivamente, di un secondo ed un terzo materiale; ed in cui, quando il primo dispositivo mobile (14) è nella seconda posizione, il primo elemento mobile di contatto e l'elemento fisso di contatto definiscono una superficie di contatto (SC), i mezzi programmatori (10,88) essendo configurati per far fluire una corrente di programmazione attraverso detta superficie di contatto, causando un incremento di temperatura della superficie di contatto; ed in cui almeno un materiale tra il secondo ed il terzo materiale ha una temperatura di fusione inferiore alla temperatura di fusione del primo materiale, detto incremento di temperatura della superficie di contatto essendo tale da causare una fusione di detto almeno un materiale.

4. Elemento di memoria secondo la rivendicazione 3, in

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

cui il primo elemento deformabile (96) è formato da una prima regione (98), formata del primo materiale, e da una seconda regione (100), formata di un quarto materiale, il primo ed il quarto materiale avendo differenti coefficienti di dilatazione termica, la prima e la seconda regione essendo tali per cui un incremento di temperatura del primo elemento deformabile causa una flessione del primo elemento deformabile in direzione dell'elemento fisso di contatto (6).

5. Elemento di memoria secondo la rivendicazione 4, in cui i mezzi attuatori (10,88) ed il primo elemento deformabile (96) definiscono, quando il primo dispositivo mobile (14) è nella prima posizione, un cammino conduttivo chiuso, i mezzi attuatori essendo inoltre configurati per far fluire una corrente di attuazione lungo detto cammino conduttivo chiuso, in maniera tale da causare detto incremento di temperatura del primo elemento deformabile.

6. Elemento di memoria secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 3, in cui il primo elemento deformabile (16) definisce una prima piastra di un condensatore (C1), ed i mezzi attuatori comprendono un primo elemento conduttivo (4), il quale è solidale al corpo di supporto fisso (2) e definisce una seconda piastra di detto condensatore, ed un circuito di polarizzazione (8) atto a polarizzare detto condensatore, in maniera tale da

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

applicare una forza elettrostatica al primo elemento deformabile.

7. Elemento di memoria secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il primo elemento mobile di contatto è definito dal primo elemento deformabile (16).

8. Elemento di memoria secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 6, in cui il primo dispositivo mobile (14) comprende inoltre un elemento addizionale di contatto (18), il quale è vincolato al primo elemento deformabile (16) e definisce detto primo elemento mobile di contatto.

9. Elemento di memoria secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui il corpo di supporto fisso (2) definisce una cavità (12,142), il primo dispositivo mobile (14) estendendosi all'interno di detta cavità.

10. Elemento di memoria secondo la rivendicazione 9, in cui il primo elemento deformabile (16;96) si estende a sbalzo dal corpo di supporto fisso (2).

11. Elemento di memoria secondo la rivendicazione 9, in cui la cavità (12) è delimitata da una superficie (S) definita dal corpo di supporto fisso (2); ed in cui il primo elemento deformabile (106) comprende una prima ed una seconda porzione a bassa rigidità (107a,107b) ed una porzione ad alta rigidità (107c), la porzione ad alta rigidità essendo interposta tra la prima e la seconda porzione a bassa rigidità, la prima e la seconda porzione a

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

bassa rigidità essendo vincolate al corpo di supporto fisso in maniera tale per cui la porzione ad alta rigidità sovrasta detta superficie, i mezzi attuatori (4,8,70) essendo atti a deformare la prima e la seconda porzione a bassa rigidità in maniera tale da causare una traslazione della porzione ad alta rigidità lungo una direzione sostanzialmente perpendicolare a detta superficie.

12. Elemento di memoria secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 9 a 11, in cui la cavità (142) è chiusa da un elemento sigillante (145) e contiene un fluido (144;146).

13. Elemento di memoria secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente inoltre un secondo dispositivo mobile (15), il quale include un secondo elemento deformabile (66) e definisce un secondo elemento mobile di contatto (68), i mezzi attuatori (8,10,88) essendo inoltre configurati per deformare il secondo elemento deformabile in modo da disporre il secondo dispositivo mobile in una terza posizione, in cui il secondo elemento mobile di contatto è disgiunto dall'elemento fisso di contatto (6), o in una quarta posizione, in cui il secondo elemento mobile di contatto è a contatto con l'elemento fisso di contatto.

14. Memoria elettronica comprendente una pluralità di elementi di memoria (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti.

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

Elena CERBARO

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

CLAIMS

1. An electromechanical memory element comprising:

- a fixed supporting body (2);

5 - a first mobile device (14) including a first deformable element (16;96;106) constrained to said fixed supporting body, said first mobile device defining a first mobile contact element (18);

10 - a fixed contact element (6), fixed with respect to the fixed supporting body;

- actuator means (8,10,88) configured for deforming the first deformable element so as to set the first mobile device in a first position, where the first mobile contact element is separate from the fixed contact element, or in a second position, where the first mobile contact element is in contact with the fixed contact element, said first and second positions being associable to two different logic states; and

15 - programming means (10,88) configured for co-operating with the actuator means to form, if the first mobile device is in the second position and the first mobile contact element and the fixed contact element are not welded together, a weld (20) between the first mobile contact element and the fixed contact element.

25 2. The memory element according to claim 1, wherein the programming means (10,88) are moreover configured for co-operating with the actuator means (8,10,88) for removing, if the first mobile device (14) is in the second position and a previous weld (20) is present between the first mobile contact element (18) and the fixed contact element (6), said previous weld.

3. The electromechanical memory element according to claim 1

or claim 2, wherein the first deformable element (16;96;106) is made at least in part of a first material, the fixed contact element (6) and the first mobile contact element (18) being made, respectively, of a second material and a third material; and wherein, when the first mobile device (14) is in the second position, the first mobile contact element and the fixed contact element define a contact surface (SC), the programming means (10,88) being configured for causing a programming current to flow through said contact surface, causing an increase in temperature of the contact surface; and wherein at least one material between the second and third materials has a melting point lower than the melting point of the first material, said increase in temperature of the contact surface being such as to cause melting of said at least one material.

4. The memory element according to Claim 3, wherein the first deformable element (96) is formed by a first region (98), made of the first material, and by a second region (100), made of a fourth material, the first and fourth materials having different coefficients of thermal expansion, the first and second regions being such that an increase in temperature of the first deformable element causes bending of the first deformable element in the direction of the fixed contact element (6).

5. The memory element according to claim 4, wherein the actuator means (10,88) and the first deformable element (96) define, when the first mobile device (14) is in the first position, a closed conductive path, the actuator means being moreover configured for causing an actuation current to flow along said closed conductive path in such a way as to cause said increase in temperature of the first deformable element.

6. The memory element according to any one of claims 1 to 3, wherein the first deformable element (16) defines a first plate of a capacitor (C1), and the actuator means comprise a first conductive element (4), which is fixed with respect to the fixed supporting body (2) and defines a second plate of said capacitor, and a biasing circuit (8) designed to bias said capacitor in such a way as to apply an electrostatic force to the first deformable element.

7. The memory element according to any one of the preceding claims, wherein the first mobile contact element is defined by the first deformable element (16).

8. The memory element according to any one of claims 1 to 6, wherein the first mobile device (14) further comprises an additional contact element (18), which is constrained to the first deformable element (16) and defines said first mobile contact element.

9. The memory element according to any one of the preceding claims, wherein the fixed supporting body (2) defines a cavity (12,142), the first mobile device (14) extending inside said cavity.

10. The memory element according to claim 9, wherein the first deformable element (16;96) extends in cantilever fashion from the fixed supporting body (2).

11. The memory element according to claim 9, wherein the cavity (12) is delimited by a surface (S) defined by the fixed supporting body (2); and wherein the first deformable element (106) comprises a first low-stiffness portion (107a) and a

second low-stiffness portion (107b) and a high-stiffness portion (107c), the high-stiffness portion being arranged between the first and second low-stiffness portions, the first and second low-stiffness portions being constrained to the fixed supporting body in such a way that the high-stiffness portion overlies said surface, the actuator means (4,8,70) being designed to deform the first and second low-stiffness portions in such a way as to cause a translation of the high-stiffness portion in a direction substantially perpendicular to said surface.

12. The memory element according to any one of claims 9 to 11, wherein the cavity (142) is closed by a sealing element (145) and contains a fluid (144;146).

13. The memory element according to any one of the preceding claims, further comprising a second mobile device (15), which includes a second deformable element (66) and defines a second mobile contact element (68), the actuator means (8,10,88) being moreover configured for deforming the second deformable element so as to set the second mobile device in a third position, where the second mobile contact element is separate from the fixed contact element (6), or in a fourth position, where the second mobile contact element is in contact with the fixed contact element.

14. An electronic memory comprising a plurality of memory elements (1) according to any one of the preceding claims.

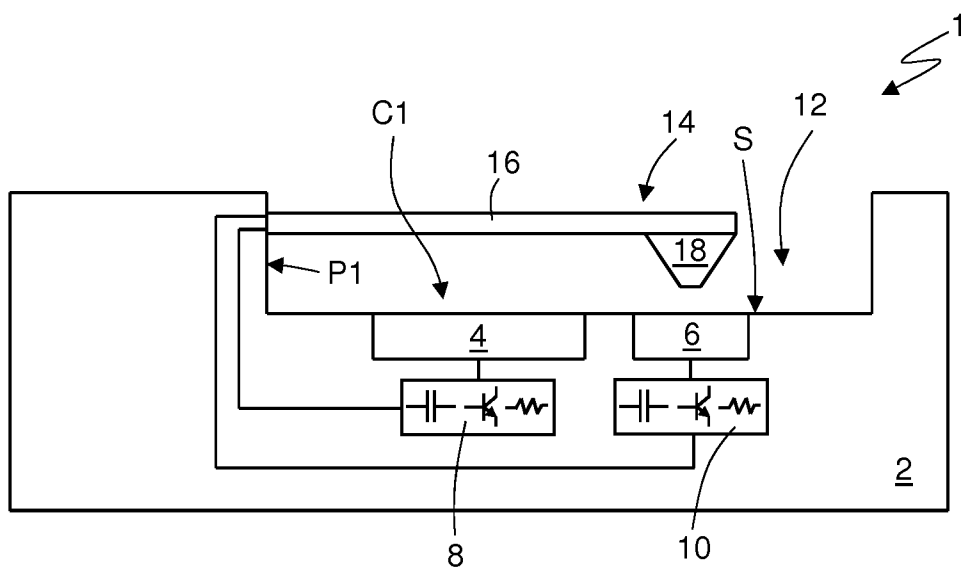


Fig.1

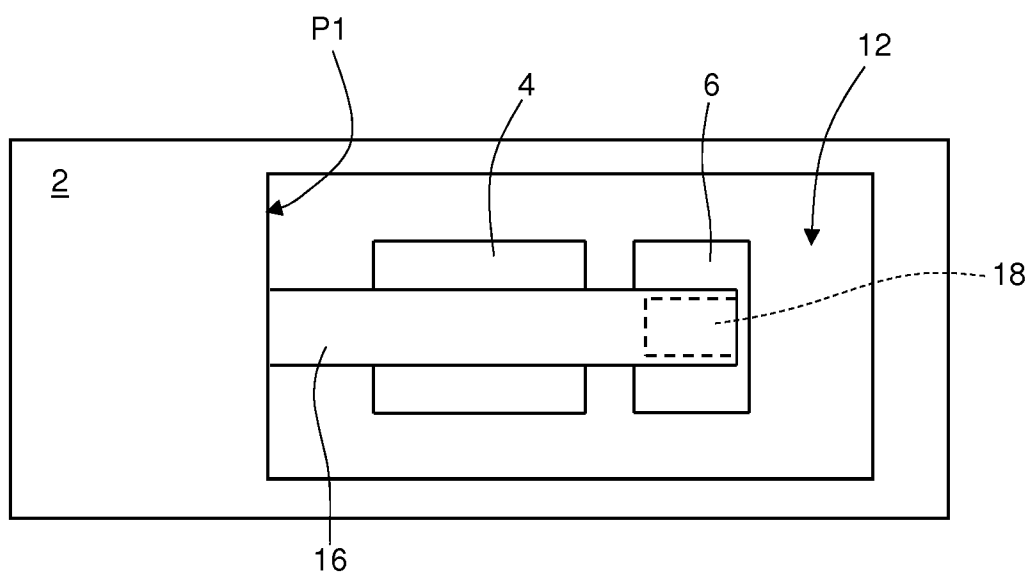
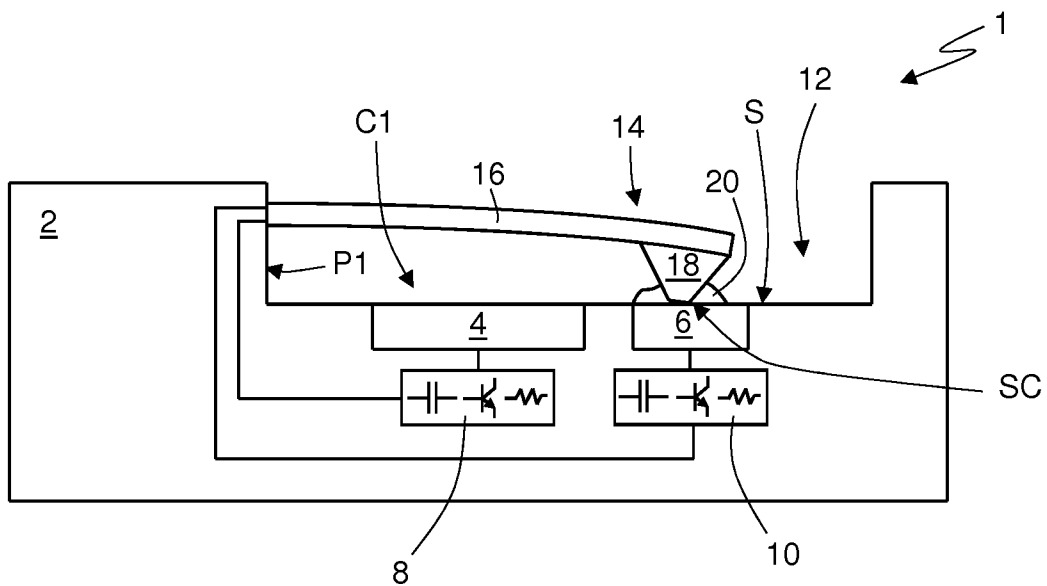
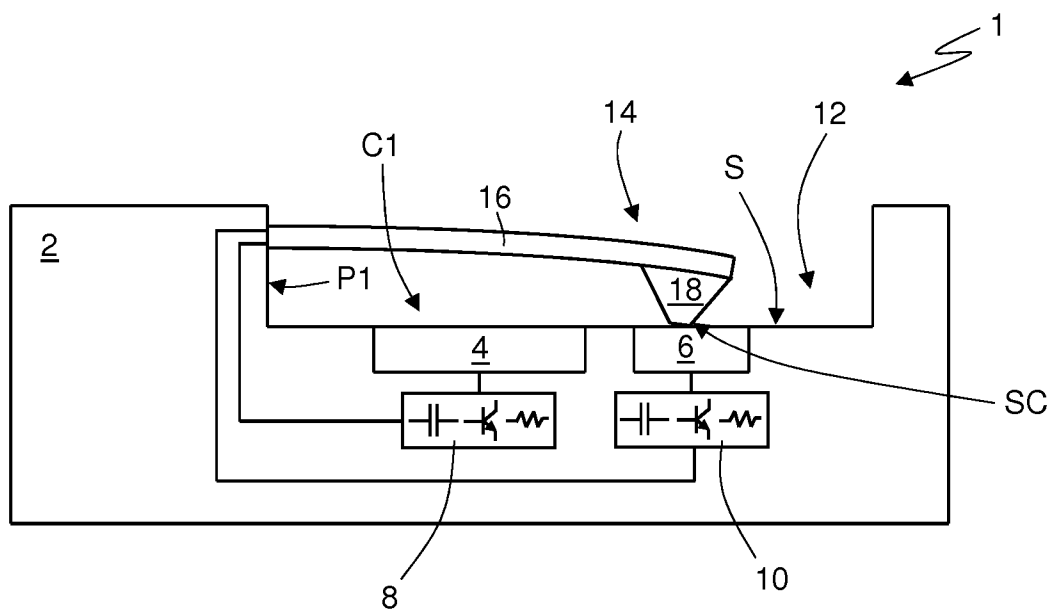


Fig. 2



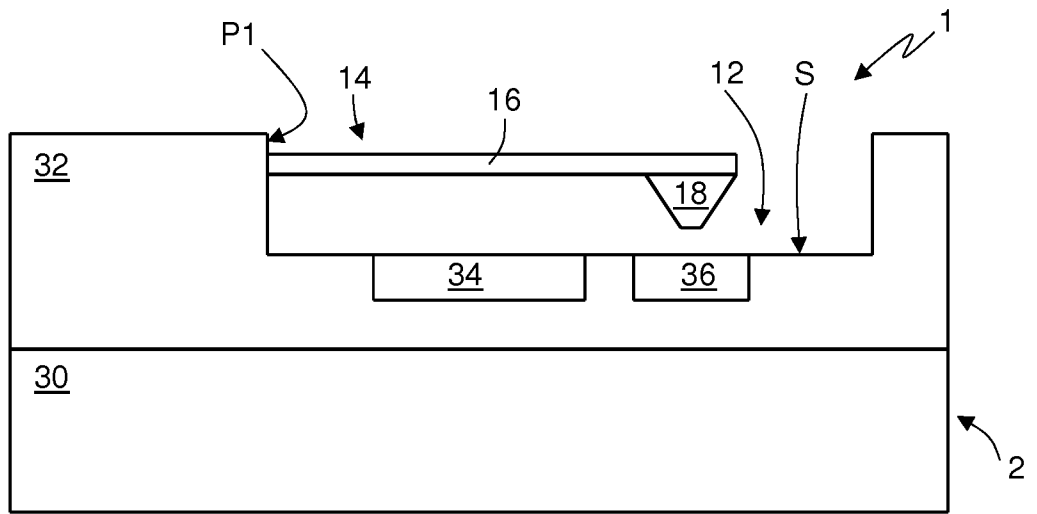


Fig.5

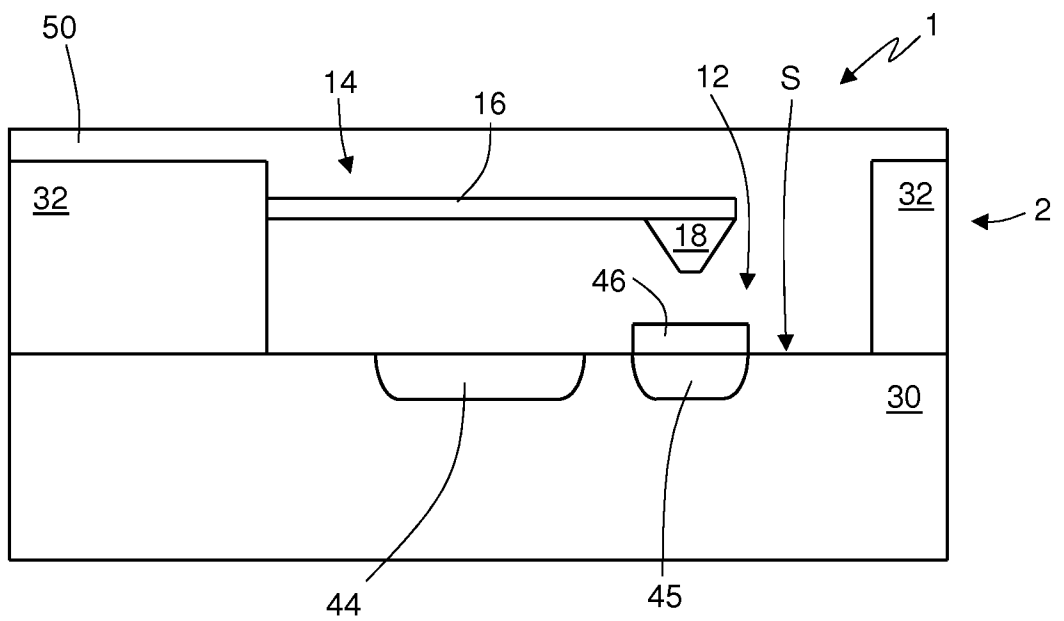


Fig.6

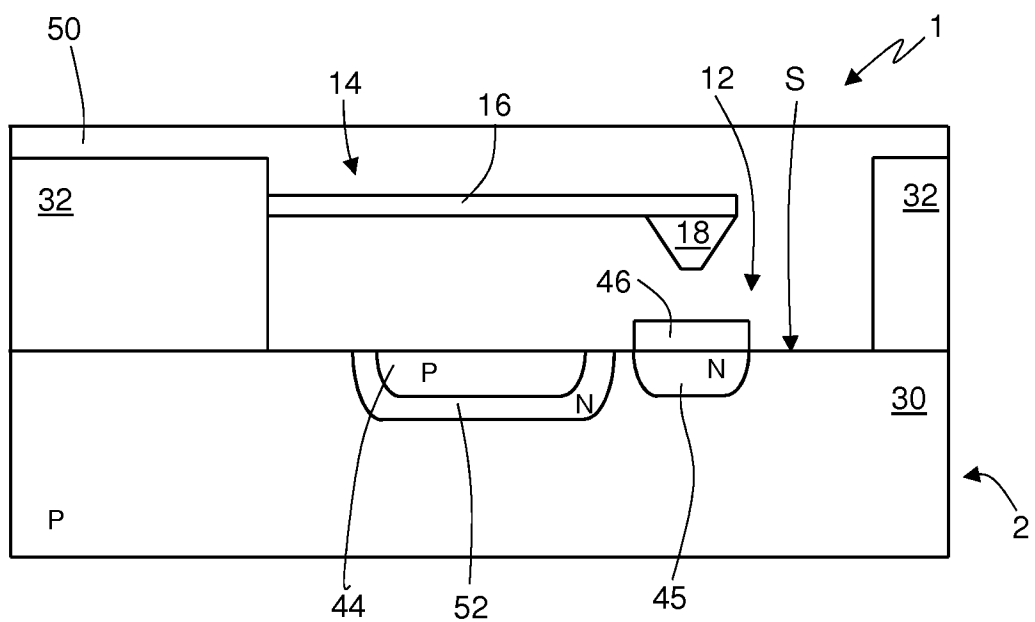


Fig.7

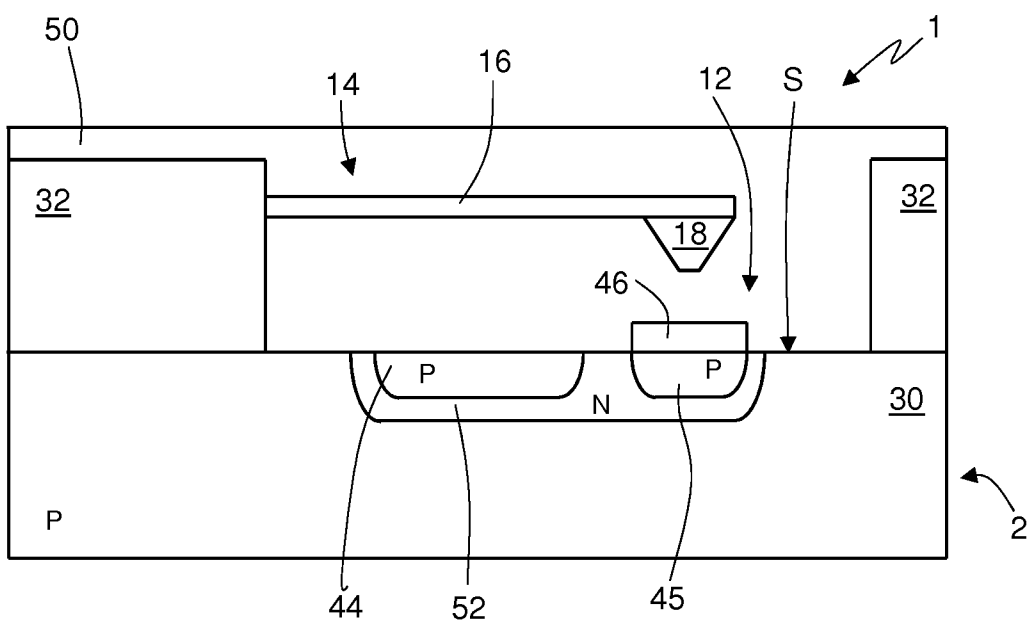


Fig.8

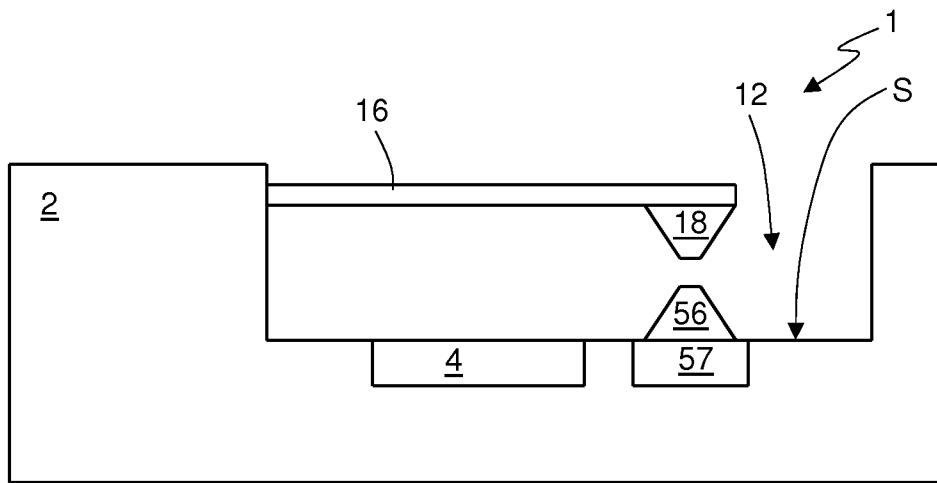


Fig.9a

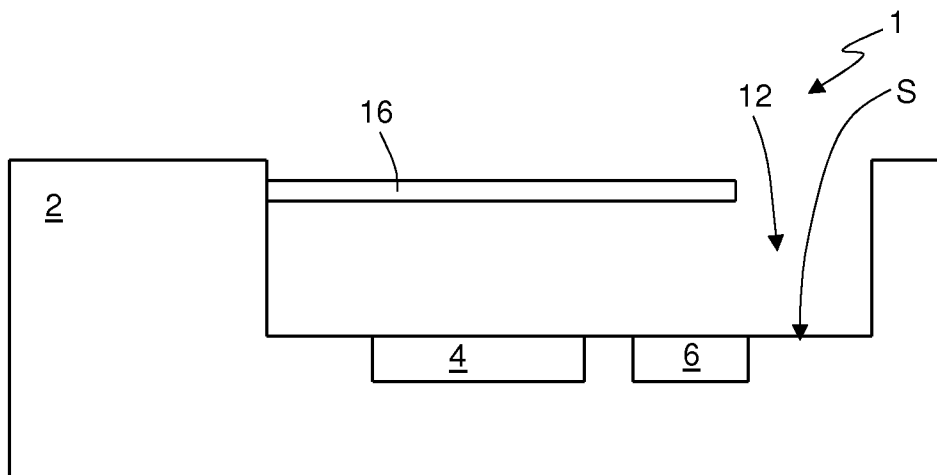


Fig.9b

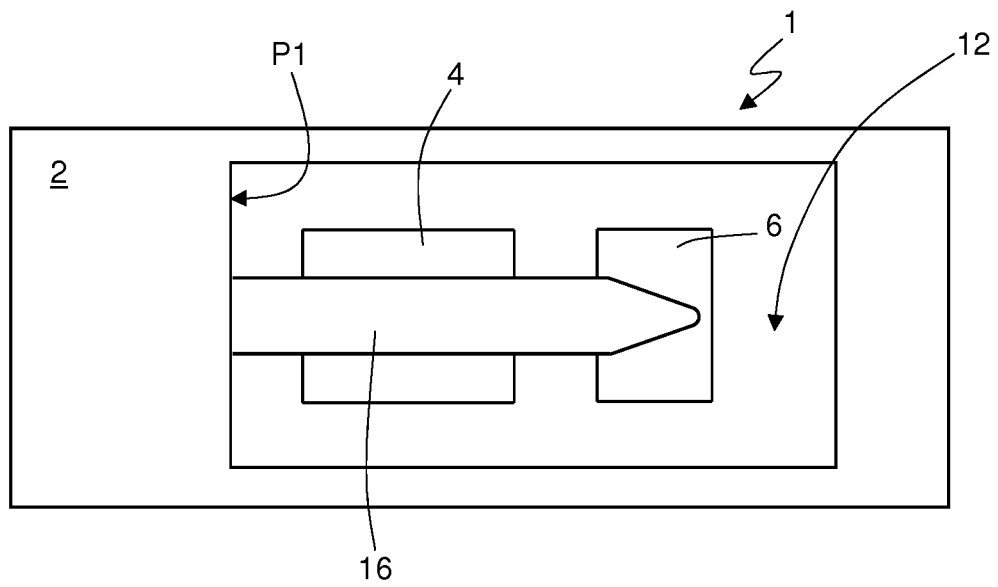


Fig.9c

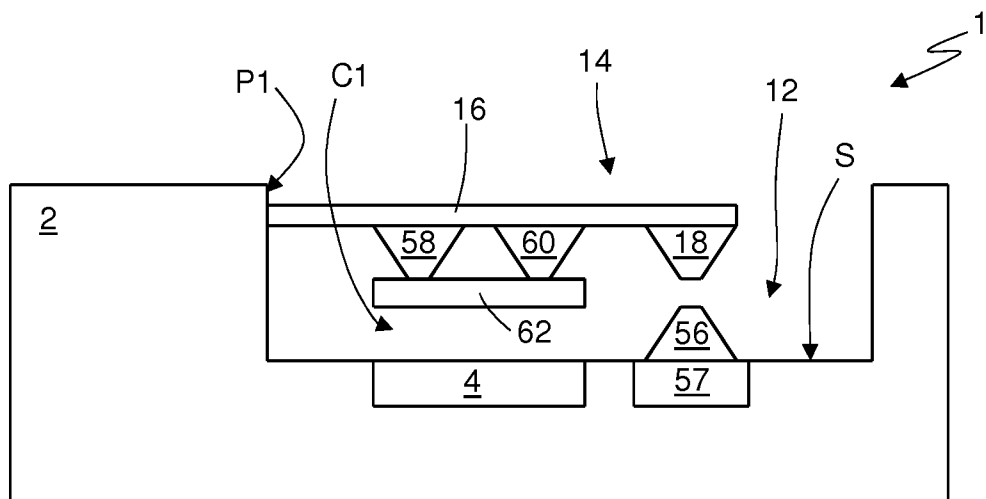


Fig.10

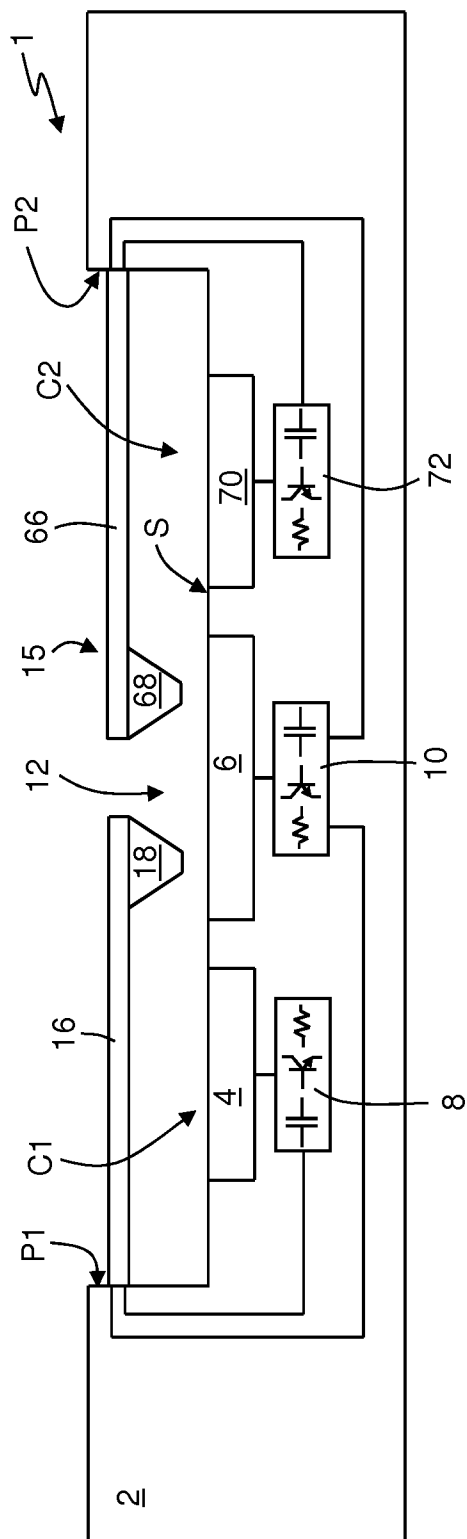


Fig. 11

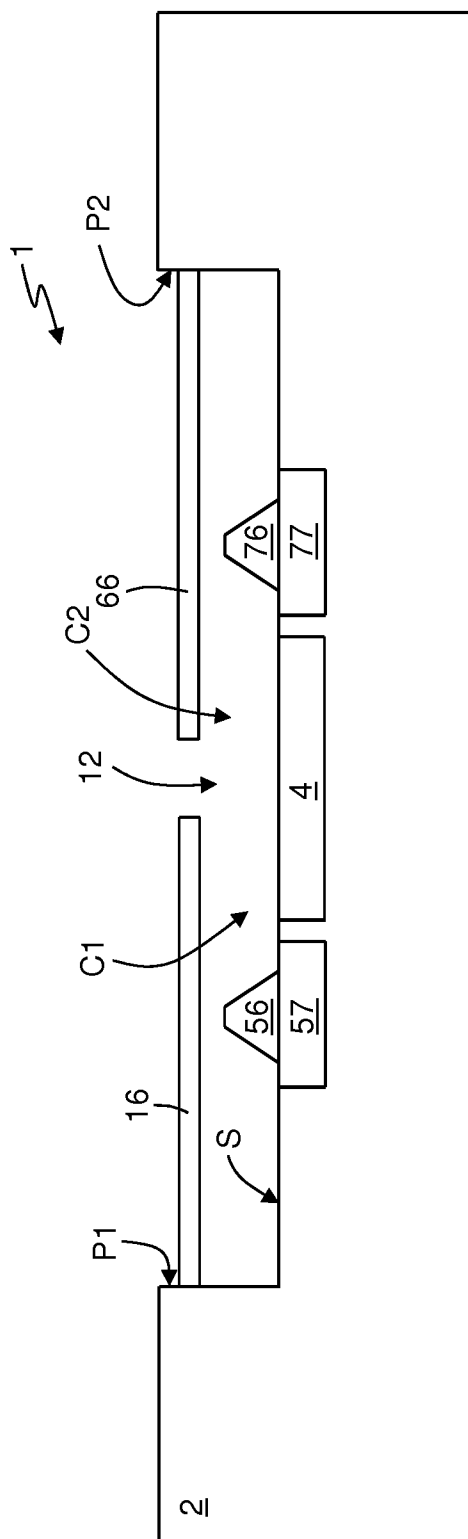


Fig. 12

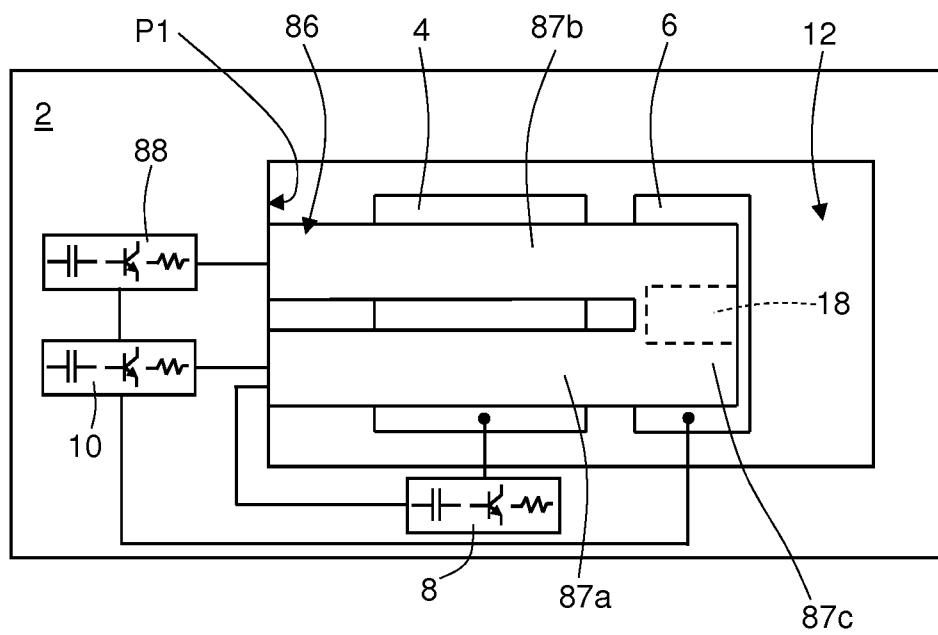


Fig.13

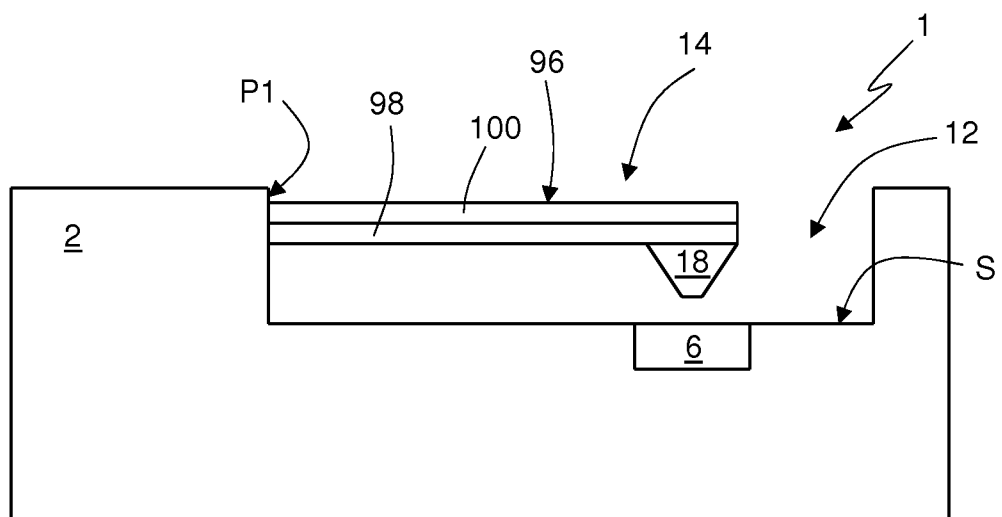


Fig.14

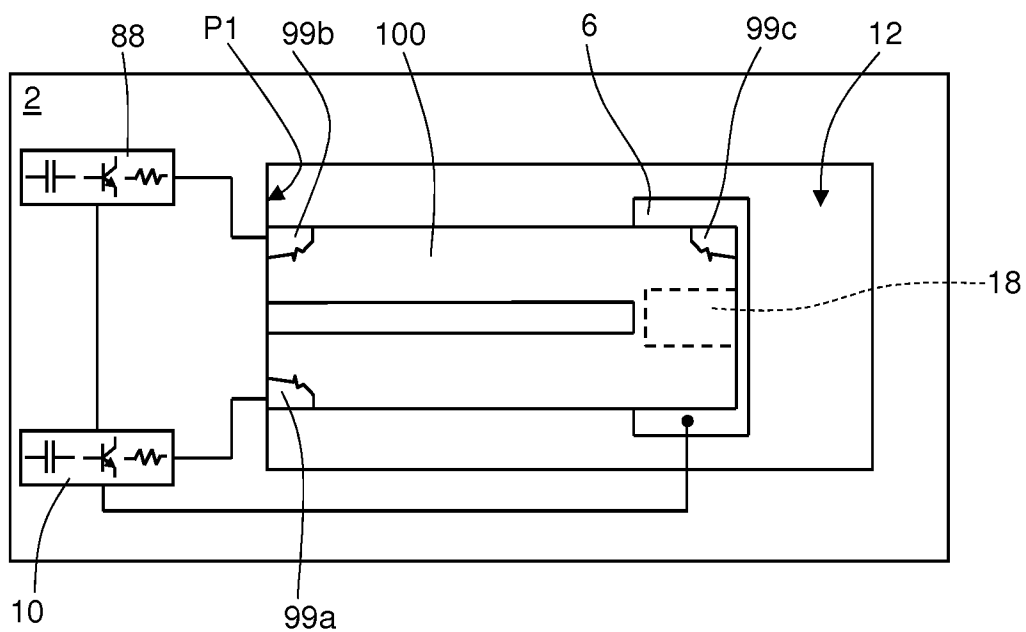


Fig.15

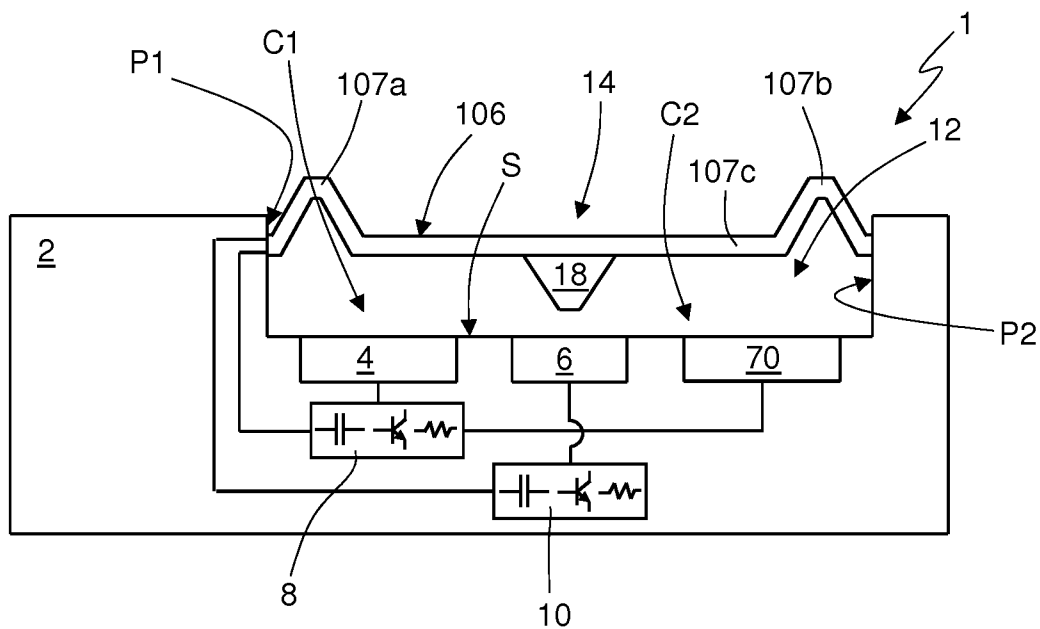


Fig.16

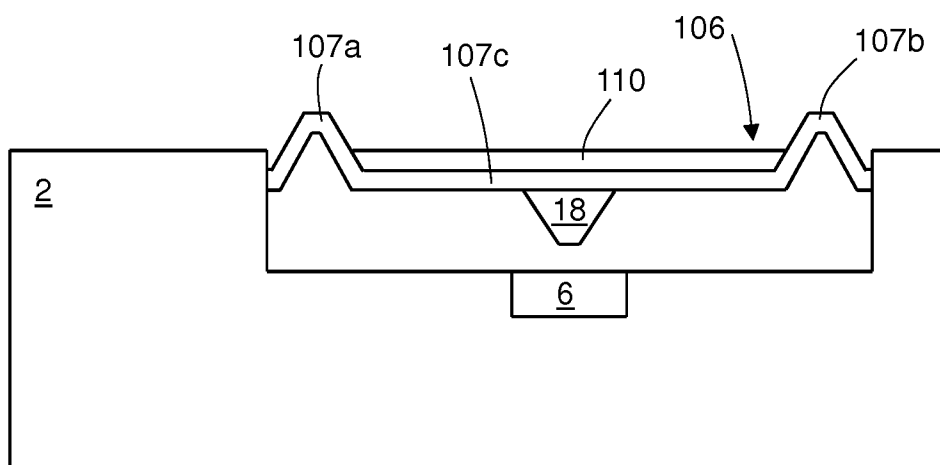


Fig.17

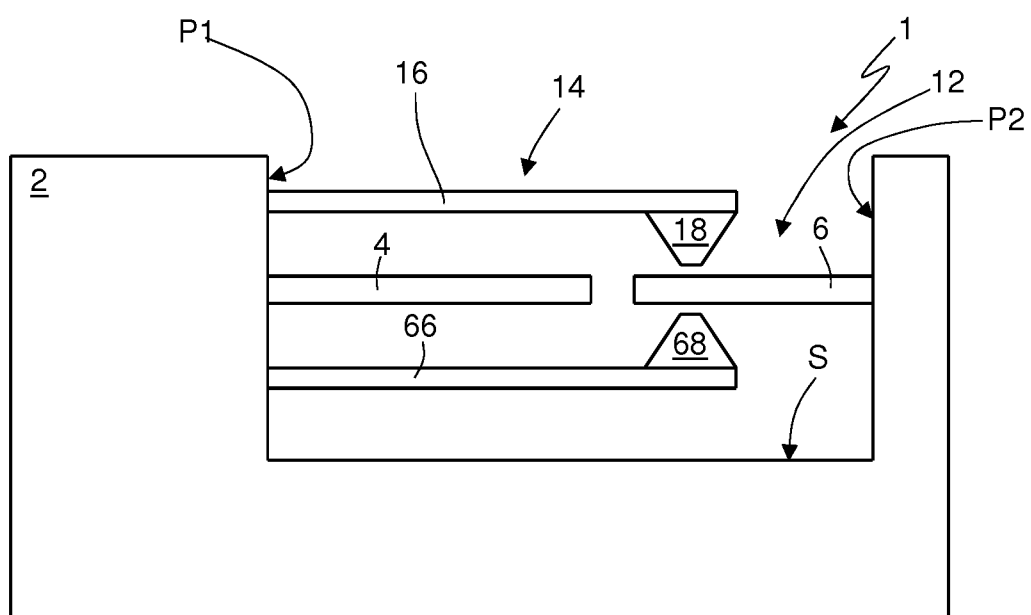


Fig. 18

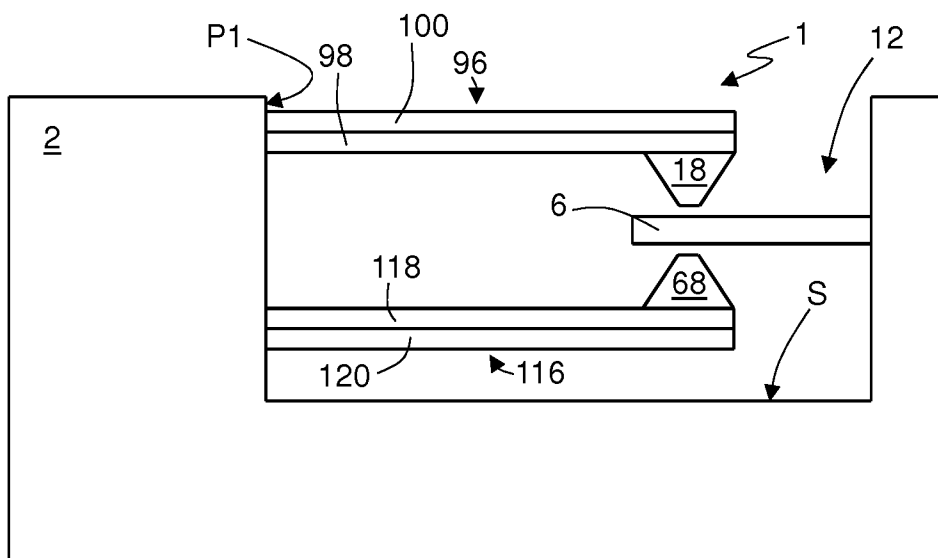


Fig.19

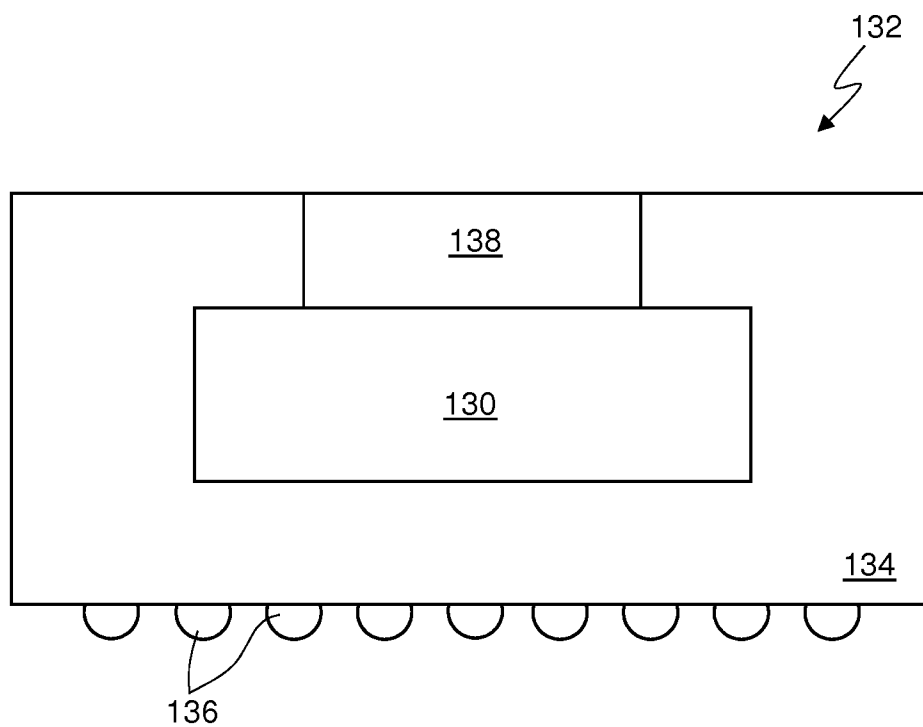


Fig. 20

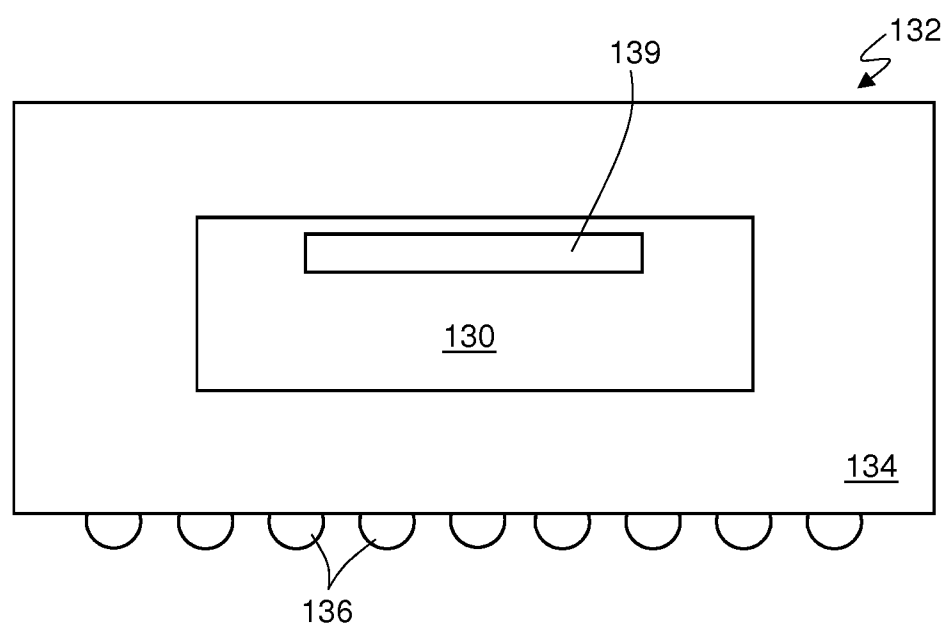


Fig. 21

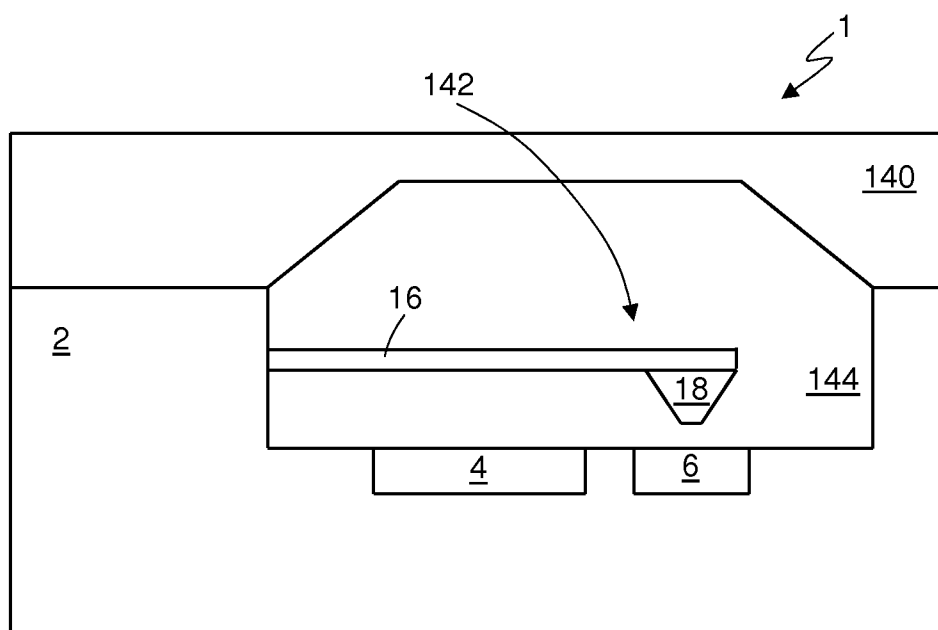


Fig. 22

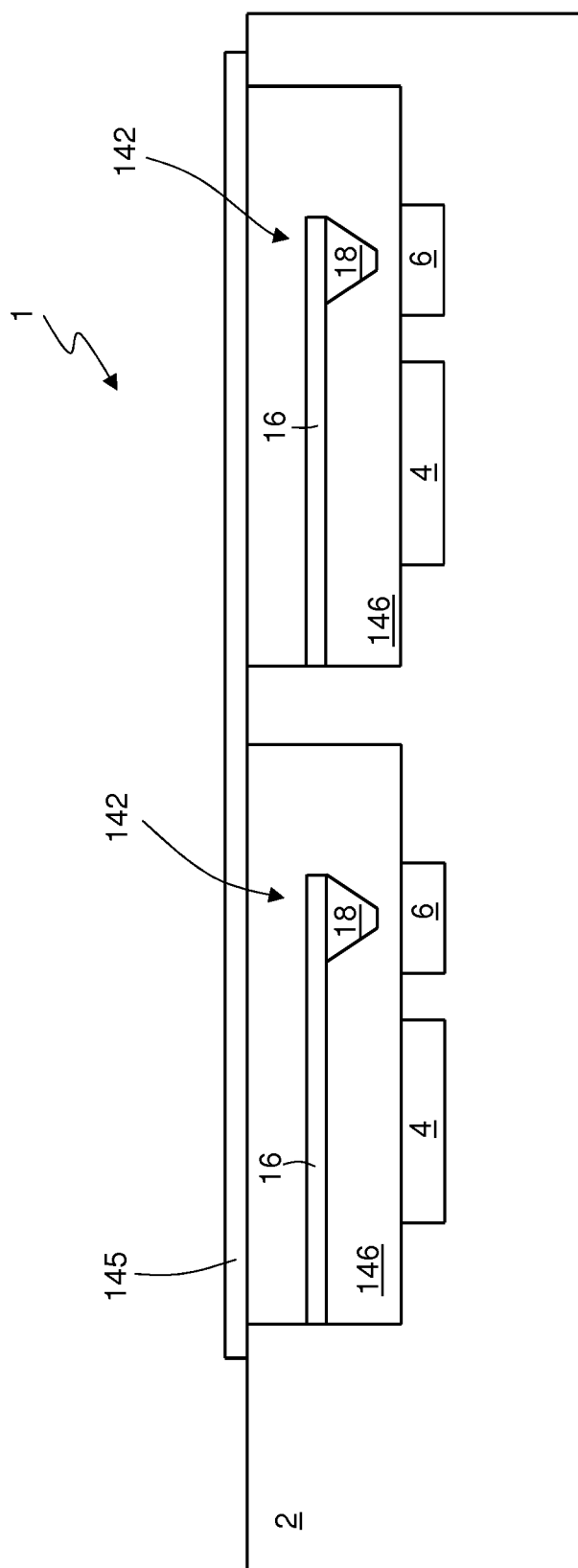


Fig.23

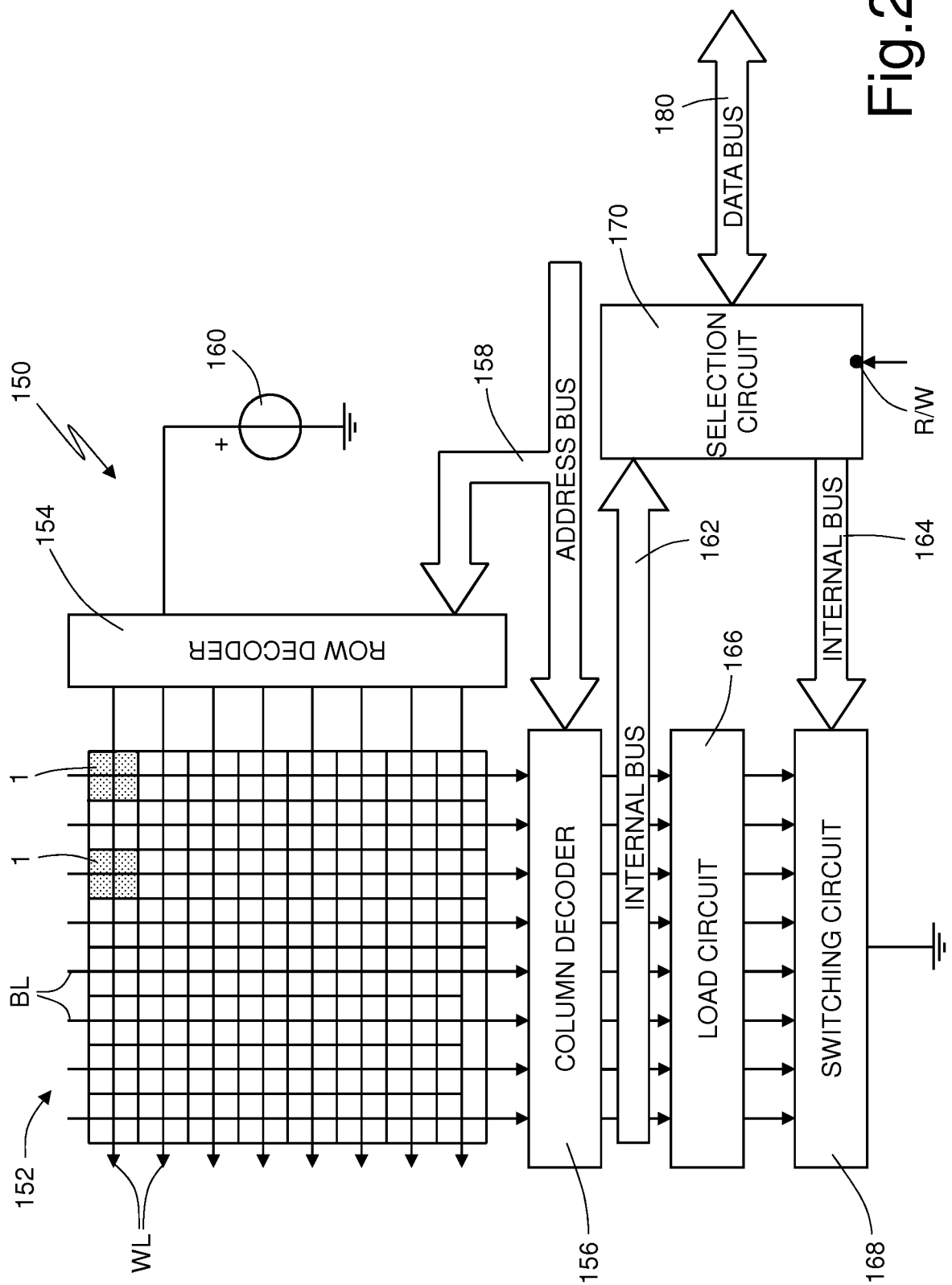


Fig.24

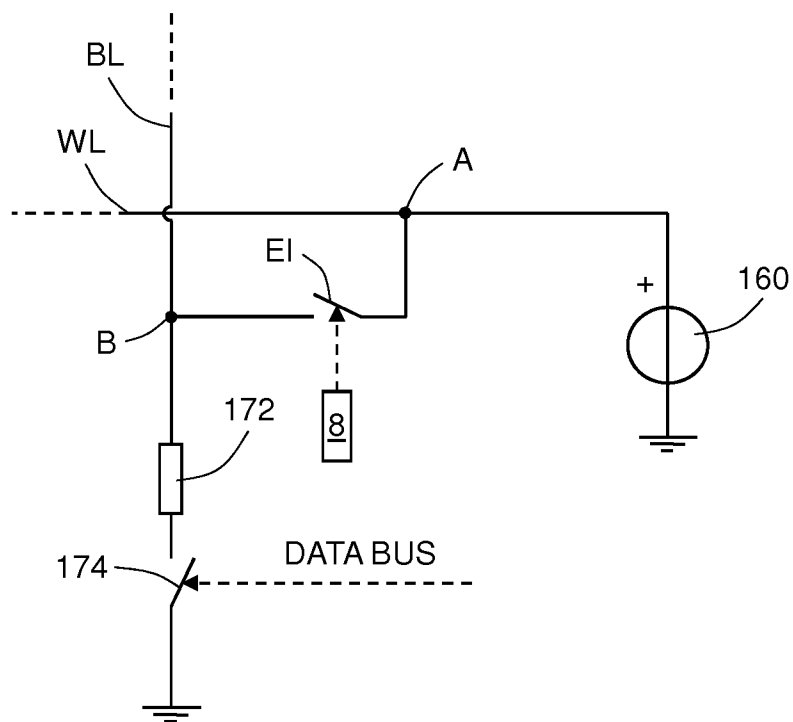


Fig.25

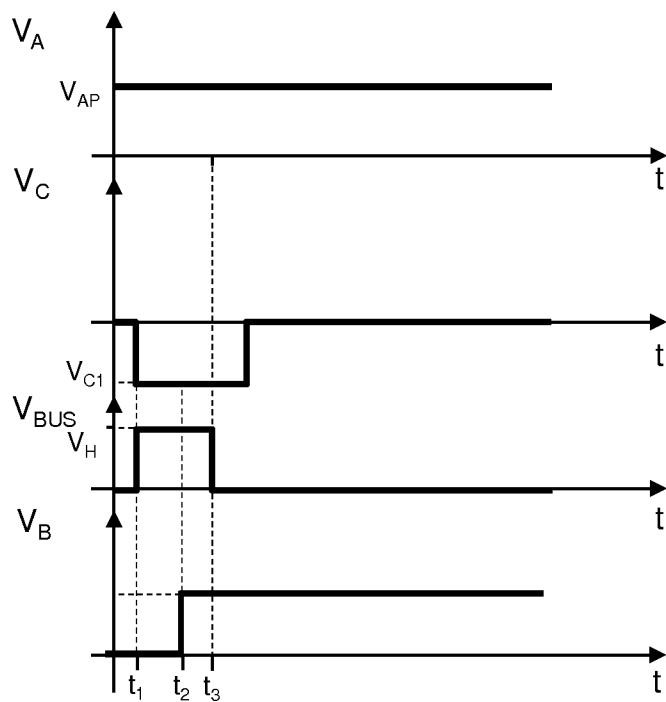


Fig.26

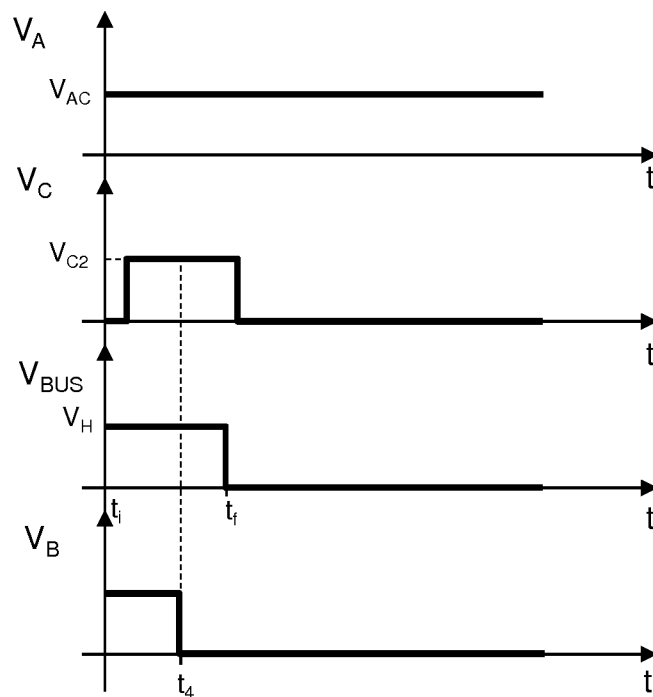


Fig.27

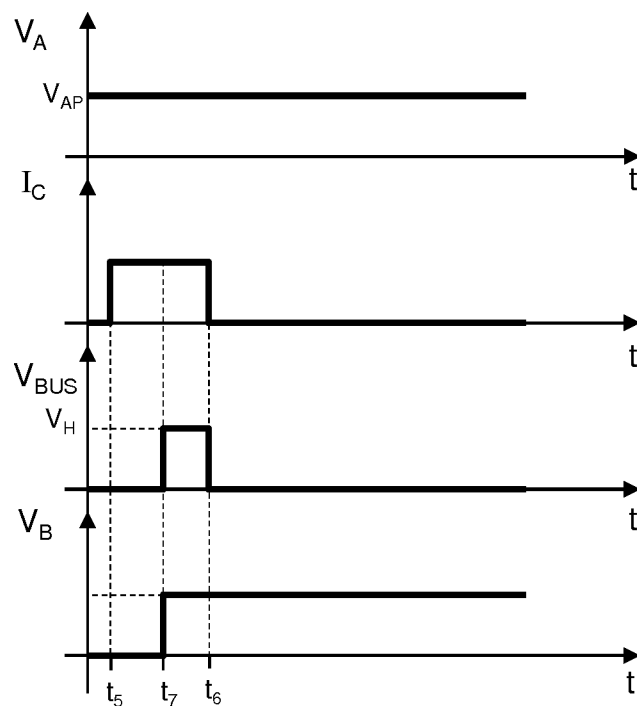


Fig.28

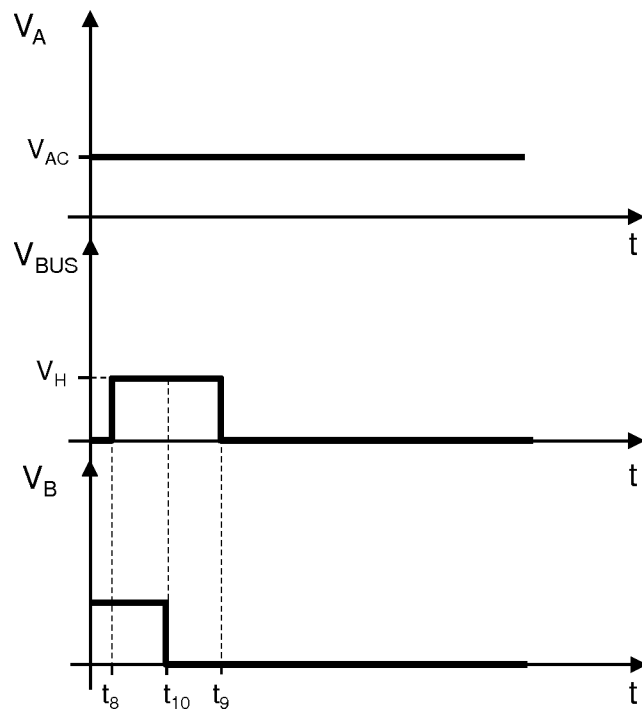


Fig.29

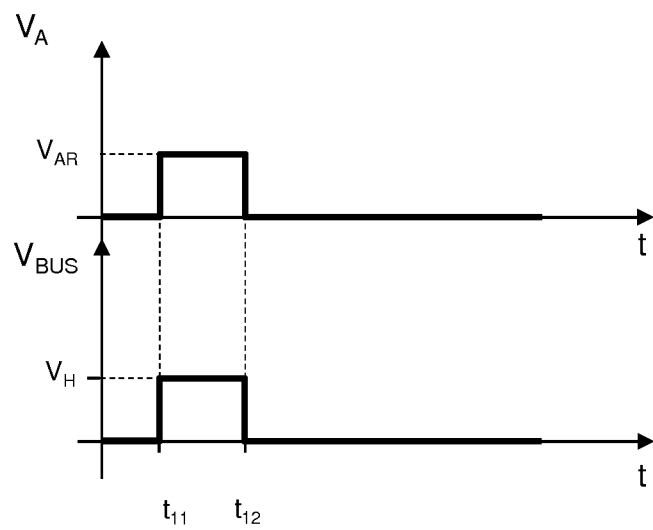


Fig.30