

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102022000014548
Data Deposito	11/07/2022
Data Pubblicazione	11/01/2024

Classifiche IPC

Titolo

STRUTTURA DI RILEVAMENTO PER UN ACCELEROMETRO MEMS AVENTE PRESTAZIONI MIGLIORATE E RELATIVO PROCEDIMENTO DI FABBRICAZIONE

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"STRUTTURA DI RILEVAMENTO PER UN ACCELEROMETRO MEMS AVENTE
PRESTAZIONI MIGLIORATE E RELATIVO PROCEDIMENTO DI
5 FABBRICAZIONE"

di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA C. OLIVETTI 2

20864 AGRATE BRIANZA (MB)

10 Inventori: GATTERE Gabriele, RIZZINI Francesco, VERCESI
Federico

* * *

La presente invenzione è relativa ad una struttura di
rilevamento per un accelerometro MEMS avente prestazioni
15 migliorate e ad un relativo procedimento di fabbricazione.

Come noto, gli accelerometri realizzati in tecnologia
MEMS ("Micro Electro-Mechanical Systems") sono largamente
diffusi grazie alle ridotte dimensioni e alla elevata
sensibilità di rilevamento.

20 Sono noti accelerometri MEMS aventi, per ciascuna
direzione di rilevamento, una struttura di rilevamento
comprendente una singola massa mobile sospesa su un
substrato. La massa mobile è libera di muoversi rispetto al
substrato, lungo la direzione di rilevamento.

25 La massa mobile è accoppiata capacitivamente ad uno o

più elettrodi di statore, fissati al substrato, formando così uno o più condensatori variabili, aventi una capacità di riposo.

In uso, quando l'accelerometro MEMS è soggetto ad una
5 accelerazione lungo la direzione di rilevamento, la massa mobile si sposta rispetto alla posizione di riposo, variando quindi la capacità dei condensatori variabili rispetto alla condizione di riposo.

Al fine di misurare tale variazione di capacità, è noto
10 incorporare nell'accelerometro MEMS un circuito dedicato di cancellazione del segnale di modo comune, come ad esempio descritto nel brevetto US 11,143,670 B2.

Tuttavia, la presenza di un circuito dedicato di
cancellazione del segnale di modo comune comporta un elevato
15 consumo energetico dell'accelerometro MEMS.

Secondo un altro approccio, un accelerometro MEMS ha una struttura di rilevamento comprendente, per ciascuna direzione di rilevamento, una prima e una seconda massa mobile sospese su un substrato e libere di muoversi, rispetto
20 al substrato, lungo la direzione di rilevamento.

La prima e la seconda massa mobile sono disaccoppiate meccanicamente e isolate elettricamente l'una con l'altra.

La prima massa mobile forma un primo elettrodo di rotore accoppiato ad un primo elettrodo di statore, fissato al
25 substrato, e la seconda massa mobile forma un secondo

elettrodo di rotore accoppiato ad un secondo elettrodo di statore, fissato al substrato.

Il primo e il secondo elettrodo di statore sono collegati elettricamente tra loro.

5 In uso, un circuito di pilotaggio fornisce un primo segnale di lettura alla prima massa mobile e un secondo segnale di lettura alla seconda massa mobile. Il secondo segnale di lettura è sfasato di 180° rispetto al primo segnale di lettura.

10 In questo modo, l'accelerometro MEMS noto fornisce un segnale di rilevamento di accelerazione in cui il segnale di modo comune viene cancellato a livello di piastrina, senza l'utilizzo di un circuito specifico di cancellazione del segnale di modo comune.

15 Tuttavia, la Richiedente ha verificato che tali accelerometri MEMS noti a doppia massa mobile sono soggetti ad errori di rilevamento di accelerazione. In dettaglio, la Richiedente ha verificato che il segnale di rilevamento fornito dall'accelerometro MEMS noto ha una bassa stabilità
20 in funzione della temperatura, anche in assenza di una accelerazione esterna.

Gli accelerometri MEMS noti hanno quindi una bassa affidabilità di rilevamento.

Scopo della presente invenzione è quello di superare
25 gli svantaggi della tecnica nota.

Secondo la presente invenzione vengono quindi forniti una struttura di rilevamento per un accelerometro MEMS, un procedimento di fabbricazione della struttura di rilevamento e un accelerometro MEMS, come definiti nelle rivendicazioni
5 allegate.

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

10 - la figura 1 mostra uno schema a blocchi del presente accelerometro MEMS comprendente una struttura di rilevamento e una unità di controllo;

 - la figura 2 mostra una vista in pianta dall'alto della struttura di rilevamento di figura 1, secondo una forma
15 di realizzazione;

 - la figura 3 mostra una sezione trasversale della struttura di rilevamento di figura 2, a riposo, lungo una linea di sezione III-III di figura 2;

 - la figura 4 mostra una sezione trasversale della
20 struttura di rilevamento di figura 2, in uso, lungo la linea di sezione III-III di figura 2;

 - la figura 4A mostra un equivalente elettrico della struttura di rilevamento di figura 2, in uso;

 - le figure 5-10 mostrano sezioni trasversali della
25 struttura di rilevamento di figura 2, in fasi di

fabbricazione successive, lungo la linea di sezione III-III di figura 2;

- la figura 11 mostra una vista in pianta dall'alto della struttura di rilevamento di figura 1, secondo una
5 diversa forma di realizzazione; e

- la figura 12 mostra una sezione trasversale della struttura di rilevamento di figura 11, a riposo, lungo una linea di sezione XII-XII di figura 11.

La descrizione che segue fa riferimento alla
10 disposizione mostrata; di conseguenza, espressioni quali "sopra", "sotto", "superiore", "inferiore", "destra", "sinistra" sono relative alle figure allegate e non devono essere interpretate in modo limitativo.

La figura 1 mostra uno schema a blocchi di un
15 accelerometro MEMS 20, qui di tipo monoassiale, comprendente una struttura di rilevamento 21 e una unità di controllo 22, reciprocamente accoppiate.

In dettaglio, le figure 2 e 3 mostrano una forma di realizzazione della struttura di rilevamento 21 in un sistema
20 di riferimento Cartesiano XYZ comprendente un primo asse X, un secondo asse Y e un terzo asse Z.

La struttura di rilevamento 21 è formata in tecnologia MEMS, tramite tecniche di microlavorazione, a partire da un corpo di materiale semiconduttore, ad esempio silicio.

25 La struttura di rilevamento 21 comprende un substrato

o struttura di supporto 24, ad esempio comprendente silicio, e avente una superficie 24A, e una prima e una seconda massa mobile 26, 27, ad esempio di silicio o polisilicio, sospese sul substrato 24.

5 La struttura di rilevamento 21 comprende inoltre una o più regioni di isolamento, qui tre regioni di isolamento 28, di materiale elettricamente isolante, che si estendono tra la prima massa mobile 26 e la seconda massa mobile 27.

10 In questa forma di realizzazione, le regioni di isolamento 28 accoppiano meccanicamente, in particolare rigidamente, tra loro la prima e la seconda massa mobile 26, 27.

 In pratica, la prima e la seconda massa mobile 26, 27 sono qui tra loro solidali.

15 La prima massa mobile 26 e la seconda massa mobile 27 sono accoppiate a rispettive regioni di ancoraggio 30A, 30B, fissate al substrato 24, tramite rispettive connessioni elastiche ("flexures") 32A, 32B.

20 Le connessioni elastiche 32A, 32B, ad esempio qui di materiale semiconduttore quale silicio o polisilicio, possono essere elementi elastici lineari o ripiegati ("folded") e sono configurate per permettere il movimento della prima e, rispettivamente, della seconda massa mobile 26, 27 con uno o più gradi di libertà, rispetto al substrato
25 24, in risposta ad una accelerazione.

In questa forma di realizzazione, le connessioni elastiche 32A, 32B sono cedevoli lungo il primo asse X e sono rigide lungo il secondo e il terzo asse Y, Z, in modo tale da permettere il movimento della prima e della seconda
5 massa mobile 26, 27, in prima approssimazione, solamente lungo il primo asse X.

In dettaglio, le connessioni elastiche 32A si estendono ciascuna parallelamente al secondo asse Y tra la prima massa mobile 26 e una rispettiva regione di ancoraggio 30A. Le
10 connessioni elastiche 32B si estendono ciascuna parallelamente al secondo asse Y tra la seconda massa mobile 27 e una rispettiva regione di ancoraggio 30B.

La prima e la seconda massa mobile 26, 27 hanno ciascuna una rispettiva porzione di rilevamento 34, 35 e una
15 rispettiva porzione di accoppiamento 60, 61, tra loro contigue.

La porzione di rilevamento 34 della prima massa mobile 26 ha una forma sostanzialmente a cornice in vista in pianta dall'alto.

20 Un'apertura 36, qui di forma sostanzialmente rettangolare in vista in pianta dall'alto, si estende attraverso la porzione di rilevamento 34 della prima massa mobile 26, lungo il terzo asse Z, per tutto lo spessore della porzione di rilevamento 34.

25 In dettaglio, la porzione di rilevamento 34 della prima

massa mobile 26 ha una prima e una seconda parete interna 34A, 34B definenti, su due lati, l'apertura 36.

In questa forma di realizzazione, la prima e la seconda parete interna 34A, 34B si estendono parallelamente al
5 secondo asse Y e formano due lati dell'apertura 36 tra loro opposti lungo il primo asse X.

La porzione di rilevamento 35 della seconda massa mobile 27 ha una forma sostanzialmente a cornice in vista in pianta dall'alto.

10 Un'apertura 37, qui di forma sostanzialmente rettangolare in vista in pianta dall'alto, si estende attraverso la porzione di rilevamento 35 della seconda massa mobile 27, lungo il terzo asse Z, per tutto lo spessore della porzione di rilevamento 35.

15 In dettaglio, la porzione di rilevamento 35 della seconda massa mobile 27 ha una prima e una seconda parete interna 35A, 35B definenti, su due lati, l'apertura 37.

In questa forma di realizzazione, la prima e la seconda parete interna 35A, 35B si estendono parallelamente al
20 secondo asse Y e formano due lati dell'apertura 37 tra loro opposti lungo il primo asse X.

La struttura di rilevamento 21 comprende inoltre un primo e un secondo elettrodo di statore 40, 41 accoppiati capacitivamente alla prima massa mobile 26, e un terzo e un
25 quarto elettrodo di statore 43, 44 accoppiati

capacitivamente alla seconda massa mobile 27.

In dettaglio, il primo, il secondo, il terzo e il quarto elettrodo di statore 40, 41, 43, 44, ad esempio di polisilicio, sono solidali al substrato 24.

5 Il primo e il secondo elettrodo di statore 40, 41 sono disposti all'interno dell'apertura 36 della prima massa mobile 26. In dettaglio, il primo e il secondo elettrodo di statore 40, 41 sono affacciati rispettivamente alla prima e alla seconda parete interna 34A, 34B della porzione di
10 rilevamento 34 della prima massa mobile 26.

 Il terzo e il quarto elettrodo di statore 43, 44 sono disposti all'interno dell'apertura 37 della seconda massa mobile 27. In dettaglio, il terzo e il quarto elettrodo di statore 43, 44 sono affacciati rispettivamente alla prima e
15 alla seconda parete interna 35A, 35B della porzione di rilevamento 35 della seconda massa mobile 27.

 La prima e la seconda parete interna 34A, 34B della prima massa mobile 26 formano un primo e, rispettivamente, un secondo elettrodo di rotore. La prima e la seconda parete
20 interna 35A, 35B della seconda massa mobile 27 formano un terzo e, rispettivamente, un quarto elettrodo di rotore.

 In pratica, il primo elettrodo di statore 40 e la prima parete interna 34A della prima massa mobile 26 formano un primo condensatore di rilevamento 50; e il secondo elettrodo
25 di statore 41 e la seconda parete interna 34B della prima

massa mobile 26 formano un secondo condensatore di rilevamento 51.

Il terzo elettrodo di statore 43 e la prima parete interna 35A della seconda massa mobile 27 formano un terzo
5 condensatore di rilevamento 53; e il quarto elettrodo di statore 44 e la seconda parete interna 35B della seconda massa mobile 27 formano un quarto condensatore di rilevamento 54.

A riposo, il primo elettrodo di statore 40 si estende
10 ad una distanza g_1 , lungo il primo asse X, dalla prima parete interna 34A della prima massa mobile 26; il secondo elettrodo di statore 41 si estende ad una distanza g_2 , lungo il primo asse X, dalla seconda parete interna 34B della prima massa mobile 26. Il terzo elettrodo di statore 43 si estende ad
15 una distanza g_3 , lungo il primo asse X, dalla prima parete interna 35A della seconda massa mobile 27; il secondo elettrodo di statore 44 si estende ad una distanza g_4 , lungo il primo asse X, dalla seconda parete interna 35B della seconda massa mobile 27.

20 Ad esempio, le distanze g_1 - g_4 possono essere ciascuna maggiore di $0,3\ \mu\text{m}$, in particolare ciascuna compresa tra $1\ \mu\text{m}$ e $4\ \mu\text{m}$.

In questa forma di realizzazione, le distanze g_1 - g_4 sono tra loro uguali.

25 Inoltre, in questa forma di realizzazione, gli

elettrodi di statore 40, 41, 43, 44 hanno una stessa area di affaccio sulle rispettive pareti interne 34A, 34B, 35A, 35B.

Di conseguenza, i condensatori di rilevamento 50, 51, 53, 54 hanno, a riposo, una stessa capacità di riposo C_0 .

5 Come sopra menzionato, la prima e la seconda massa mobile 26, 27 sono meccanicamente accoppiate tra loro tramite le regioni di isolamento 28.

Le regioni di isolamento 28 si estendono ciascuna tra la porzione di accoppiamento 60 della prima massa mobile 26
10 e la porzione di accoppiamento 61 della seconda massa mobile 27.

La porzione di accoppiamento 60 della prima massa mobile 26 si estende dalla rispettiva porzione di rilevamento 34, parallelamente al primo asse X, verso la porzione di
15 rilevamento 35 della seconda massa mobile 27. La porzione di accoppiamento 61 della seconda mobile 27 si estende dalla rispettiva porzione di rilevamento 35, parallelamente al primo asse X, verso la porzione di rilevamento 34 della prima massa mobile 26.

20 In dettaglio, la porzione di accoppiamento 60 della prima massa mobile 26 e la porzione di accoppiamento 61 della seconda massa mobile 27 si estendono a distanza l'una dall'altra lungo il terzo asse Z; in pratica, le porzioni di accoppiamento 60, 61 sono affacciate tra loro lungo il terzo
25 asse Z, formando un'intercapedine verticale 56.

Le regioni di isolamento 28 si estendono, lungo il terzo asse Z, nell'intercapedine verticale 56.

Nella forma di realizzazione mostrata, le regioni di isolamento 28 sono formate ciascuna da una porzione di separazione 28A e una porzione di rivestimento 28B che
5 riveste la porzione di separazione 28A.

La porzione di separazione 28A e la porzione di rivestimento 28B possono essere di materiali attaccabili ("etchable") da specie chimiche differenti, come discusso
10 successivamente in riferimento alle figure 5-9. Ad esempio, la porzione di separazione 28A può essere un ossido, ad esempio ossido di silicio, e la porzione di rivestimento 28B può essere un nitruro, ad esempio nitruro di silicio.

In dettaglio, la porzione di separazione 28A ha un lato
15 inferiore estendentesi a contatto con la porzione di accoppiamento 60 della prima massa mobile 26.

La porzione di rivestimento 28B ricopre lateralmente e superiormente la porzione di separazione 28A.

La porzione di accoppiamento 61 della seconda massa
20 mobile 27 si estende in contatto diretto con la porzione di rivestimento 28B.

In dettaglio, in questa forma di realizzazione, la porzione di rivestimento 28B si estende parzialmente anche attraverso la porzione di accoppiamento 61 della seconda
25 massa mobile 27.

In pratica, la porzione di accoppiamento 61 della seconda massa mobile 27 ricopre lateralmente una parte superiore della porzione di rivestimento 28.

Inoltre, in questa forma di realizzazione, la prima e
5 la seconda massa mobile 26, 27 si estendono a distanza l'una dall'altra lungo il primo asse X.

In dettaglio, una intercapedine superiore 65 e una intercapedine inferiore 66 si estendono tra la prima e la seconda massa mobile 26, 27.

10 L'intercapedine superiore 65 si estende tra la porzione di accoppiamento 61 della seconda massa mobile 27 e la porzione di rilevamento 34 della prima massa mobile 26, separandole quindi l'una dall'altra.

L'intercapedine superiore 65 ha una larghezza Dh1 lungo
15 il primo asse X, ad esempio compresa tra $0,3\ \mu\text{m}$ e $20\ \mu\text{m}$, e si estende, lungo il secondo asse Y, per tutta la larghezza della prima e della seconda massa mobile 26, 27.

L'intercapedine inferiore 66 si estende tra la porzione di accoppiamento 60 della prima massa mobile 26 e la porzione
20 di rilevamento 35 della seconda massa mobile 27, separandole quindi l'una dall'altra.

L'intercapedine inferiore 66 ha una larghezza Dh2 lungo
il primo asse X, ad esempio compresa tra $0,3\ \mu\text{m}$ e $20\ \mu\text{m}$, e si estende, lungo il secondo asse Y, per tutta la larghezza
25 della prima e della seconda massa mobile 26, 27.

In pratica, la prima massa mobile 26 e la seconda massa mobile 27 si estendono a distanza l'una dall'altra. Al tempo stesso, le regioni di isolamento 28 accoppiano meccanicamente e isolano elettricamente tra loro la prima e
5 la seconda massa mobile 26, 27.

Con riferimento alla figura 5, il substrato 24 è formato qui da un corpo di supporto 70, ad esempio di materiale semiconduttore quale silicio, e da uno o più strati isolanti estendentisi sul corpo di supporto 70. In questa forma di
10 realizzazione, un primo strato isolante 71, ad esempio un ossido quale ossido di silicio, si estende direttamente sul corpo di supporto 70 e un secondo strato isolante 72, ad esempio un nitrato quale nitrato di silicio, si estende direttamente sul primo strato isolante 71 e forma la
15 superficie 24A del corpo di supporto 24.

La struttura di rilevamento 21 comprende inoltre una prima piazzola di contatto di statore 75, accoppiata elettricamente al primo elettrodo di statore 40 e al terzo elettrodo di statore 43 da una prima pista conduttiva 80, e
20 una seconda piazzola di contatto di statore 76, accoppiata elettricamente al secondo elettrodo di statore 41 e al quarto elettrodo di statore 44 da una seconda pista conduttiva 81.

La prima e la seconda pista conduttiva 80, 81, ad esempio di polisilicio, si estendono sulla superficie 24A
25 del substrato 24.

La prima pista conduttiva 80 è formata da una prima porzione 80A, in contatto elettrico diretto con il primo elettrodo di statore 40, una seconda porzione 80B in contatto elettrico diretto con il terzo elettrodo di statore 43, e
5 una terza porzione 80C in contatto elettrico diretto con la prima piazzola di contatto 75.

Le porzioni 80A, 80B e 80C della prima pista conduttiva 80 si incrociano in un nodo 82.

La seconda pista conduttiva 81 è formata da una prima
10 porzione 81A, in contatto elettrico diretto con il secondo elettrodo di statore 41, una seconda porzione 81B in contatto elettrico diretto con il quarto elettrodo di statore 44, e una terza porzione 81C in contatto elettrico diretto con la seconda piazzola di contatto 76.

15 Le porzioni 81A, 81B e 81C della seconda pista conduttiva 81 si incrociano in un nodo 84.

Con riferimento alla figura 1, l'unità di controllo 22 comprende un circuito di rilevamento 93 e un circuito di pilotaggio 94, reciprocamente accoppiati.

20 La prima e la seconda piazzola di contatto di statore 75, 76 sono accoppiate elettricamente al circuito di rilevamento 92 tramite rispettivi mezzi di collegamento elettrico, ad esempio fili di contatto ("bond wires") o in altro modo di per sé noto, rappresentati solo schematicamente
25 in figura 2 e indicati rispettivamente da 78, 79.

L'unità di rilevamento 21 comprende inoltre una prima piazzola di contatto di rotore 86, accoppiata elettricamente alla prima massa mobile 26 da una terza pista conduttiva 87, e una seconda piazzola di contatto di rotore 88, accoppiata elettricamente alla seconda massa mobile 27 da una quarta pista conduttiva 89.

La terza e la quarta pista conduttiva 87, 88, ad esempio di polisilicio, si estendono sulla superficie 24A del substrato 24, in contatto elettrico diretto con una rispettiva prima regione di ancoraggio 30A e, rispettivamente, una rispettiva seconda regione di ancoraggio 30B.

La prima e la seconda piazzola di contatto di rotore 86, 88 sono accoppiate elettricamente al circuito di pilotaggio 93 tramite rispettivi mezzi di collegamento elettrico, ad esempio fili di contatto ("bond wires") o in altro modo di per sé noto, rappresentati solo schematicamente in figura 2 e indicati rispettivamente da 90, 91.

In uso, il circuito di pilotaggio 93 fornisce un primo segnale di lettura V_{r1} alla prima piazzola di rotore 86 e un secondo segnale di lettura V_{r2} alla seconda piazzola di rotore 88.

Il primo e il secondo segnale di lettura V_{r1} , V_{r2} sono segnali periodici, ad esempio segnali a onda quadra, aventi una frequenza elevata, ad esempio compresa tra 10 kHz e 1

MHz.

In dettaglio, la struttura di rilevamento 21 ha una frequenza di risonanza che è funzione delle dimensioni della prima e della seconda massa mobile 26, 27, delle distanze
5 g_1 - g_4 e della costante elastica delle connessioni elastiche 32A, 32B. Ad esempio, la frequenza di risonanza della struttura di rilevamento 21 può essere compresa tra 0,2 kHz e 20 kHz.

In pratica, la frequenza del primo e del secondo segnale
10 di lettura V_{r1} , V_{r2} è maggiore, in particolare molto maggiore, della frequenza di risonanza della struttura di rilevamento 21.

In dettaglio, il primo e il secondo segnale di lettura V_{r1} , V_{r2} sono sfasati l'uno con l'altro di 180° .

15 Il circuito di rilevamento 92 riceve un primo segnale di rilevamento S_{d1} dalla prima piazzola di statore 75 e un secondo segnale di rilevamento S_{d2} dalla seconda piazzola di statore 76.

Il circuito di rilevamento 92 è configurato, in modo di
20 per sé noto, per elaborare il primo e il secondo segnale di rilevamento S_{d1} , S_{d2} e ottenere un valore di accelerazione a cui è soggetto l'accelerometro MEMS 20. Ad esempio, il circuito di rilevamento 92 può essere configurato per operare una lettura di tipo differenziale, a partire dal primo e dal
25 secondo segnale di rilevamento S_{d1} , S_{d2} .

A riposo, sia il primo che il secondo segnale di rilevamento S_{d1} , S_{d2} indicano un valore nullo di accelerazione.

Quando l'accelerometro MEMS 20 è soggetto ad una
5 accelerazione diretta lungo il primo asse X, la prima e la massa mobile 26, 27 si spostano lungo il primo asse X.

Ad esempio, la figura 4 mostra, a titolo esemplificativo, un caso in cui la prima e la seconda massa mobile 26, 27 hanno subito uno spostamento Δx , lungo il primo
10 asse X, verso destra.

Dal momento che la prima e la seconda massa mobile 26, 27 sono solidali tra loro, grazie alle regioni di isolamento 28, la prima e la seconda massa mobile 26, 27 subiscono lo stesso spostamento Δx .

15 Con riferimento all'esempio di figura 4, la porzione di rilevamento 34 della prima massa mobile 26 si avvicina al primo elettrodo di statore 40 e la porzione di rilevamento 35 della seconda massa mobile 27 si allontana dal terzo elettrodo di statore 43.

20 Al tempo stesso, la porzione di rilevamento 34 della prima massa mobile 26 si allontana dal secondo elettrodo di statore 41 e la porzione di rilevamento 35 della seconda massa mobile 27 si avvicina al quarto elettrodo di statore 44.

25 Quindi, ancora con riferimento all'esempio di figura 4,

la porzione di rilevamento 34 della prima massa mobile 26 è ad una distanza $g_1' = g_1 - \Delta x$ dal primo elettrodo di statore 40, e ad una distanza $g_2' = g_2 + \Delta x$ dal secondo elettrodo di statore 41. La porzione di rilevamento 35 della seconda massa mobile 27 è ad una distanza $g_3' = g_3 + \Delta x$ dal terzo elettrodo di statore 43, e ad una distanza $g_4' = g_4 - \Delta x$ dal quarto elettrodo di statore 44.

Allo spostamento Δx è associata una variazione di capacità ΔC dei condensatori di rilevamento 50, 51, 53, 54.

10 In dettaglio, il primo condensatore di rilevamento 50 ha una capacità $C_1 = C_0 + \Delta C$, il secondo condensatore di rilevamento 51 ha una capacità $C_2 = C_0 - \Delta C$, il terzo condensatore di rilevamento 53 ha una capacità $C_3 = C_0 - \Delta C$, e il quarto condensatore di rilevamento 54 ha una capacità
15 $C_4 = C_0 + \Delta C$.

A titolo illustrativo, la figura 4A mostra un equivalente elettrico della struttura di rilevamento 21, in uso, con riferimento all'esempio di figura 4.

Una corrente I_{c1} , che è funzione del prodotto tra il
20 primo segnale di lettura V_{r1} e la capacità C_1 del primo condensatore di rilevamento 50 attraversa la prima porzione 80A della prima pista conduttiva 80. In dettaglio, la corrente I_{c1} ha una componente di modo comune, che è funzione della capacità di riposo C_0 , e una componente differenziale,
25 che è funzione della variazione di capacità $+\Delta C$.

Una corrente I_{C3} , che è funzione del prodotto tra il secondo segnale di lettura V_{r2} e la capacità C_3 del terzo condensatore di rilevamento 53 attraversa la seconda porzione 80B della prima pista conduttiva 80. In dettaglio,
5 la corrente I_{C2} ha una componente di modo comune, che è funzione della capacità di riposo C_0 , e una componente differenziale, che è funzione della variazione di capacità $-\Delta C$.

Al nodo 82, le correnti I_{C1} e I_{C3} si sommano, generando
10 così il primo segnale di rilevamento S_{d1} .

Dal momento che il primo e il secondo segnale di lettura V_{r1} , V_{r2} sono tra loro sfasati, al nodo 82, è possibile sottrarre tra loro le componenti di modo comune delle correnti I_{C1} e I_{C3} e sommare tra loro le componenti
15 differenziali delle correnti I_{C1} e I_{C3} .

In particolare, se il primo e il secondo segnale di lettura V_{r1} , V_{r2} sono tra loro sfasati di 180° , è possibile cancellare le componenti di modo comune e sommare, in fase, le componenti differenziali delle correnti I_{C1} e I_{C3} .

20 Una discussione analoga si applica anche al secondo e al quarto condensatore di rilevamento 51, 54.

Una corrente I_{C2} , che è funzione del prodotto tra il primo segnale di lettura V_{r1} e la capacità C_2 del secondo condensatore di rilevamento 51 attraversa la prima porzione
25 81A della seconda pista conduttiva 81. In dettaglio, la

corrente I_{C2} ha una componente di modo comune, che è funzione della capacità di riposo C_0 , e una componente differenziale, che è funzione della variazione di capacità $-\Delta C$.

Una corrente I_{C4} , che è funzione del prodotto tra il
5 secondo segnale di lettura V_{r2} e la capacità C_4 del quarto
condensatore di rilevamento 54 attraversa la seconda
porzione 81B della seconda pista conduttiva 81. In dettaglio,
la corrente I_{C4} ha una componente di modo comune, che è
funzione della capacità di riposo C_0 , e una componente
10 differenziale, che è funzione della variazione di capacità
 $+\Delta C$.

Al nodo 84, le correnti I_{C2} e I_{C4} si sommano, generando
così il secondo segnale di rilevamento S_{d2} .

Similmente a quanto sopra descritto, al nodo 84 è quindi
15 possibile cancellare le componenti di modo comune e sommare,
in fase, le componenti differenziali delle correnti I_{C2} e
 I_{C4} .

In pratica, la struttura di rilevamento 21 permette di
eliminare, a livello di piastrina, la componente di modo
20 comune del primo e del secondo segnale di rilevamento S_{d1} ,
 S_{d2} in uscita dalla struttura di rilevamento 21.

Ciò permette di semplificare la progettazione del
circuito di rilevamento 92; ad esempio, il circuito di
rilevamento 92 non necessita di un modulo specifico per la
25 cancellazione della componente di modo comune dei segnali di

rilevamento S_{d1} , S_{d2} .

L'accelerometro MEMS 20 può quindi avere un basso consumo energetico e un basso costo.

Inoltre, il fatto che la prima e la seconda massa 26, 27 siano isolate tra loro da un punto di vista elettrico e accoppiate tra loro da un punto di vista meccanico tramite le regioni di isolamento 28, permette di compensare eventuali offset meccanici, dovuti a variazioni di processo, della struttura di rilevamento 21. In dettaglio, la struttura di rilevamento 21 permette di compensare eventuali deviazioni tra la prima massa e la seconda massa mobile 26, 27 e tra le componenti elastiche 32A, 32B, rispetto a quanto progettato.

In particolare, il fatto che la prima e la seconda massa mobile 26, 27 sono rigidamente accoppiate, o solidali, tra loro, fa sì che la prima e la seconda massa mobile 26, 27 subiscano uno stesso spostamento, rispetto al substrato 24, in risposta ad una accelerazione dell'accelerometro MEMS 20. In pratica, la prima e la seconda massa mobile 26, 27 si comportano, da un punto di vista meccanico, come un unico corpo mobile; al tempo stesso, la prima e la seconda massa mobile 26, 27 formano domini elettrici distinti dell'unico corpo mobile, che possono quindi essere polarizzati indipendentemente l'uno dall'altro.

Di conseguenza, la struttura di rilevamento 21 fa sì che, in risposta ad una accelerazione dell'accelerometro

MEMS 20, il primo condensatore di rilevamento 50 e il terzo condensatore di rilevamento 53 abbiano, in modulo, una stessa variazione di capacità. Similmente, anche il secondo condensatore di rilevamento 51 e il quarto condensatore di
5 rilevamento 54 possono avere, in modulo, una stessa variazione di capacità.

La struttura di rilevamento 21 permette quindi di ottenere una elevata precisione di rilevamento di un'accelerazione dell'accelerometro MEMS 20.

10 Inoltre, il fatto che la struttura di rilevamento 21 fornisca, in uscita, anche il secondo segnale di rilevamento S_{d2} , oltre al primo segnale di rilevamento S_{d1} , permette al circuito di rilevamento 92 di eseguire una misura elettrica differenziale dell'accelerazione a cui è soggetto
15 l'accelerometro MEMS 20, aumentandone ulteriormente l'accuratezza di rilevamento.

Qui di seguito sono descritte, con riferimento alle figure 5-9, fasi di fabbricazione che portano alla formazione della struttura di rilevamento 21 dell'accelerometro MEMS
20 20.

La figura 5 mostra, nel sistema di riferimento cartesiano XYZ, un corpo di lavoro 150 formato da un substrato di lavoro 154 avente una superficie 154A. Il substrato di lavoro 154 è destinato a formare il substrato
25 24 della struttura di rilevamento 21 ed è formato dal corpo

di supporto 70, dal primo strato isolante 71 e dal secondo strato isolante 72.

Sulla superficie 154A del substrato di lavoro 154 sono già state formate le piste conduttive di statore 80, 81 e le
5 piste conduttive di rotore, qui non mostrate.

Inoltre, un primo strato sacrificale 156, ad esempio di ossido quale ossido di silicio, è già stato formato sul corpo di lavoro 150.

Il primo strato sacrificale 156 si estende sulla
10 superficie 154 della fetta di lavoro 154 e, parzialmente, sulle piste conduttive 80, 81.

Il primo strato sacrificale 156 è già stato definito in modo da formare una pluralità di vie 158 che espongono ciascuna una porzione di una rispettiva pista conduttiva 80,
15 81.

Successivamente, figura 6, un primo strato strutturale 160, ad esempio di silicio o polisilicio, viene formato sul corpo di lavoro 150. Ad esempio, il primo strato strutturale 160 viene cresciuto sul corpo di lavoro 150, a partire dalle
20 piste conduttive 80, 81.

Il primo strato strutturale 160 si estende sul primo strato sacrificale 156 e nelle vie 158.

Inoltre, una finestra 161 è formata attraverso il primo strato strutturale 160, dove si intende formare
25 l'intercapedine inferiore 66.

Poi, figura 7, un secondo strato sacrificale 163, ad esempio di ossido quale ossido di silicio, è formato sul corpo di lavoro 150, sopra il primo strato strutturale 160.

Il secondo strato sacrificale 163 viene inoltre
5 definito, sempre con riferimento alla figura 7, in modo da formare una porzione di separazione 164 (destinata a formare la porzione di separazione 28A delle regioni di isolamento 28) e porzioni sacrificali 165, utili per formare l'intercapedine verticale 56.

10 La porzione di separazione 164 si estende a distanza dalle porzioni sacrificali 165. In pratica, viene formata una trincea 166 che si estende intorno alla porzione di separazione 164.

Il secondo strato sacrificale 163 comprende anche una
15 ulteriore porzione sacrificale 167 che si estende parzialmente all'interno della finestra 161, sulle pareti del primo strato strutturale 160 e sul primo strato sacrificale 156.

La porzione di rivestimento 28B delle regioni di
20 isolamento 28 viene formata, figura 8, sul corpo di lavoro 150. La porzione di rivestimento 28B si estende sulla porzione di separazione 164 e nella trincea 166, tra la porzione di separazione 164 e le porzioni sacrificali 165.

In pratica, la porzione di rivestimento 28B circonda
25 completamente la porzione di separazione 164.

La porzione di rivestimento 28B è di materiale elettricamente isolante, diverso rispetto al primo e al secondo strato sacrificale 156, 163. In dettaglio, il primo e il secondo strato sacrificale 156, 163 possono essere rimossi utilizzando un materiale di attacco, ad esempio acido fluoridrico (HF) nel caso in cui il primo e il secondo strato sacrificale 156, 163 sono di ossido di silicio. La porzione di rivestimento 28B è tale da non essere attaccata ("etched") da tale materiale di attacco.

Ad esempio, se il primo e il secondo strato sacrificale 156, 163 sono di ossido di silicio, la porzione di rivestimento 28B può essere di nitruro, in particolare nitruro di silicio.

Successivamente, figura 9, un secondo strato strutturale 170, ad esempio di silicio o polisilicio, è formato sul corpo di lavoro 150.

Il secondo strato strutturale 170 può essere di un materiale uguale o diverso, qui uguale, rispetto al primo strato strutturale 160.

In dettaglio, il secondo strato strutturale 170 si estende sopra il primo strato strutturale 160 (da cui è separato da una linea tratteggiata in figura 9), sul secondo strato sacrificale 163 e sulla regione di rivestimento 28B.

Poi, figura 10, una pluralità di finestre 172 sono formate attraverso il primo e il secondo strato strutturale

160, 170, figura 10, tramite noti passaggi di litografia e attacco, fino al primo strato sacrificale 156.

In dettaglio, le finestre 172 formano le porzioni del primo e del secondo strato strutturale 160, 170 che sono
5 destinate a formare la prima massa mobile 26, la seconda massa mobile 27, gli elettrodi di statore 40, 41, 43, 44, le connessioni elastiche 32A, 32B, e le regioni di ancoraggio 30A, 30B.

Successivamente, il corpo di supporto 150 è sottoposto
10 ad un attacco chimico, qui non mostrato, che rimuove il primo strato sacrificale 156 e le porzioni sacrificali 165, 167 del secondo strato sacrificale 163, formando quindi la struttura di rilevamento 21 delle figure 2 e 3.

Ad esempio, nel caso in cui il primo e il secondo strato
15 sacrificale 156, 163 sono di ossido di silicio, la loro rimozione può essere eseguita tramite un attacco basato su acido fluoridrico (HF).

La porzione di separazione 164 del secondo strato sacrificale 163 è mascherata dalla porzione di rivestimento
20 28B e quindi non viene rimossa.

Seguono ulteriori fasi di lavorazione, qui non mostrate e di per sé note, ad esempio taglio del substrato di lavoro 154 e impacchettamento ("packaging"), che portano alla formazione della struttura di rilevamento 21.

25 Inoltre, la struttura di rilevamento 21 può anche essere

connessa elettricamente, in modo di per sé noto, all'unità di controllo 22, formando così l'accelerometro MEMS 20.

Le figure 11 e 12 mostrano una diversa forma di realizzazione della struttura di rilevamento, qui indicata
5 da 221, dell'accelerometro MEMS 20 di figura 1.

La struttura di rilevamento 221 ha una struttura generale simile a quella della struttura di rilevamento 21 delle figure 2 e 3; di conseguenza, elementi in comuni sono indicati dagli stessi numeri di riferimento e non sono
10 ulteriormente descritti.

La struttura di rilevamento 221 è configurata per rilevare una accelerazione dell'accelerometro MEMS 20 lungo il terzo asse Z.

In dettaglio, in questa forma di realizzazione, la
15 struttura di rilevamento 221 ha una struttura ad altalena ("teeter-totter") avente un asse di rotazione R parallelo al primo asse X.

La struttura di rilevamento 221 comprende il substrato 24 formato dal corpo di supporto 70 e dal primo e dal secondo
20 strato isolante 71, 72.

La struttura di supporto 221 comprende anche qui una prima e una seconda massa mobile 226, 227, sospese sul substrato 24 e tra loro accoppiate meccanicamente mediante le regioni di isolamento 28.

25 La prima e la seconda massa mobile 226, 227 sono

accoppiate elasticamente ciascuna ad una rispettiva regione di ancoraggio 230A, 230B tramite una rispettiva connessione elastica 232A, 232B.

In questa forma di realizzazione, le connessioni elastiche 232A, 232B, rappresentate solo schematicamente in figura 11, hanno un grado di libertà di tipo torsionale, ovvero permettono un movimento di rotazione della prima e della seconda massa mobile 226, 227 intorno all'asse di rotazione R.

In vista in pianta dall'alto, la prima e la seconda massa mobile 226, 227 hanno ciascuna una forma sostanzialmente a C, tra loro specchiate rispetto ad un asse parallelo al secondo asse Y.

In dettaglio, la prima e la seconda massa mobile 226, 227 delimitano lateralmente un'apertura 235 estendentesi lungo l'asse di rotazione R. L'apertura 235 si estende, lungo il terzo asse Z, per tutto lo spessore della prima e della seconda massa mobile 226, 227.

Le regioni di ancoraggio 230A, 230B e le connessioni elastiche 232A, 232B sono alloggiate nell'apertura 235 e si estendono lungo l'asse di rotazione R.

L'asse di rotazione R divide la prima massa mobile 226 in una rispettiva porzione minore 226A e una rispettiva porzione maggiore 226B, e divide la seconda massa mobile 227 in una rispettiva porzione minore 227A e una rispettiva

porzione maggiore 227B.

Le porzioni minori 226A, 227A si estendono da un primo lato dell'asse di rotazione R e le porzioni maggiori 226B, 227B si estendono da un secondo lato dell'asse di rotazione
5 R opposto al primo lato lungo il secondo asse Y.

Le porzioni minori 226A, 227A hanno ciascuna una massa minore della rispettiva porzione maggiore 226B, 227B.

La prima e la seconda massa mobile 226, 227 comprendono inoltre anche qui ciascuna una rispettiva porzione di
10 accoppiamento 60, 61.

Anche in questa forma di realizzazione, le porzioni di accoppiamento 60, 61 sono disposte a distanza l'una dall'altra lungo il terzo asse Z e le regioni di isolamento 28 si estendono ciascuna tra la porzione di accoppiamento 60
15 della prima massa mobile 226 e la porzione di accoppiamento 61 della seconda massa mobile 227, lungo il terzo asse Z.

In dettaglio, la porzione di accoppiamento 60 si estende dalla porzione minore 226A e dalla porzione maggiore 226B della prima massa mobile 226, ad una prima altezza lungo il
20 terzo asse Z dal substrato 24, verso la seconda massa mobile 227. La porzione di accoppiamento 61 si estende dalla porzione minore 227A e dalla porzione maggiore 227B della seconda massa mobile 227, ad una seconda altezza lungo il
25 terzo asse Z dal substrato 24, verso la prima massa mobile 226. La seconda altezza è maggiore della prima altezza.

Anche in questa forma di realizzazione, la prima e la seconda massa mobile 226, 227 sono separate, lungo il primo asse X, da un'intercapedine superiore, qui indicata da 240, e da un'intercapedine inferiore, qui indicata da 241.

5 L'intercapedine superiore 240 si estende tra la prima massa mobile 226 e la porzione di accoppiamento 61 della seconda massa mobile 227. L'intercapedine inferiore 241 si estende tra la seconda massa mobile 227 e la porzione di accoppiamento 60 della prima massa mobile 226.

10 In questa forma di realizzazione, le regioni di ancoraggio 230A, 230B sono tra loro accoppiate rigidamente da una rispettiva regione di accoppiamento 28. Quindi, le regioni di ancoraggio 230A, 230B sono tra loro isolate elettricamente.

15 Inoltre, le regioni di ancoraggio 230A, 230B comprendono ciascuna una rispettiva porzione, qui non mostrata in dettaglio, uguale alla porzione di accoppiamento 60 della prima massa mobile 226 e, rispettivamente, alla porzione di accoppiamento 61 della seconda massa mobile 227.

20 La struttura di rilevamento 221 comprende inoltre un primo e un secondo elettrodo di statore 250, 251, ad esempio di polisilicio, estendentisi sulla superficie 24A del substrato 24 a distanza, lungo il terzo asse Z, dalla prima massa mobile 226, e un terzo e un quarto elettrodo di statore
25 253, 254, ad esempio di polisilicio, estendentisi sulla

superficie 24A del substrato 24 a distanza, lungo il terzo asse Z, dalla seconda massa mobile 227.

In dettaglio, il primo elettrodo di statore 250 è affacciato ad una superficie inferiore, qui non mostrata, della porzione minore 226A della prima massa mobile 226, e il secondo elettrodo di statore 251 è affacciato ad una superficie inferiore 256 della porzione maggiore 226B della prima massa mobile 226.

Il terzo elettrodo di statore 253 è affacciato ad una superficie inferiore 257 della porzione maggiore 227B della seconda massa mobile 227, e il quarto elettrodo di statore 254 è affacciato ad una superficie inferiore, qui non mostrata, della porzione minore 227A della seconda massa mobile 227.

In pratica, il primo elettrodo di statore 250 è accoppiato capacitivamente alla porzione minore 226A della prima massa mobile 226, formando un primo condensatore di rilevamento 260; il secondo elettrodo di statore 251 è accoppiato capacitivamente alla porzione maggiore 226B della prima massa mobile 226, formando un secondo condensatore di rilevamento 261; il terzo elettrodo di statore 253 è accoppiato capacitivamente alla porzione maggiore 227B della seconda massa mobile 227, formando un terzo condensatore di rilevamento 263; e il quarto elettrodo di statore 254 è accoppiato capacitivamente alla porzione minore 227A della

seconda massa mobile 227, formando un quarto condensatore di rilevamento 264.

In pratica, le superfici inferiori della prima e della seconda massa mobile 126, 127 formano qui quattro elettrodi di rotore accoppiati ciascuno ad un rispettivo elettrodo di statore.

A riposo, i condensatori di rilevamento 260, 261, 263 e 264 hanno, in questa forma di realizzazione, una stessa capacità di riposo C_0 ; tuttavia, essi possono avere capacità di riposo diverse tra loro, a seconda della specifica applicazione.

La struttura di rilevamento 221 comprende inoltre la prima piazzola di contatto di statore 75, accoppiata elettricamente al primo elettrodo di statore 250 e al terzo elettrodo di statore 253 dalla prima pista conduttiva 80, e la seconda piazzola di contatto di statore 76, accoppiata elettricamente al secondo elettrodo di statore 251 e al quarto elettrodo di statore 254 dalla seconda pista conduttiva 81.

I mezzi di collegamento elettrico 78, 79 accoppiano elettricamente la prima e, rispettivamente, la seconda piazzola di contatto di statore 75, 76 al circuito di rilevamento 92; e i mezzi di collegamento elettrico 90, 91 accoppiano elettricamente la prima e, rispettivamente, la seconda massa mobile 226, 227 al circuito di pilotaggio 93,

in modo qui non mostrato in dettaglio e di per sé noto.

In uso, similmente a quanto descritto per la struttura di rilevamento 21 di figura 2, il circuito di pilotaggio 93 fornisce il primo e il secondo segnale di lettura V_{r1} , V_{r2} alla prima massa mobile 226 e, rispettivamente, alla seconda massa mobile 227. Il circuito di rilevamento 92 riceve il primo segnale di rilevamento S_{d1} dalla prima piazzola di statore 75 e il segnale di rilevamento S_{d2} dalla seconda piazzola di statore 76.

Quando l'accelerometro MEMS 20 è soggetto ad una accelerazione lungo il terzo asse Z, la prima e la seconda massa mobile 226, 227 subiscono un movimento di rotazione attorno all'asse di rotazione R.

Ad esempio, l'accelerazione lungo il terzo asse Z può far sì che le porzioni maggiori 226B, 227B della prima e, rispettivamente, della seconda massa mobile 226, 227 si avvicinino alla superficie 24A del substrato 24, e le porzioni minori 226A, 227A della prima e, rispettivamente, della seconda massa mobile 226, 227 si allontanino dalla superficie 24A del substrato 24.

In tal caso, il primo e il quarto condensatore di rilevamento 260, 264 subiranno una diminuzione di capacità rispetto alla capacità di riposo C_0 , e il secondo e il terzo condensatore di rilevamento 261, 263 subiranno un aumento di capacità rispetto alla capacità di riposo C_0 .

Il fatto che la prima pista conduttiva 80 colleghi elettricamente tra loro il primo elettrodo di statore 250 e il terzo elettrodo di statore 253 permette di cancellare, a livello di piastrina, la componente di modo comune del primo
5 segnale di rilevamento S_{d1} , come descritto in riferimento alle figure 4 e 4A.

Analogamente, il fatto che la seconda pista conduttiva 81 colleghi elettricamente tra loro il secondo elettrodo di statore 251 e il quarto elettrodo di statore 254 permette di
10 cancellare, a livello di piastrina, la componente di modo comune del secondo segnale di rilevamento S_{d2} .

Quindi, i vantaggi discussi in riferimento alla struttura di rilevamento 21 si applicano anche alla struttura di rilevamento 221, ovvero nel caso in cui l'accelerometro
15 MEMS 20 sia configurato per rilevare una accelerazione lungo il terzo asse Z.

Risulterà chiaro al tecnico del ramo che la struttura di rilevamento 221 può essere formata in maniera analoga, e dunque qui non ulteriormente descritta, rispetto a quanto
20 discusso per la struttura di rilevamento 21, in riferimento alle figure 5-19.

Risulta infine chiaro che alla struttura di rilevamento 21, 221, al procedimento di fabbricazione e all'accelerometro MEMS qui descritti ed illustrati possono
25 essere apportate modifiche e varianti senza per questo uscire

dall'ambito protettivo della presente invenzione, come definito nelle rivendicazioni allegate.

Ad esempio, l'accelerometro MEMS 20 può essere di tipo biassiale o triassiale. In tal caso, l'accelerometro MEMS
5 può comprendere più strutture di rilevamento, opportunamente configurate per rilevare ciascuna una accelerazione lungo un rispettivo asse. Le strutture di rilevamento possono essere ciascuna formata in una rispettiva piastrina o possono essere integrate in una stessa piastrina.

10 Ad esempio, con riferimento alla struttura di rilevamento 21 delle figure 2 e 3, le porzioni di accoppiamento 60, 61 della prima e, rispettivamente, della seconda massa mobile 26, 27 possono estendersi ad una stessa altezza, lungo il terzo asse Z, rispetto alla superficie 24A
15 del substrato 24, e affacciate l'una all'altra lungo il primo o il secondo asse X, Y. Di conseguenza, in tal caso, le regioni di isolamento 28 si estenderebbero tra la prima e la seconda massa mobile 26, 27 lungo il primo o il secondo asse X, Y, invece che lungo il terzo asse Z.

20 Considerazioni analoghe possono applicarsi anche alla struttura di rilevamento 221 delle figure 11 e 12.

La prima e la seconda massa mobile e i rispettivi elettrodi di statore possono avere forma e configurazione diversa da quanto mostrato; possono formare, ad esempio,
25 condensatori di rilevamento di tipo interdigitato, invece

che condensatori di rilevamento a facce piane parallele.

La struttura di rilevamento può avere un numero minore o maggiore di elettrodi di statore.

Ad esempio, l'accelerometro MEMS 20 può comprendere
5 solamente una piazzola di statore. In tal caso, ad esempio con riferimento alla struttura di riferimento 21, la struttura di riferimento 21 può comprendere solamente il primo e il terzo elettrodo di statore 40, 43, o solamente il secondo e il quarto elettrodo di statore 41, 44.

10 In alternativa, l'accelerometro MEMS 20 può comprendere la prima e la seconda piazzola di statore 75, 76, ma la struttura di rilevamento può comprendere un numero maggiore di elettrodi di statore, rispetto a quanto descritto e illustrato, tra loro opportunamente collegati
15 elettricamente. Ad esempio, con riferimento alla struttura di rilevamento 21, la prima e la seconda massa mobile 26, 27 possono avere un numero maggiore di aperture 36, 37, ciascuna alloggiante ulteriori elettrodi di statore.

Infine, le forme di realizzazione descritte possono
20 essere combinate per formare ulteriori soluzioni.

RIVENDICAZIONI

1. Struttura di rilevamento (21; 221) per un accelerometro MEMS (20), comprendente:

un substrato (24);

5 una prima massa mobile (26; 226) e una seconda massa mobile (27; 227), estendentisi a distanza l'una dall'altra, sospese sul substrato e configurate per subire un movimento, rispetto al substrato, in risposta ad una accelerazione;

un primo elettrodo mobile (34A, 34B; 256) solidale alla
10 prima massa mobile (26; 226);

un secondo elettrodo mobile (35B, 35A; 257) solidale alla seconda massa mobile (27; 227);

un primo elettrodo fisso (40, 41; 250, 251) solidale al substrato e configurato per formare, con il primo elettrodo
15 mobile, un primo condensatore variabile (50, 51);

un secondo elettrodo fisso (43, 44; 253, 254) solidale al substrato e configurato per formare, con il secondo elettrodo mobile, un secondo condensatore variabile (53, 54); e

20 una regione di isolamento (28), di materiale elettricamente isolante, sospesa sul substrato ed estendentesi tra la prima massa mobile e la seconda massa mobile.

2. Struttura di rilevamento secondo la rivendicazione
25 precedente, in cui la regione di isolamento (28) accoppia

meccanicamente la prima massa mobile e la seconda massa mobile, in modo che la prima massa mobile è solidale alla seconda massa mobile.

3. Struttura di rilevamento secondo la rivendicazione
5 1 o 2, in cui, in risposta all'accelerazione, il primo condensatore variabile è configurato per subire una prima variazione di capacità ($+\Delta C$) e il secondo condensatore variabile è configurato per subire una seconda variazione di capacità ($-\Delta C$) avente segno opposto rispetto alla prima
10 variazione di capacità.

4. Struttura di rilevamento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente inoltre una piazzola di contatto di rilevamento (75, 76) solidale al substrato e una pista conduttiva (80, 81) estendentesi sul substrato tra
15 il primo elettrodo fisso, il secondo elettrodo fisso e la piazzola di contatto di rilevamento.

5. Struttura di rilevamento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la regione di isolamento (28) comprende una porzione centrale (28A), di un primo
20 materiale, e una porzione di rivestimento (28B), di un secondo materiale diverso dal primo materiale, che ricopre, almeno in parte, la porzione centrale.

6. Struttura di rilevamento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la regione di isolamento
25 comprende un ossido e un nitruro.

7. Struttura di rilevamento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la prima e la seconda massa mobile comprendono ciascuna una rispettiva porzione di accoppiamento (60, 61) affacciata l'una all'altra, la
5 regione di isolamento (28) estendendosi tra la porzione di accoppiamento della prima massa mobile e la porzione di accoppiamento della seconda massa mobile.

8. Struttura di rilevamento secondo la rivendicazione precedente, in cui la porzione di accoppiamento (60) della
10 prima massa mobile (26; 226) si estende ad una prima altezza dal substrato e la porzione di accoppiamento (61) della seconda massa mobile (27; 227) si estende ad una seconda altezza dal substrato diversa dalla prima altezza.

9. Struttura di rilevamento secondo una qualsiasi delle
15 rivendicazioni precedenti, in cui la prima massa mobile comprende una apertura (36) e una parete interna (34A, 34B) formante il primo elettrodo mobile, e la seconda massa mobile comprende una apertura (37) e una parete interna (35A, 35B) formante il secondo elettrodo mobile, il primo elettrodo
20 fisso (40, 41) estendendosi dal substrato attraverso l'apertura (36) della prima massa mobile, affacciato alla parete interna della prima massa mobile, il secondo elettrodo fisso (43, 44) estendendosi dal substrato attraverso l'apertura (37) della seconda massa mobile, affacciato alla
25 parete interna della seconda massa mobile.

10. Struttura di rilevamento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-8, in cui la prima massa mobile (226) e la seconda massa mobile (227) hanno ciascuna una rispettiva faccia (256, 257) affacciata al substrato (24) e sono
5 configurate per subire, in risposta all'accelerazione, un movimento di rotazione attorno ad un asse di rotazione (R) passante attraverso la prima e la seconda massa mobile, il primo elettrodo fisso (250, 251) estendendosi sul substrato, affacciato alla faccia (256) della prima massa mobile, il
10 secondo elettrodo fisso (253, 254) estendendosi sul substrato, affacciato alla faccia (257) della seconda massa mobile.

11. Struttura di rilevamento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente inoltre:

15 un terzo elettrodo mobile (34B; 256) solidale alla prima massa mobile (26; 226);

un quarto elettrodo mobile (35B) solidale alla seconda massa mobile (27; 227);

20 un terzo elettrodo fisso (41; 251) solidale al substrato e configurato per formare, con il terzo elettrodo mobile, un terzo condensatore variabile (51); e

un quarto elettrodo fisso (44; 254) solidale al substrato e configurato per formare, con il quarto elettrodo mobile, un quarto condensatore variabile (54),

25 in cui, in risposta all'accelerazione, il terzo

condensatore variabile è configurato per subire una terza
variazione di capacità ($+\Delta C$) e il quarto condensatore
variabile è configurato per subire una quarta variazione di
capacità ($-\Delta C$) avente segno opposto alla terza variazione di
5 capacità.

12. Accelerometro MEMS (20) comprendente la struttura
di rilevamento secondo la rivendicazione 1 e una unità di
controllo (22) accoppiata elettricamente alla struttura di
rilevamento, l'unità di controllo comprendendo un circuito
10 di pilotaggio (94) e un circuito di rilevamento (93), il
circuito di pilotaggio essendo configurato per fornire un
primo segnale di lettura (V_{r1}) al primo condensatore
variabile (50, 51) e un secondo segnale di lettura (V_{r2}) al
secondo condensatore variabile (53, 54), il circuito di
15 rilevamento essendo configurato per ricevere, dalla
struttura di rilevamento, un segnale di rilevamento (S_{d1} ,
 S_{d2}) indicativo della capacità del primo e del secondo
condensatore variabile.

13. Accelerometro MEMS secondo la rivendicazione
20 precedente, in cui il primo segnale di lettura e il secondo
segnale di lettura sono sfasati tra loro.

14. Accelerometro MEMS secondo la rivendicazione 12 o
13, in cui la struttura di rilevamento comprende inoltre:

un terzo elettrodo mobile (34B; 256) solidale alla prima
25 massa mobile (26; 226);

un quarto elettrodo mobile (35B) solidale alla seconda massa mobile (27; 227);

un terzo elettrodo fisso (41; 251) solidale al substrato e configurato per formare, con il terzo elettrodo mobile, un
5 terzo condensatore variabile (51); e

un quarto elettrodo fisso (44) solidale al substrato e configurato per formare, con il quarto elettrodo mobile, un quarto condensatore variabile (54),

il circuito di pilotaggio essendo configurato per
10 fornire il primo segnale di lettura al primo elettrodo mobile (34A) e al terzo elettrodo mobile (34B), e il secondo segnale di lettura al secondo elettrodo mobile (35A) e al quarto elettrodo mobile (35B), il circuito di rilevamento essendo configurato per ricevere il primo segnale di rilevamento dal
15 primo e dal secondo elettrodo fisso e un secondo segnale di rilevamento dal terzo e dal quarto elettrodo fisso.

15. Procedimento di fabbricazione di una struttura di rilevamento (21; 221) per un accelerometro MEMS, comprendente, a partire da un substrato di lavoro (154):

20 formare una prima massa mobile (26) e una seconda massa mobile (27), estendentisi a distanza l'una dall'altra, sospese sul substrato e configurate per subire un movimento, rispetto al substrato, in risposta ad una accelerazione;

formare un primo elettrodo mobile (34A, 34B) solidale
25 alla prima massa mobile;

formare un secondo elettrodo mobile (35A, 35B) solidale alla seconda massa mobile;

formare un primo elettrodo fisso (40, 41) solidale al substrato e configurato per formare, con il primo elettrodo mobile, un primo condensatore variabile (50, 51);

formare un secondo elettrodo fisso (43, 44) solidale al substrato e configurato per formare, con il secondo elettrodo mobile, un secondo condensatore variabile (53, 54); e

formare una regione di isolamento (28), di materiale elettricamente isolante, sospesa sul substrato ed estendentesi tra la prima massa mobile e la seconda massa mobile.

16. Procedimento di fabbricazione secondo la rivendicazione precedente, in cui formare la prima e la seconda massa mobile e formare il primo e il secondo elettrodo mobile comprende:

formare una prima regione sacrificale (156) sul substrato (154);

formare una prima regione strutturale (160) sulla prima regione sacrificale;

formare una seconda regione sacrificale (165, 167) sulla prima regione strutturale;

formare una seconda regione strutturale (170) sulla prima regione strutturale e sulla seconda regione sacrificale;

rimuovere la seconda regione sacrificale; e
rimuovere la prima regione sacrificale.

17. Procedimento di fabbricazione secondo la
rivendicazione 15 o 16, in cui formare una regione di
5 isolamento comprende:

formare una porzione di isolamento (164) a partire dalla
seconda regione sacrificale (163);

formare uno strato di rivestimento (28B), di un
materiale diverso dal materiale della seconda regione
10 sacrificale, che ricopre la porzione di isolamento, in modo
che la porzione di isolamento del secondo strato strutturale
rimane inattaccata durante la fase di rimuovere la seconda
regione sacrificale.

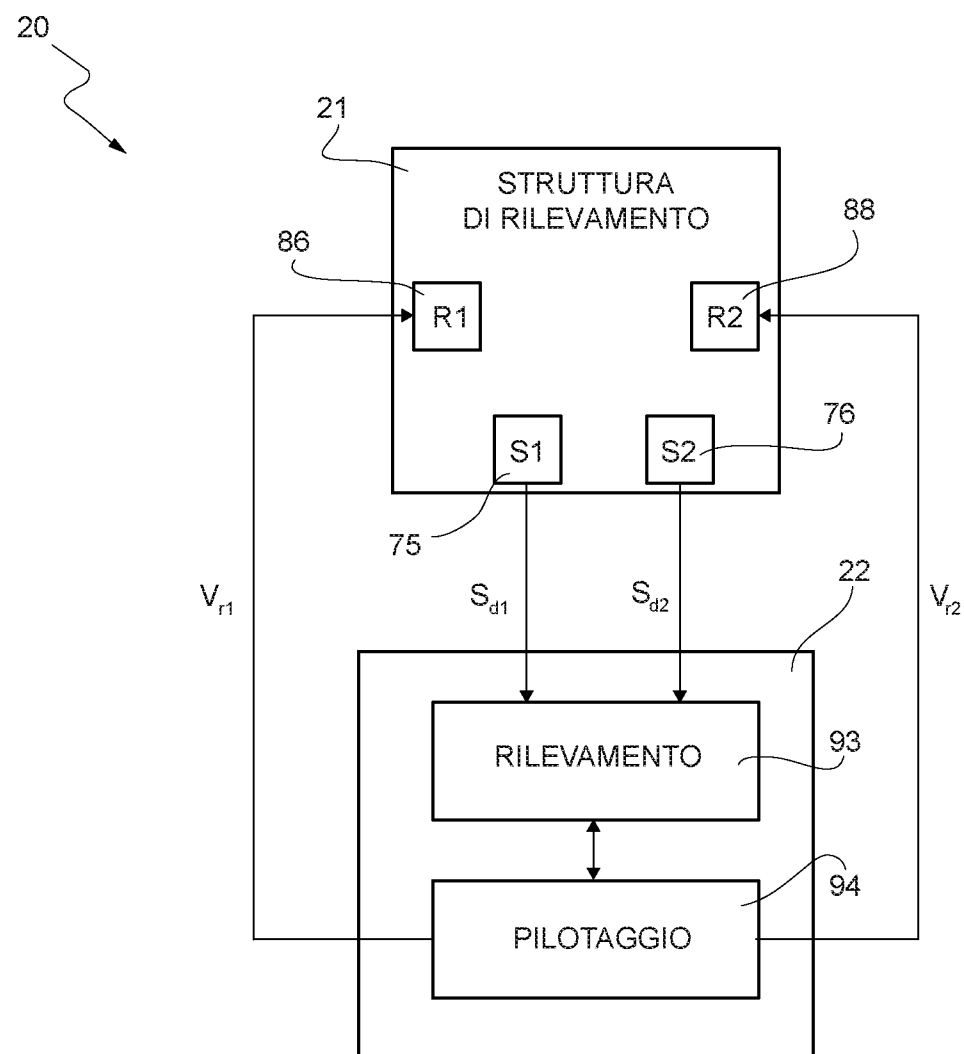


FIG. 1

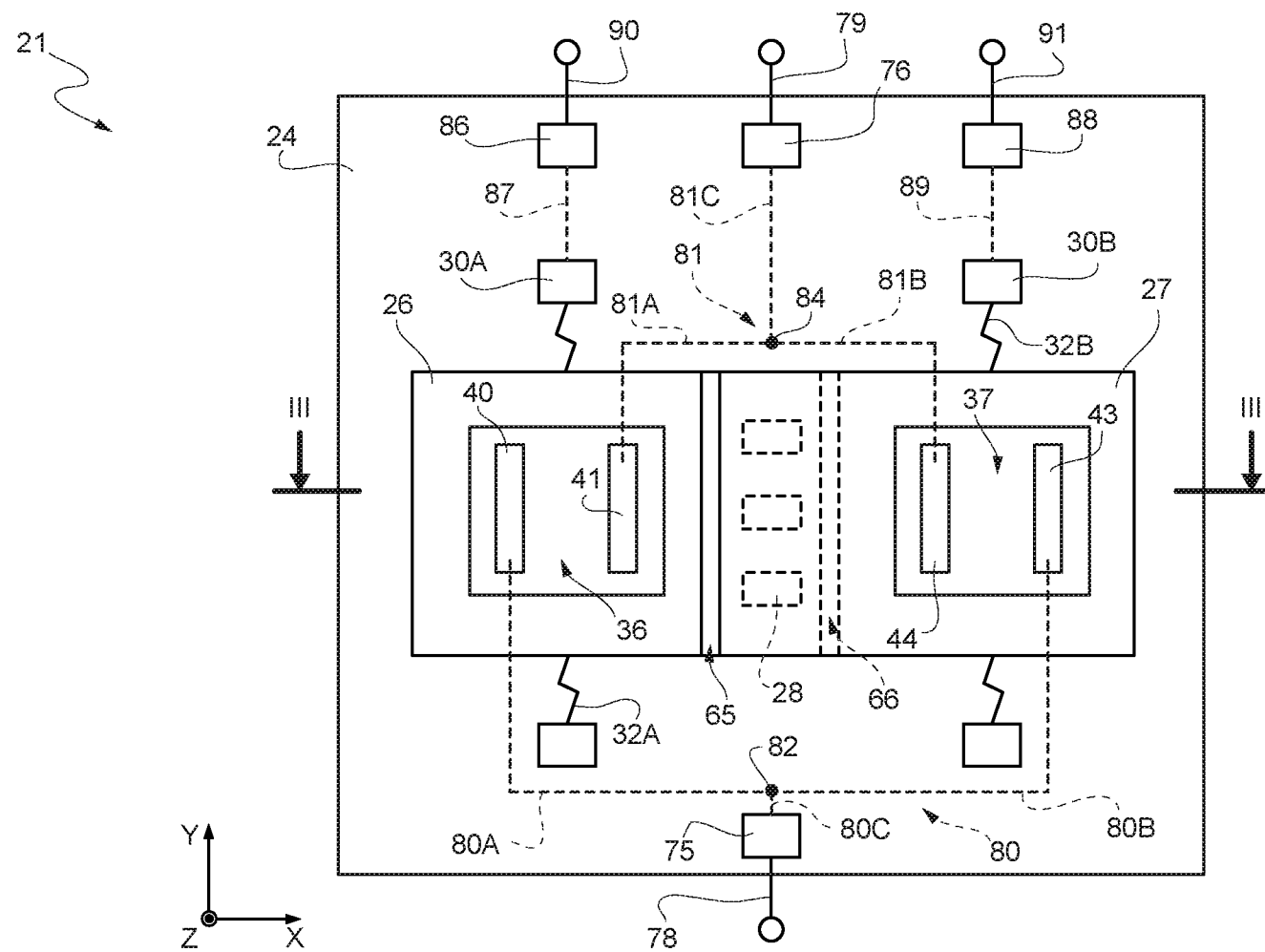


FIG. 2

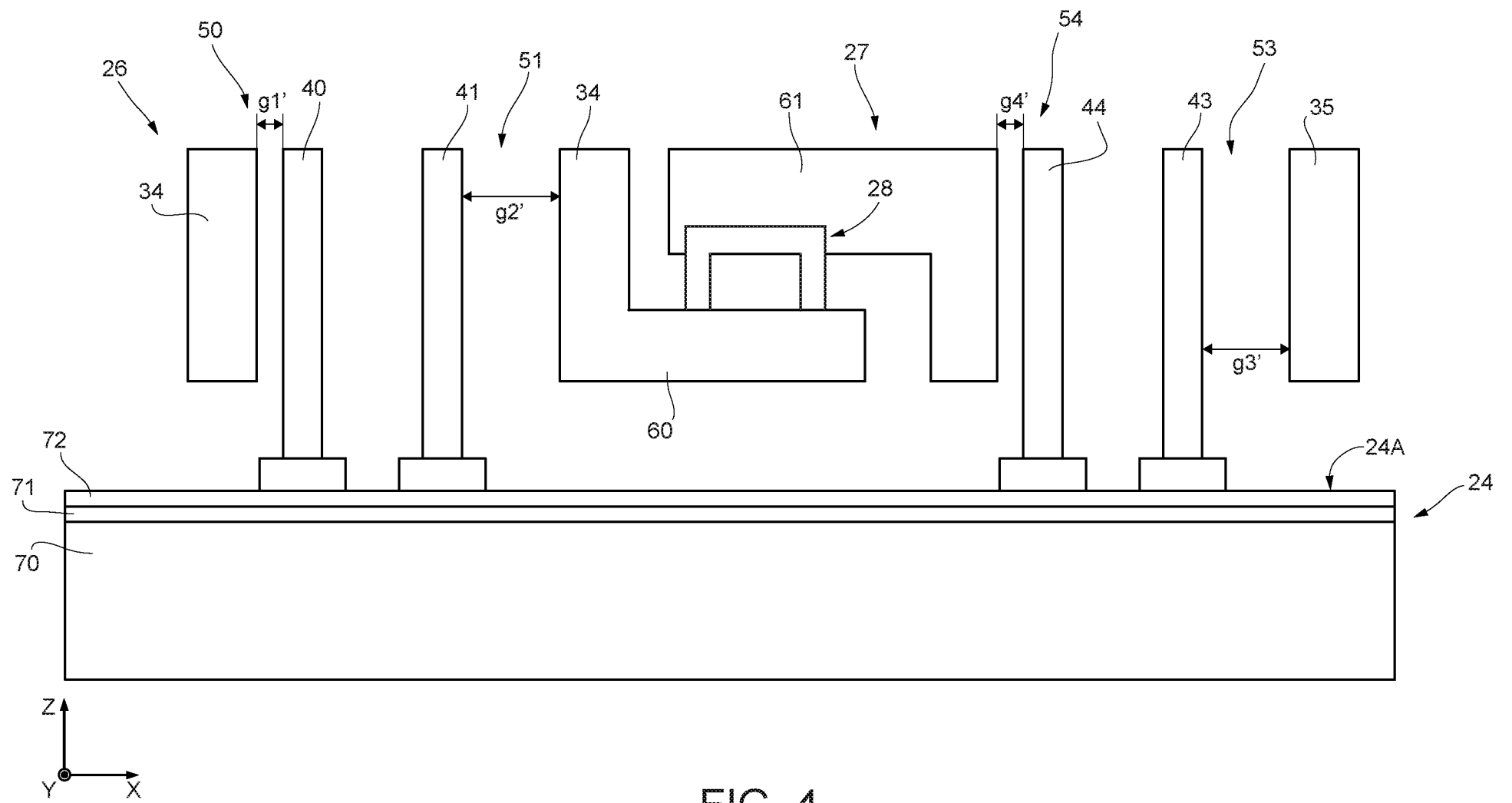


FIG. 4

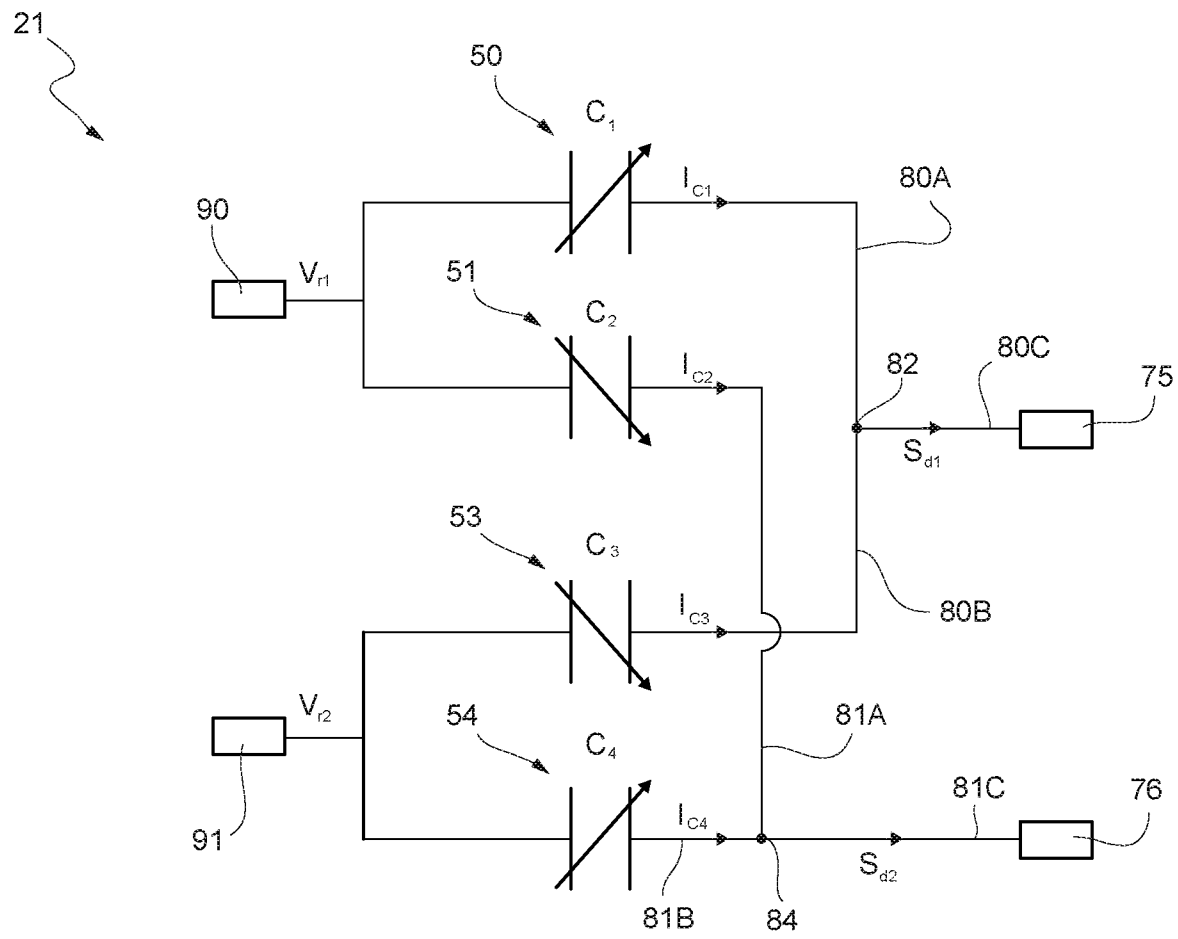


FIG. 4A

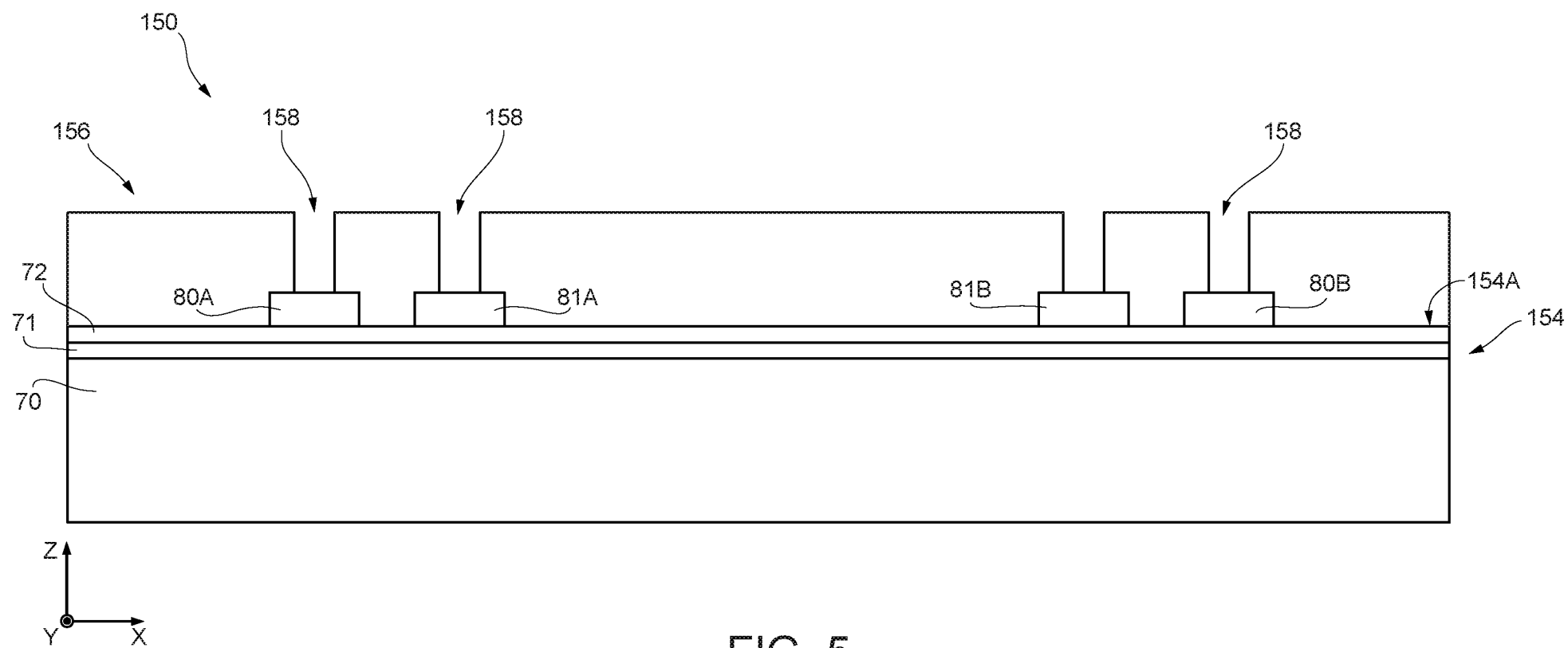


FIG. 5

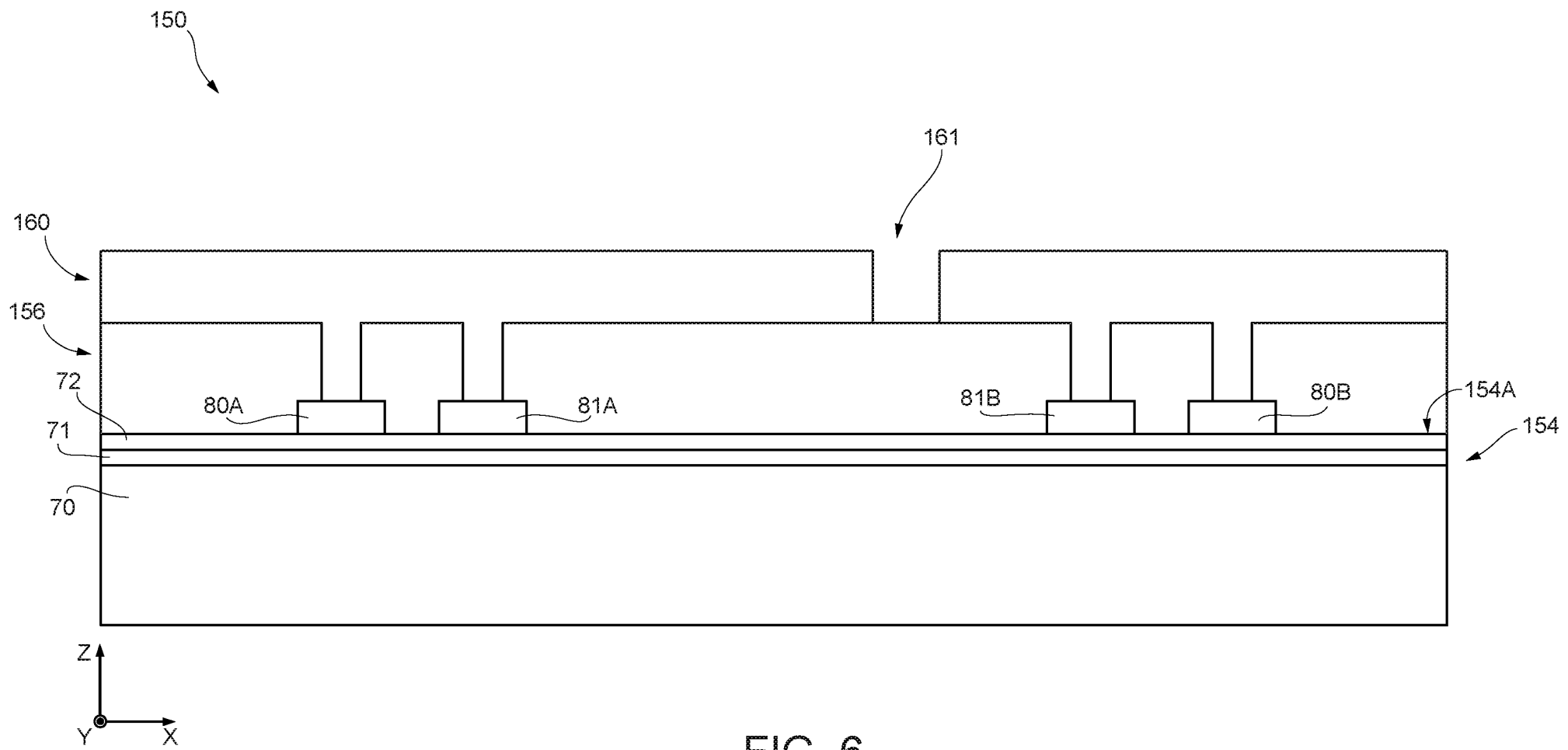


FIG. 6

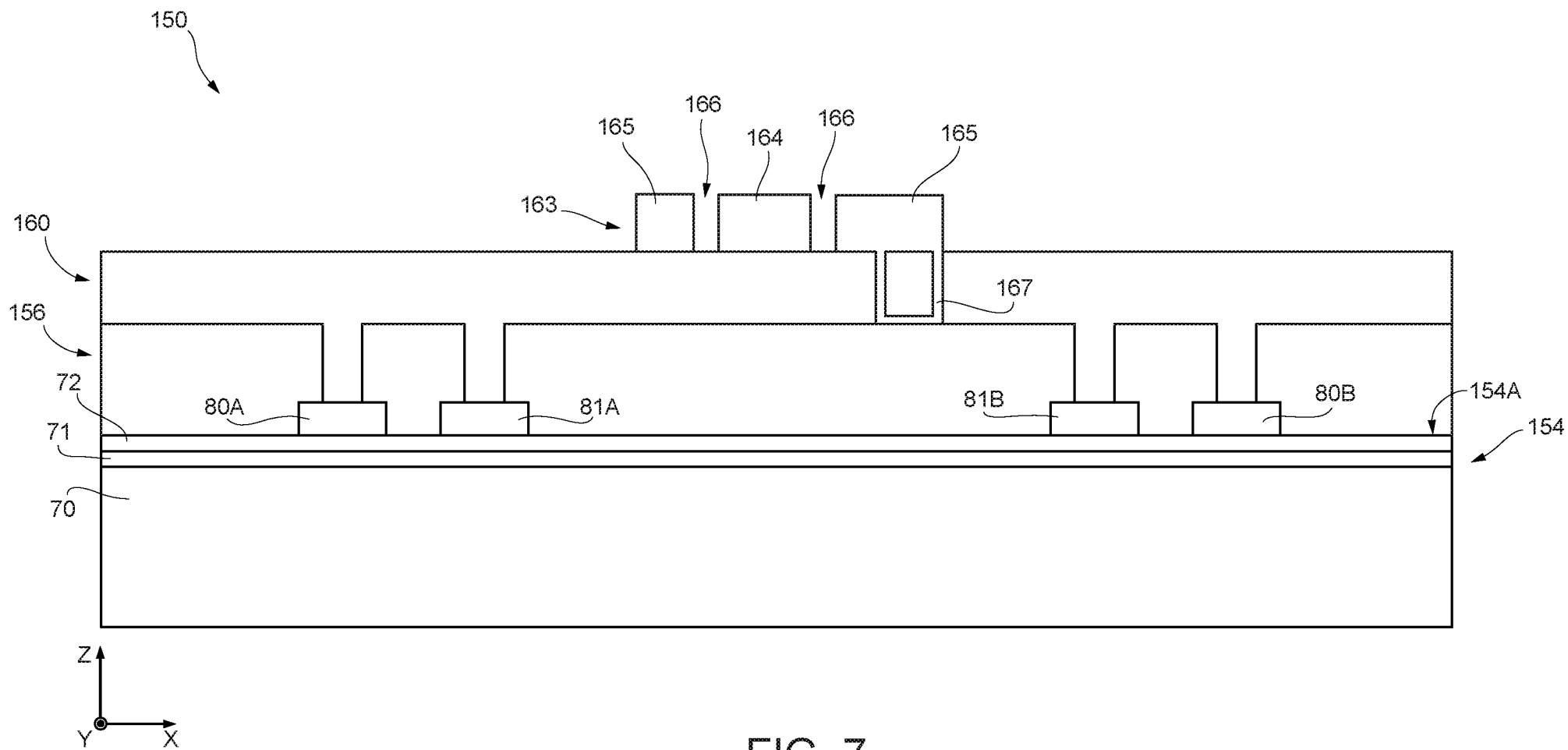


FIG. 7

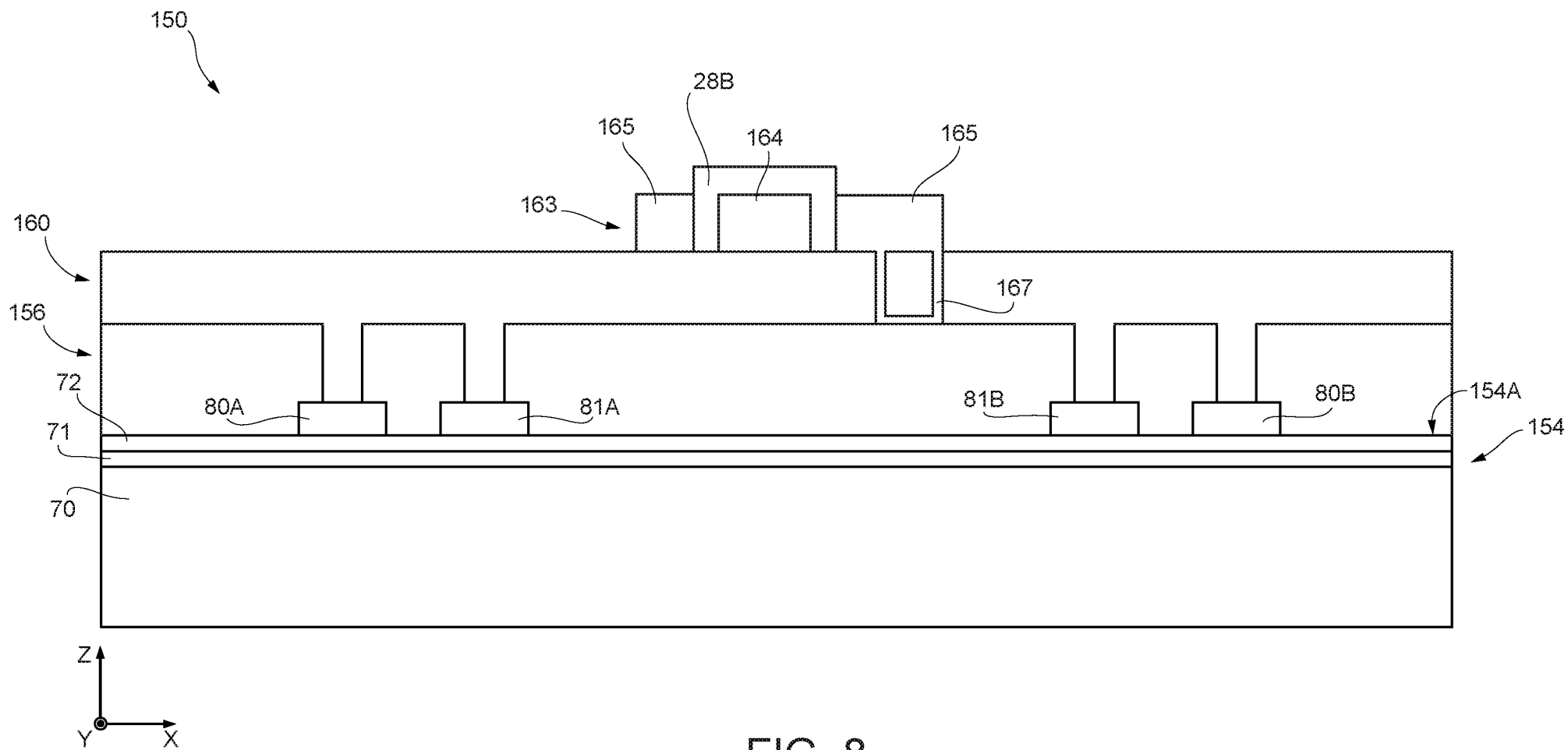
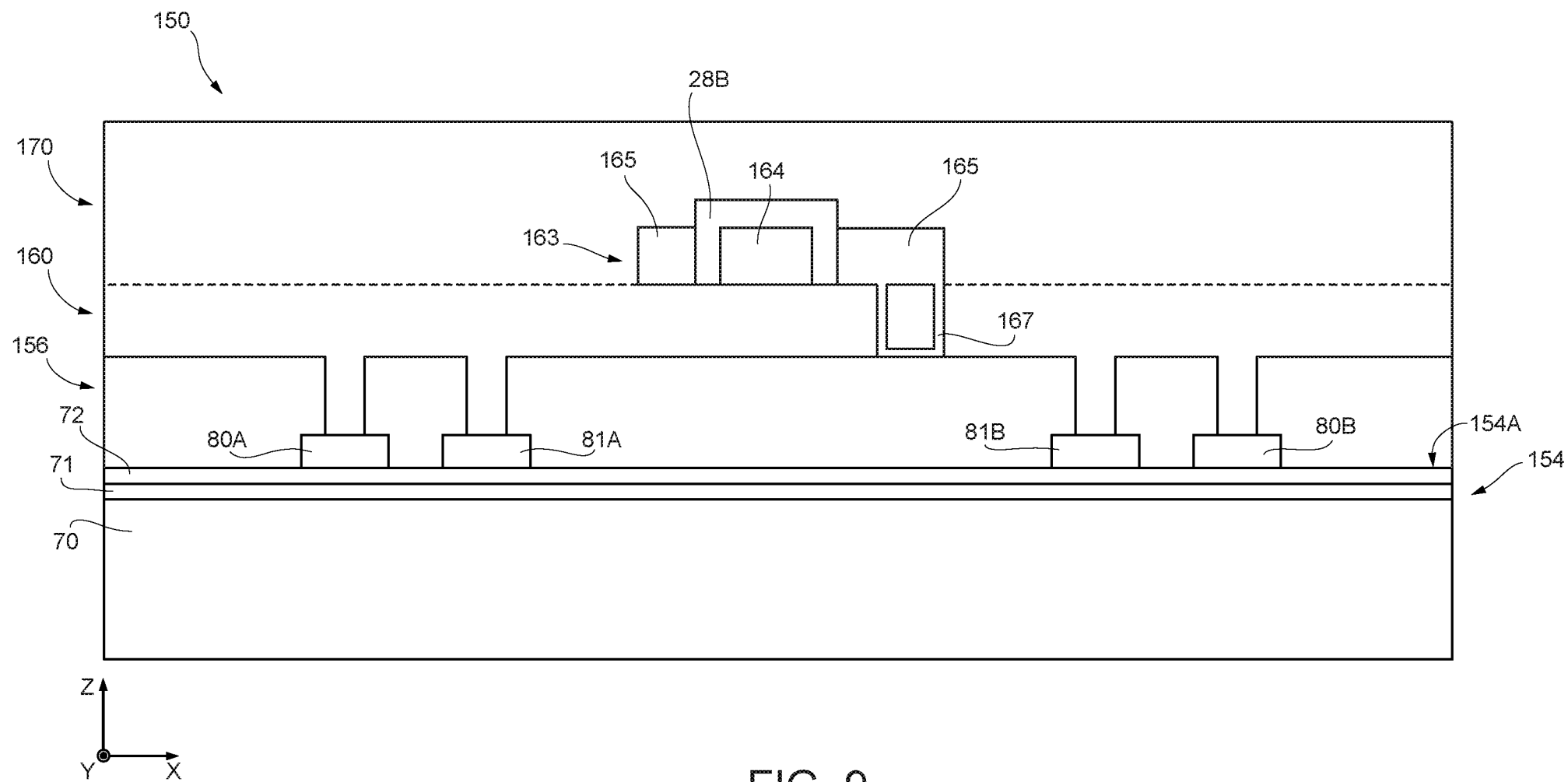


FIG. 8



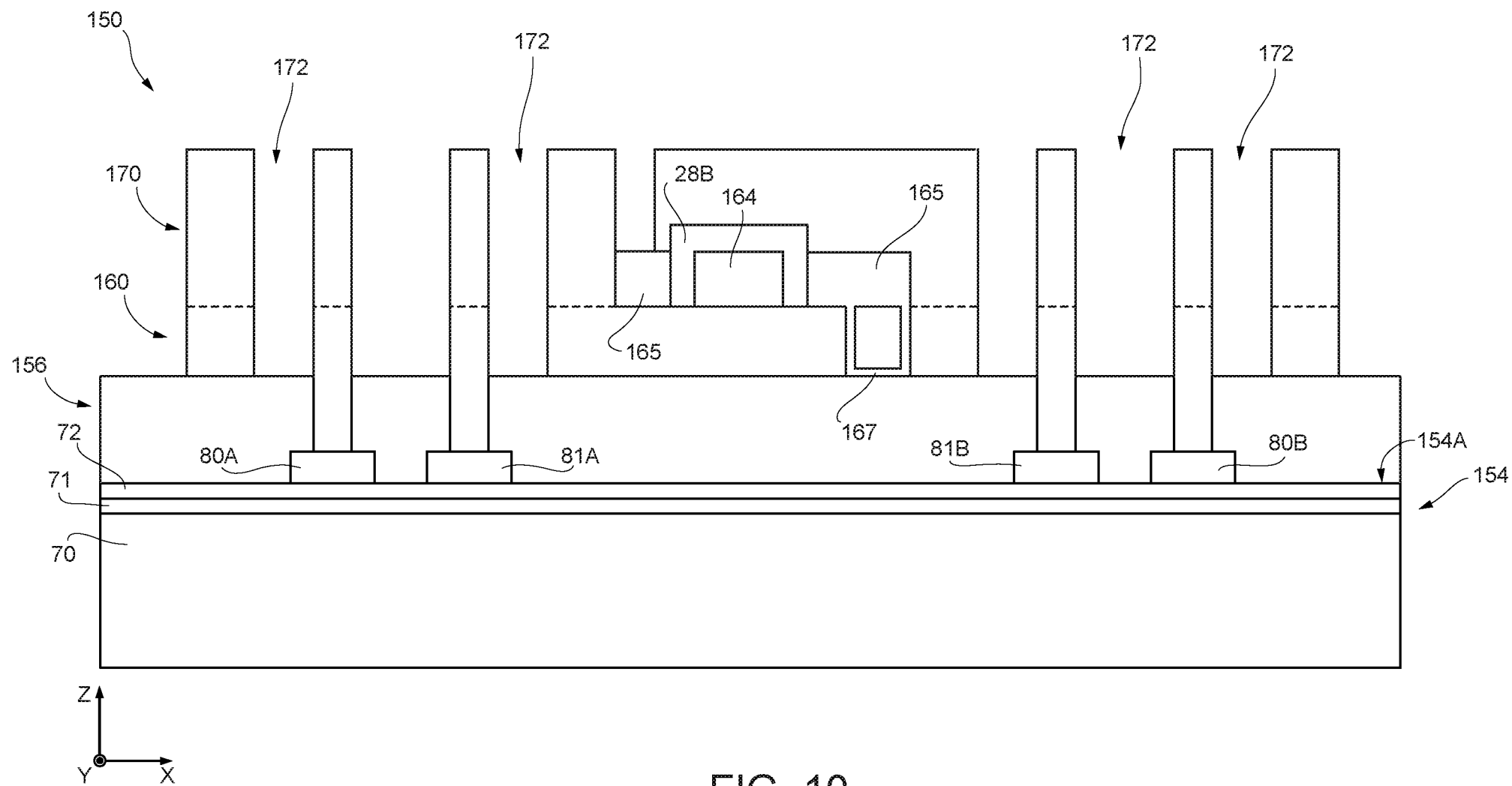


FIG. 10

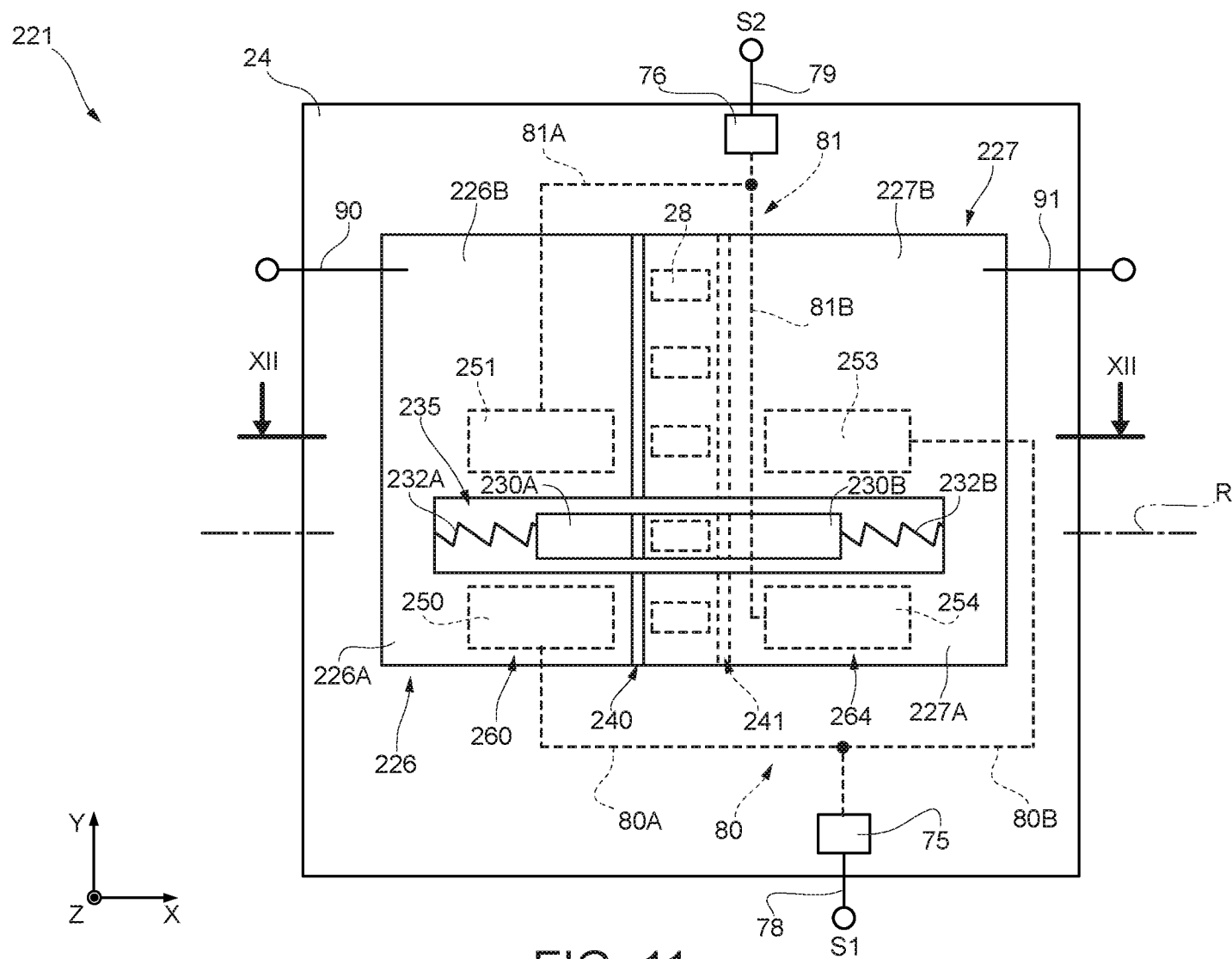


FIG. 11

