

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102021000024785
Data Deposito	28/09/2021
Data Pubblicazione	28/03/2023

Classifiche IPC

Titolo

PROCEDIMENTO DI FABBRICAZIONE DI UN DISPOSITIVO MICRO-ELETTRONICO A PARTIRE DA UNA SINGOLA FETTA SEMICONDUTTIVA E RELATIVO DISPOSITIVO MEMS

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:
"PROCEDIMENTO DI FABBRICAZIONE DI UN DISPOSITIVO MICRO-
ELETTROMECCANICO A PARTIRE DA UNA SINGOLA FETTA
5 SEMICONDUTTIVA E RELATIVO DISPOSITIVO MEMS"

di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA C. OLIVETTI 2

20864 AGRATE BRIANZA (MB)

10 Inventori: LONGONI Gianluca, SEGHIZZI Luca, NOMELLINI Andrea

* * *

La presente invenzione è relativa ad un procedimento di fabbricazione di un dispositivo microelettromeccanico ("micro-electro-mechanical", MEMS) a partire da una singola 15 fetta semiconduttiva, nonché al relativo dispositivo MEMS.

Come è noto, sono oggigiorno disponibili, a esempio, accelerometri MEMS, i quali consentono ad esempio di misurare accelerazioni lineari, inclinazioni e vibrazioni. Tali accelerometri MEMS comprendono generalmente una cavità sotto 20 vuoto, isolata dall'ambiente circostante. La realizzazione di tale cavità risulta difficoltosa. Tipicamente, la cavità viene formata mediante incollaggio ("bonding") di una fetta di cappuccio ("wafer cap") e di una fetta di dispositivo ("device wafer"); ad esempio, può essere eseguito un 25 "glassfrit bonding" oppure un "metal bonding", tuttavia

entrambe le soluzioni presentano alcuni svantaggi, oltre a richiedere appunto l'impiego di due wafer sagomati ("patterned wafer").

In particolare, entrambe le soluzioni si caratterizzano 5 per una ridotta uniformità del fattore di qualità degli accelerometri prodotti, a causa delle non uniformità derivanti dal processo di incollaggio delle due fette.

Inoltre, nel caso del "glassfrit bonding", la stampa del glassfrit ("glassfrit printing") ha tolleranze elevate, 10 il che comporta una riduzione dell'area utile per formare gli accelerometri; in aggiunta, la fetta di cappuccio deve essere sagomata in modo da accomodare la deformazione della pasta del glassfrit durante l'incollaggio, con conseguente aumento delle dimensioni finali degli accelerometri 15 prodotti. Inoltre, è richiesto l'uso di una pasta al piombo, materiale potenzialmente pericoloso per la salute.

Nel caso del "metal bonding", è necessario sagomare regioni metalliche sia sulla fetta di cappuccio che sulla fetta di dispositivo, nonché eseguire fasi di pulizia prima 20 di effettuare l'incollaggio. Inoltre, l'incollaggio viene eseguito a temperature prossime a 400 °C e con alte forze di incollaggio, cosa che può comportare la scheggiatura ("chipping") delle regioni metalliche. In entrambi i casi, il costo di produzione è elevato a causa dell'utilizzo di un 25 secondo wafer di silicio.

Scopo della presente invenzione è quindi fornire una soluzione che superi almeno in parte gli inconvenienti della tecnica nota.

Secondo la presente invenzione vengono realizzati un 5 procedimento di fabbricazione di un dispositivo MEMS e un relativo dispositivo MEMS, come definiti nelle rivendicazioni allegate.

Per una migliore comprensione della presente invenzione ne vengono ora descritte forme di realizzazione, a puro 10 titolo di esempio non limitativo, con riferimento ai disegni allegati, nei quali:

- le figure 1-17 mostrano schematicamente sezioni trasversali di una fetta di materiale semiconduttore durante fasi successive del procedimento di fabbricazione;

15 - le figure 18-20 mostrano schematicamente sezioni trasversali di una fetta di materiale semiconduttore durante fasi successive di una variante del procedimento di fabbricazione.

Nella descrizione che segue si fa riferimento, a titolo 20 puramente esemplificativo, alla fabbricazione di un generico dispositivo MEMS, indipendentemente dal tipo; ad esempio, il dispositivo MEMS può essere un accelerometro, un giroscopio, un inclinometro o un attuatore. Inoltre, si assume ad esempio che il dispositivo MEMS sia del tipo con comando/rilevazione 25 di tipo capacitivo.

Come mostrato in figura 1, il presente procedimento prevede inizialmente di formare una regione isolante 4 al di sopra di un substrato 6 di una fetta semiconduttiva ("semiconductor wafer") 8; il substrato 6 è formato da 5 materiale semiconduttore, quale ad esempio silicio.

Sebbene non mostrato, ed in modo di per sé noto, la regione isolante 4 può essere formata da sottoregioni di materiali differenti, quali ad esempio una sottoregione di ossido termico, disposta sul substrato 6, ed una sovrastante 10 sottoregione di ossido di alluminio stabilizzato termicamente. Inoltre, nel seguito la presente descrizione è limitata all'evoluzione di una porzione della fetta semiconduttiva 8 che dà origine a un singolo dispositivo MEMS.

15 Ciò premesso, come mostrato in figura 2, vengono rimosse selettivamente porzioni della regione isolante 4, in modo da formare recessi 9 che si affacciano sul sottostante substrato 6.

In seguito, come mostrato in figura 3, sulla regione 20 isolante 4 vengono formate una regione conduttriva di statore 10 e una regione conduttriva di rotore 12, le quali sono lateralmente sfalsate e si estendono, oltre che al di sopra della regione isolante 4, anche all'interno di rispettivi recessi 9, in modo da contattare corrispondenti porzioni del 25 substrato 6. Inoltre, viene formata anche una regione

conduttiva addizionale 14, la quale si estende su una corrispondente porzione della regione isolante 4, è separata dal substrato 6 ed è lateralmente sfalsata rispetto alla regione conduttiva di statore 10 ed alla regione conduttiva 5 di rotore 12.

Sebbene non mostrato, la regione conduttiva di statore 10, la regione conduttiva di rotore 12 e la regione conduttiva addizionale 14 possono essere formate ad esempio mediante deposizione, sulla regione isolante 4 ed 10 all'interno dei recessi 9, di uno strato di polisilicio con elevato drogaggio (ad esempio di tipo N), anche noto come polypyrunner, e successiva sagomatura ("patterning") tale per cui la regione conduttiva di statore 10, la regione conduttiva di rotore 12 e la regione conduttiva addizionale 15 14 sono elettricamente separate tra loro.

Inoltre, a titolo puramente esemplificativo, la figura 3 fa riferimento al caso in cui la regione conduttiva di statore 10 ha una forma chiusa e cava, in vista dall'alto, quale ad esempio una forma a cornice o corona circolare e 20 circonda, sempre in vista dall'alto, la regione conduttiva di rotore 12.

Successivamente, come mostrato in figura 4, viene formata una prima regione sacrificale 15, al di sopra della regione isolante 4, della regione conduttiva di statore 10, 25 della regione conduttiva di rotore 12 e della regione

conduttiva addizionale 14. La prima regione sacrificale 15 è formata da materiale dielettrico, quale ad esempio ossido TEOS.

In seguito, come mostrato in figura 5, vengono rimosse 5 selettivamente porzioni della prima regione sacrificale 15 e della regione isolante 4, in modo da formare una trincea 17, la quale ha un profilo chiuso, in vista dall'alto, e si estende appunto attraverso la prima regione sacrificale 15 e la regione isolante 4, in modo da essere delimitata 10 inferiormente da una corrispondente porzione esposta del substrato 6. Inoltre, vengono rimosse selettivamente porzioni della prima regione sacrificale 15, in modo da formare una finestra di statore 19, una finestra di rotore 21 ed una finestra di contrafforte 23 ("butress window"), 15 le quali attraversano la prima regione sacrificale 15 e si affacciano rispettivamente sulla regione conduttiva di statore 10, sulla regione conduttiva di rotore 12 e della regione conduttiva addizionale 14, in modo da esporre corrispondenti porzioni di queste ultime.

20 In modo di per sé noto, la trincea 17 può essere formata mediante esecuzione di un attacco ("etch") diverso dall'attacco che conduce alla formazione della finestra di statore 19, della finestra di rotore 21 e della finestra di contrafforte 23, cioè possono essere impiegate due maschere 25 differenti. La trincea 17, la finestra di statore 19, la

finestra di rotore 21 e la finestra di contrafforte 23 formano una sorta di pluralità di finestre preliminari.

Successivamente, come mostrato in figura 6, viene eseguita una prima deposizione di silicio, in modo da formare 5 uno strato strutturale 25 di silicio policristallino, ad esempio con drogaggio di tipo N ed avente uno spessore ad esempio compreso tra 15 μ m e 60 μ m.

In maggior dettaglio, lo strato strutturale 25 si estende, in contatto diretto, sulla prima regione 10 sacrificale 15, nonché all'interno della trincea 17, della finestra di statore 19, della finestra di rotore 21 e della finestra di contrafforte 23, in modo da contattare il substrato 6, la regione conduttriva di statore 10, la regione conduttriva di rotore 12 e la regione conduttriva addizionale 15. Lo strato strutturale 25 può inoltre essere soggetto a una planarizzazione chimico-meccanica ("chemical-mechanical planarization").

In pratica, lo strato strutturale 25 viene formato su una regione di base della fetta semiconduttriva 8, la quale 20 include il substrato 6, la regione isolante 4, la regione conduttriva di statore 10, la regione conduttriva di rotore 12, la regione conduttriva addizionale 14 e la prima regione sacrificale 15.

Successivamente, come mostrato in figura 7, sullo 25 strato strutturale 25 viene formato uno strato isolante 27,

formato ad esempio da nitruro di silicio (SiN), il quale, come mostrato in figura 8, viene successivamente sagomato, in modo da formare una prima, una seconda ed una terza regione di disaccoppiamento elettrico 31, 32, 33,

5 lateralmente sfalsate tra loro.

Ad esempio, la prima regione di disaccoppiamento elettrico 31 sovrasta, a distanza, la trincea 17. La seconda e la terza regione di disaccoppiamento elettrico 32, 33 sovrastano rispettivamente, a distanza, una parte della finestra di statore 19 e la finestra di rotore 21. La prima, la seconda e la terza regione di disaccoppiamento elettrico 31, 32, 33 sono lateralmente sfalsate rispetto alla finestra di contrafforte 23.

In seguito, mediante impiego di una maschera (non mostrata), vengono selettivamente rimosse porzioni dello strato strutturale 25 lateralmente sfalsate rispetto alla prima, alla seconda ed alla terza regione di disaccoppiamento elettrico 31, 32, 33, come mostrato in figura 9, in modo da formare una pluralità di prime aperture 35. In pratica, le prime aperture 35 si estendono attraverso lo strato strutturale 25 e sono delimitate inferiormente da corrispondenti porzioni della prima regione sacrificale 15. Inoltre, per motivi che saranno chiariti in seguito, le prime aperture 35 possono avere una cosiddetta dimensione critica (CD) ad esempio non superiore a 4 μ m.

In maggior dettaglio, le prime aperture 35 delimitano lateralmente porzioni dello strato strutturale 25 che formano, rispettivamente, una regione perimetrale 40, una regione fissa di statore 42, una massa mobile 44, una prima 5 ed una seconda molla 46, 48, una regione preliminare di contrafforte 49 e una regione a pilastro 50.

In particolare, la regione fissa di statore 42 si estende nella finestra di statore 19 e sovrasta, in contatto diretto, la regione conduttiva di statore 10. Inoltre, la 10 regione fissa di statore 42 circonda lateralmente la massa mobile 44, la prima e la seconda molla 46, 48 e la regione a pilastro 50. Parte della regione fissa di statore 42 è sovrastata dalla seconda regione di disaccoppiamento elettrico 32.

15 La massa mobile 44 è lateralmente sfalsata rispetto alla prima, alla seconda e alla terza regione di disaccoppiamento elettrico 31, 32, 33, dunque è esposta superiormente. Inoltre, la massa mobile 44 sovrasta una porzione della prima regione sacrificale 15 e, sebbene non 20 mostrato, ha una forma cava (ad esempio, ha una forma di cornice rettangolare o corona circolare, in vista dall'alto), in modo da circondare lateralmente la regione a pilastro 50.

In maggior dettaglio, la regione a pilastro 50 si 25 estende al di sotto della terza regione di disaccoppiamento

elettrico 33. Inoltre, la regione a pilastro 50 si estende nella finestra di rotore 21, in modo da contattare la regione conduttiva di rotore 12. La massa mobile 44 è meccanicamente accoppiata alla regione a pilastro 50 mediante la prima e la 5 seconda molla 46, 48, ciascuna delle quali è interposta tra la massa mobile 44 e la regione a pilastro 50. Ad esempio, in condizioni di riposo, la prima e la seconda molla 46, 48 sono disposte in modo simmetrico rispetto alla regione a pilastro 50.

10 In maggior dettaglio, la prima e la seconda molla 46, 48 sono lateralmente sfalsate rispetto alla prima, alla seconda e alla terza regione di disaccoppiamento elettrico 31, 32, 33, dunque sono esposte superiormente. Inoltre, la prima e la seconda molla 46, 48 sovrastano, in contatto 15 diretto, la prima regione sacrificale 15. Una volta rilasciate, la prima e la seconda molla 46, 48 sono deformabili in modo da consentire alla massa mobile 44 di traslare in un piano parallelo alla superficie principale del substrato 6 della fetta semiconduttiva 8, come spiegato 20 in seguito.

La regione perimetrale 40 si estende al di sotto della prima regione di disaccoppiamento elettrico 31; inoltre, la regione perimetrale 40 si estende nella trincea 17, in modo da contattare il substrato 6. In aggiunta, la regione 25 perimetrale 40 circonda lateralmente la regione fissa di

statore 42 e la regione preliminare di contrafforte 49.

La regione preliminare di contrafforte 49 è lateralmente sfalsata rispetto alla prima, alla seconda e alla terza regione di disaccoppiamento elettrico 31, 32, 33, 5 dunque è esposta superiormente; inoltre, la regione preliminare di contrafforte 49 si estende nella finestra di contrafforte 23, in modo da contattare la regione conduttiva addizionale 14. In aggiunta, la regione preliminare di contrafforte 49 è interposta, a distanza, tra la regione 10 fissa di statore 42 e la regione perimetrale 40.

In seguito, come mostrato in figura 10, viene formata una prima regione dielettrica di copertura 54, la quale è formata ad esempio mediante esecuzione di una o più deposizioni di ossido (ad esempio, ossido di silicio da 15 deposizione chimica da vapore - CVD - a base di TEOS), seguite da una planarizzazione CMP. In tal modo, la prima regione dielettrica di copertura 54 sovrasta, in contatto diretto la prima, la seconda e la terza regione di disaccoppiamento elettrico 31, 32, 33, nonché le porzioni 20 esposte dello strato strutturale 25, e quindi la parte esposta della regione fissa di statore 42, la massa mobile 44, la prima e la seconda molla 46, 48 e la regione preliminare di contrafforte 49. Inoltre, la prima regione dielettrica di copertura 54 chiude superiormente le prime 25 aperture 35, ad esempio senza riempirle completamente.

Inoltre, come mostrato ancora in figura 10, al di sopra della prima regione dielettrica di copertura 54 viene formata una seconda regione dielettrica di copertura 56, ad esempio mediante deposizione di ossido (ad esempio ossido di silicio 5 da CVD a base di TEOS); a tal proposito, sebbene in figura 10 la prima e la seconda regione dielettrica di copertura 54, 56 siano mostrate come distinte, esse possono essere formate da un medesimo materiale, in modo da formare un'unica seconda regione sacrificale 57. A tal proposito, nelle figure 10 successive, verrà appunto mostrata complessivamente la seconda regione sacrificale 57.

Inoltre, la seconda regione dielettrica di copertura 56 viene lavorata (ad esempio, mediante esecuzione di un attacco selettivo di tipo "dry", a tempo) in modo da formare degli 15 incavi superficiali 58.

In seguito, come mostrato in figura 11, vengono rimosse selettivamente porzioni della seconda regione sacrificale 57, in modo da formare una finestra di ancoraggio di rotore 60, una finestra di ancoraggio perimetrale 61, una finestra 20 di ancoraggio di statore 62 e una finestra di ancoraggio di contrafforte 69.

In particolare, la finestra di ancoraggio perimetrale 61 attraversa la seconda regione sacrificale 57 e si affaccia sulla prima regione di disaccoppiamento elettrico 31.

25 La finestra di ancoraggio di statore 62 attraversa la

seconda regione sacrificale 57 e si affaccia sulla seconda regione di disaccoppiamento elettrico 32.

La finestra di ancoraggio di rotore 62 attraversa la seconda regione sacrificale 57 e si affaccia sulla terza 5 regione di disaccoppiamento elettrico 33.

La finestra di ancoraggio di contrafforte 69 attraversa la seconda regione sacrificale 57 e si affaccia sulla regione preliminare di contrafforte 49.

La finestra di ancoraggio di contrafforte 69, la 10 finestra di ancoraggio di rotore 60, la finestra di ancoraggio perimetrale 61 e la finestra di ancoraggio di statore 62 possono essere formate durante un medesimo attacco, dunque impiegando una singola maschera.

In seguito, come mostrato in figura 12, viene eseguita 15 una seconda deposizione di silicio, in modo da formare uno strato di soffitto ("ceiling layer") 75 di silicio policristallino, ad esempio con drogaggio di tipo N ed avente uno spessore ad esempio compreso tra 5 μ m e 10 μ m. Viene inoltre eseguita una successiva planarizzazione dello strato 20 di soffitto 75.

In maggior dettaglio, lo strato di soffitto 75 si estende, in contatto diretto, sulla seconda regione sacrificale 57. Inoltre, porzioni dello strato di soffitto 75 si estendono rispettivamente all'interno della finestra 25 di ancoraggio di rotore 60, della finestra di ancoraggio

perimetrale 61, della finestra di ancoraggio di statore 62 e della finestra di ancoraggio di contrafforte 69, in modo da contattare la prima, la seconda e la terza regione di disaccoppiamento elettrico 31, 32, 33, nonché la regione 5 preliminare di contrafforte 49. A tal proposito, lo strato di soffitto 75 forma con la regione preliminare di contrafforte 49 un'unica regione semiconduttiva (per motivi di chiarezza, in figura 12 e nelle figure successive viene comunque mantenuta la linea di demarcazione tra lo strato di 10 soffitto 75 e la regione preliminare di contrafforte 49). Inoltre, lo strato di soffitto 75 riempie gli incavi 58.

Successivamente, come mostrato in figura 13, vengono rimosse selettivamente porzioni dello strato di soffitto 75, mediante esecuzione di un attacco "dry", in modo da formare 15 una pluralità di seconde aperture 77, le quali si affacciano su corrispondenti porzioni della seconda regione sacrificale 57. Le seconde aperture 77 possono avere dimensione critica ad esempio non superiore a 1 μ m.

In seguito, come mostrato in figura 14, sullo strato di 20 soffitto 75 viene deposto uno strato 80 di polisilicio permeabile all'acido fluoridrico (HF); nel seguito ci si riferisce allo strato 80 come allo strato permeabile 80. Lo strato permeabile 80 chiude superiormente le seconde aperture 77, ad esempio senza riempirle completamente.

25 In maggior dettaglio, lo strato permeabile 80 ha uno

spessore ad esempio compreso tra 70nm e 200nm e viene formato mediante deposizione chimica da vapore a bassa pressione ("low pressure chemical vapor deposition", LPCVD), usando silano (SiH_4) come precursore, con pressione compresa ad esempio tra 100 mTorr e 1000 mTorr e con temperatura compresa ad esempio tra 580°C e 640°C. In tal modo, lo strato permeabile 80 presenta una struttura porosa, permeabile all'acido fluoridrico gassoso.

Successivamente, vengono rimosse selettivamente la prima e la seconda regione sacrificale 15, 57, facendo fluire acido fluoridrico allo stato gassoso attraverso lo strato permeabile 80 e le seconde aperture 77. In particolare, dopo aver causato la rimozione della seconda regione sacrificale 57, l'acido fluoridrico attraversa le prime aperture 35 e causa la rimozione della prima regione sacrificale 15. In tal modo, come mostrato in figura 15, si verifica il rilascio della massa mobile 44 e della prima e della seconda molla 46, 48.

In pratica, l'acido fluoridrico attacca il materiale dielettrico che forma la prima e la seconda regione sacrificale 15, 57, ma sostanzialmente non attacca il polisilicio, né la regione isolante 4. In particolare, la regione isolante 4 non viene attaccata dall'acido fluoridrico grazie alla presenza dell'ossido di alluminio termicamente stabilizzato. Inoltre, l'acido fluoridrico non

attacca il nitruro di silicio che forma la prima, la seconda e la terza regione di disaccoppiamento elettrico 31, 32, 33.

Gli spazi precedentemente occupati dalla prima e dalla seconda regione sacrificale 15, 57 formano, insieme alle 5 prime aperture 35, una cavità 99, la quale è delimitata lateralmente dalla regione perimetrale 40, dalla prima regione di disaccoppiamento elettrico 31 e dalla porzione dello strato di soffitto 75 che contatta quest'ultima. La prima regione di disaccoppiamento elettrico 31 consente di 10 isolare elettricamente la regione perimetrale 40 dallo strato di soffitto 75.

La cavità 99 è inoltre delimitata superiormente dallo strato di soffitto 75 ed è in comunicazione fluidica con le sovrastanti seconde aperture 77. La cavità 99 è inoltre 15 delimitata inferiormente dalla regione isolante 4.

All'interno della cavità 99 si estendono la regione fissa di statore 42, la massa mobile 44, la prima e la seconda molla 46, 48, la regione preliminare di contrafforte 49 e la regione a pilastro 50.

20 In particolare, la massa mobile 44 e la prima e la seconda molla 46, 48 sono sospese all'interno della cavità 99. Le parti dello strato di soffitto 75 che occupavano precedentemente gli incavi 58 fungono da cosiddetti Z stopper per la massa mobile 44.

25 Come precedentemente spiegato, almeno parte della

regione fissa di statore 42 è fissata allo strato di soffitto 75, mediante interposizione della prima regione di disaccoppiamento elettrico 31; la regione a pilastro 50 è fissata allo strato di soffitto 75 mediante interposizione 5 della terza regione di disaccoppiamento elettrico 33. La regione fissa di statore 42 e la regione a pilastro 50 sono comunque elettricamente isolate dallo strato di soffitto 75.

Successivamente, come mostrato in figura 16, viene eseguita una terza deposizione di silicio, in modo da formare 10 sullo strato permeabile 80 uno strato di sigillatura 95 di silicio policristallino, ad esempio con drogaggio di tipo N ed avente uno spessore ad esempio compreso tra 2 μ m e 50 μ m. Lo strato di sigillatura 95 può inoltre essere soggetto a una planarizzazione.

15 In dettaglio, lo strato di sigillatura 95 può essere formato mediante deposizione in ambiente a pressione controllata (ad esempio, compresa tra 0.1 bar e 1 bar) e con temperatura compresa tra 800°C e 1200°C. Inoltre, in modo opzionale può essere eseguito un processo di 20 degassificazione, al fine di consentire all'idrogeno presente nella cavità 99 di diffondere attraverso lo strato di sigillatura 95, in modo da far sì che la cavità 99 sia approssimativamente sotto vuoto o comunque presenti al suo interno una pressione desiderata.

25 In maggior dettaglio, il processo di deposizione dello

strato di sigillatura 95 causa anche una variazione della
permeabilità dello strato permeabile 80; in particolare, la
struttura precedentemente porosa dello strato permeabile 80
subisce uno riempimento, tale per cui lo strato permeabile
5 80 perde la precedente caratteristica di permeabilità ed
assume una struttura cristallina approssimativamente simile
a quella dello strato di sigillatura 95 e a quella dello
strato di soffitto 75, ma con grani mediamente più piccoli
rispetto ai grani delle strutture cristalline dello strato
10 di sigillatura 95 e dello strato di soffitto 75. Per tale
motivo, a partire dalla figura 16 ci si riferisce allo strato
trasformato 180, per indicare lo strato permeabile 80, come
trasformato in seguito alla formazione dello strato di
sigillatura 95.

15 Da un punto di vista cristallografico, tra lo strato
trasformato 180 e lo strato di sigillatura 95 è quindi
presente un'interfaccia, cioè una discontinuità relativa
alla struttura cristallina. Analogamente, un'altra
interfaccia è presente tra lo strato trasformato 180 e lo
20 strato di soffitto 75.

In pratica, lo strato di sigillatura 95 e lo strato
trasformato 180 formano una chiusura ermetica delle seconde
aperture 77, cioè sigillano superiormente l'insieme formato
dalla cavità 99 e dalle seconde aperture 77, il quale è
25 inoltre chiuso ermeticamente grazie all'accoppiamento

meccanico presente tra lo strato di soffitto 75 e la regione perimetrale 40, nonché grazie all'accoppiamento meccanico presente tra la regione perimetrale 40 ed il substrato 6.

Inoltre, la regione preliminare di contrafforte 49
5 forma, insieme alla sovrastante porzione dello strato di soffitto 75, una struttura di contrafforte, la quale assolve la funzione di puntellare localmente l'insieme formato dallo strato di soffitto 75, dallo strato trasformato 180 e dallo strato di sigillatura 95, in modo da incrementarne la 10 rigidità, al fine di prevenirne la deformazione (ad esempio, l'incurvatura). La disposizione e la forma della struttura di contrafforte possono essere ottimizzate ad esempio in funzione della disposizione e della forma della regione fissa di statore 42, della massa mobile 44 e della regione a 15 pilastro 50.

In seguito, il procedimento di fabbricazione prevede due possibili varianti.

Secondo una prima variante, mostrata in figura 17, la fetta semiconduttiva 8 viene capovolta ed il substrato 6
20 viene successivamente lavorato in modo da formare almeno una prima e una seconda via attraverso il silicio ("through silicon vias") 96, 98; inoltre, vengono formate una metallizzazione di statore 100 ed una metallizzazione di rotore 102, tali metallizzazioni essendo disposte sulla 25 superficie principale del substrato 6 opposta rispetto alla

regione isolante 4. Inoltre, la prima via attraverso il silicio 96 collega elettricamente la metallizzazione di statore 100 alla regione conduttiva di statore 10, mentre la seconda via attraverso il silicio 98 collega elettricamente 5 la metallizzazione di rotore 102 alla regione conduttiva di rotore 12.

Successivamente, il procedimento di fabbricazione può procedere in modo di per sé noto, ad esempio formando ulteriori regioni di passivazione e piazzole ("pad") di 10 contatto, non mostrate. Inoltre, viene poi eseguito un processo di taglio della fetta semiconduttiva 8, ad esempio lungo linee di taglio CL che attraversano la regione perimetrale 40 (mostrate in figura 17), in modo da singolare una pluralità di dispositivi MEMS (uno mostrato in figura 15, dove è indicato con 101).

Secondo una seconda variante, mostrata in figura 18, la fetta semiconduttiva 8, dopo essere stata capovolta, viene temporaneamente incollata ("bonded") ad una fetta di supporto 120, mediante impiego di uno strato adesivo 122, il 20 quale è interposto tra lo strato di sigillatura 95 e la fetta di supporto 120.

Successivamente, come mostrato in figura 19, lo spessore del substrato 6 viene ridotto mediante un cosiddetto processo di lappatura e levigatura ("lapping and 25 polishing").

In seguito, come mostrato in figura 20, vengono formate la prima e la seconda via attraverso il silicio ("through silicon vias") 96, 98, dopo che sono state formate la metallizzazione di statore 100 e la metallizzazione di rotore 5 102. In seguito, il procedimento di fabbricazione procede nel medesimo modo descritto con riferimento alla prima variante.

Ai fini pratici, questa seconda variante consente di ottenere dispositivi MEMS aventi spessore finale 10 ulteriormente ridotto (ad esempio, inferiore a 300 μ m) rispetto a quanto ottenibile con la prima variante.

I vantaggi che la presente soluzione consente di ottenere emergono chiaramente dalla descrizione precedente.

In particolare, la presente soluzione consente di 15 ridurre i costi di fabbricazione, dal momento che prevede l'impiego di un singolo wafer. Inoltre, la presente soluzione consente di ridurre le dimensioni (in particolare, lo spessore) del dispositivo MEMS.

In aggiunta, la presente soluzione consente di ottenere 20 una migliore uniformità del fattore di qualità dei dispositivi MEMS prodotti, dal momento che non richiede di implementare un processo di incollaggio di fette.

La presente soluzione inoltre non richiede di impiegare 25 composti contenenti piombo ("lead-containing compounds"), quali ad esempio la pasta glassfrit.

Risulta infine chiaro che al procedimento di fabbricazione e al dispositivo MEMS qui descritti ed illustrati possono essere apportate modifiche e varianti senza per questo uscire dall'ambito protettivo della 5 presente invenzione, come definito nelle rivendicazioni allegate.

Ad esempio, il dispositivo MEMS può essere del tipo con comando/rilevazione di tipo non capacitivo (ad esempio, piezoelettrico). In generale, mentre la presente descrizione 10 si è focalizzata su un dispositivo MEMS in cui gli elementi funzionali (intesi come elementi mobili e/o deformabili) comprendono la massa mobile 44 e la prima e la seconda molla 46, 48, è possibile che il dispositivo MEMS presenti un diverso tipo di elementi funzionali (ad esempio, elementi a 15 sbalzo), mobili all'interno della cavità 99, la quale può essere ancora chiusa ermeticamente. E' quindi possibile che, al posto della regione fissa di statore 42 e della regione a pilastro 50, che funge da regione fissa di rotore, siano presenti regioni semiconduttrive che fungono ad esempio da 20 anodo e catodo.

La rimozione della prima e della seconda regione sacrificale 15, 57 può risultare parziale.

La struttura di contrafforte, e quindi la struttura preliminare di contrafforte 49 può essere assente, come anche 25 regione conduttriva addizionale 14.

E' inoltre possibile che vengano eseguite operazioni addizionali, quali ad esempio la creazione dei cosiddetti contatti di massa ("ground").

Infine, è possibile usare materiali differenti. In 5 particolare, è possibile usare semiconduttori diversi dal silicio/polisilicio.

RIVENDICAZIONI

1. Procedimento di fabbricazione di un dispositivo MEMS

(101) comprendente:

- formare una prima regione dielettrica sacrificiale

5 (15) su una fetta semiconduttiva (4,6,10,12,14);

- formare uno strato strutturale (25) di materiale semiconduttore sulla prima regione dielettrica sacrificiale

(15);

- formare una pluralità di prime aperture (35)

10 attraverso lo strato strutturale (25), le quali delimitano lateralmente almeno un elemento funzionale (44,46,48) e si affacciano sulla prima regione dielettrica sacrificiale (15);

- formare una seconda regione dielettrica sacrificiale

(57) sullo strato strutturale (25), in modo da chiudere le 15 prime aperture (35);

- formare uno strato di soffitto (75) di materiale semiconduttore sulla seconda regione dielettrica sacrificiale

(57);

- formare una pluralità di seconde aperture (77)

20 attraverso lo strato di soffitto (75), le quali si affacciano sulla seconda regione dielettrica sacrificiale (57);

- formare sullo strato di soffitto (77) uno strato permeabile (80), il quale chiude le seconde aperture (77);

- rimuovere selettivamente la prima e la seconda regione

25 dielettrica sacrificiale (15,57) facendo fluire un gas

attraverso lo strato permeabile (80), in modo da rilasciare l'elemento funzionale (44, 46, 48); e successivamente

- formare sullo strato permeabile (80) uno strato di sigillatura (75) di materiale semiconduttore.

30 2. Procedimento di fabbricazione secondo la rivendicazione 1, comprendente inoltre:

- prima di formare lo strato di soffitto (75), formare una pluralità di finestre di ancoraggio (60, 61, 62, 69) attraverso la seconda regione dielettrica sacrificale (57);

35 ed in cui detto strato di soffitto (75) si estende all'interno delle finestre di ancoraggio (60, 61, 62, 69).

3. Procedimento secondo la rivendicazione 2, comprendente inoltre:

40 - formare sullo strato strutturale (25) un numero di regioni di disaccoppiamento elettrico (31, 32, 33) di materiale dielettrico, le prime aperture (35) essendo lateralmente sfalsate rispetto alle regioni di disaccoppiamento elettrico (31, 32, 33);

45 ed in cui la seconda regione dielettrica sacrificale (57) si estende sullo strato strutturale (25) e sulle regioni di disaccoppiamento elettrico (31, 32, 33); ed in cui almeno una prima finestra di ancoraggio (60, 61, 62) si affaccia su una porzione di una corrispondente regione di disaccoppiamento elettrico (31, 32, 33), la porzione dello 50 strato di soffitto (75) che si estende in detta prima

finestra di ancoraggio (60, 61, 62) contattando detta
porzione di una corrispondente regione di disaccoppiamento
elettrico (31, 32, 33); ed in cui almeno una seconda finestra
di ancoraggio (69) è lateralmente sfalsata rispetto alle
55 regioni di disaccoppiamento elettrico (31, 32, 33) e si
affaccia sullo strato strutturale (25), la porzione dello
strato di soffitto (75) che si estende in detta seconda
finestra di ancoraggio (69) contattando una corrispondente
porzione (49) dello strato strutturale (25), con cui forma
60 una struttura di contrafforte (49, 75) lateralmente sfalsata
rispetto all'elemento funzionale (44, 46, 48).

4. Procedimento di fabbricazione secondo una qualsiasi
delle rivendicazioni precedenti, comprendente inoltre:

65 - prima di formare lo strato strutturale (25), formare
una pluralità di finestre preliminari (19, 21, 23) attraverso
la prima regione dielettrica sacrificale (15);

ed in cui lo strato strutturale (25) si estende
all'interno delle finestre preliminari (17, 19, 21, 23).

70 5. Procedimento di fabbricazione secondo la
rivendicazione 4, in cui la fetta semiconduttiva (8)
comprende:

75 - un substrato semiconduttivo (6);
- una regione isolante (4), la quale è disposta sul
substrato semiconduttivo (6) ed è attraversata da un numero
di recessi (9) che si affacciano sul substrato semiconduttivo

(6);

- una pluralità di regioni conduttrive (10,12,14) separate tra loro, le quali si estendono sulla regione isolante (4) ed all'interno dei recessi (9);

80 ed in cui ciascuna finestra preliminare (17, 19, 21, 23) si affaccia alternativamente su una corrispondente regione conduttriva (10,12,14) o sul substrato semiconduttivo (6).

6. Procedimento di fabbricazione secondo la rivendicazione 5, comprendente inoltre:

- formare un numero di contatti (100,102) sul substrato semiconduttivo (6), su un lato opposto rispetto alla regione isolante (4); e

90 - collegare elettricamente detti contatti (100,102) a corrispondenti regioni conduttrive (10,12).

7. Procedimento di fabbricazione secondo la rivendicazione 6, comprendente inoltre, prima di formare i contatti (100,102):

95 - disporre la fetta semiconduttiva (8) su un supporto temporaneo (120); e

- ridurre lo spessore del substrato semiconduttivo (6).

8. Procedimento di fabbricazione secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui la rimozione 100 selettiva della prima e della seconda regione dielettrica

sacrificale (15,57) causa la formazione di una cavità (99), la quale è in comunicazione fluidica con le seconde aperture (77); ed in cui l'elemento funzionale (44,46,48) è sospeso nella cavità (99).

105 9. Procedimento di fabbricazione secondo la rivendicazione 8, in cui la cavità (99) è chiusa ermeticamente.

10. Procedimento di fabbricazione secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui lo strato strutturale (25), lo strato di soffitto (77), lo strato permeabile (80) e lo strato di sigillatura (95) sono formati 110 da polisilicio.

11. Procedimento di fabbricazione secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detto gas è acido 115 fluoridrico.

12. Procedimento di fabbricazione secondo la rivendicazione 11, quando dipendente da una qualsiasi delle rivendicazioni 5-7, in cui la regione isolante (4) è formata almeno in parte da ossido di alluminio.

120 13. Dispositivo MEMS (30) comprendente:

- una regione di base (4, 6, 10, 12, 14) comprendente un substrato semiconduttivo (6);

- uno strato strutturale (25) di materiale semiconduttore, disposto sulla regione di base (4, 6, 10, 125 12, 14) ed attraversato da una pluralità di prime aperture

(35), le quali delimitano lateralmente almeno un elemento funzionale (44, 46, 48);

- uno strato di soffitto (75) di materiale semiconduttore, disposto al di sopra dello strato strutturale (25) ed attraversato da una pluralità di seconde aperture (77);

- uno strato trasformato (180), il quale è disposto sullo strato di soffitto (77) e chiude le seconde aperture (77); e

- uno strato di sigillatura (75) di materiale semiconduttore, disposto sullo strato trasformato (180).

14. Dispositivo MEMS secondo la rivendicazione 13, in cui lo strato trasformato (180) è formato da polisilicio.

15. Dispositivo MEMS secondo la rivendicazione 14, in cui lo strato di soffitto (75) e lo strato di sigillatura (95) sono formati da polisilicio ed hanno strutture cristalline con grani mediamente più grossi rispetto ai grani della struttura cristallina dello strato trasformato (180).

16. Dispositivo MEMS secondo la rivendicazione 15, in cui lo strato strutturale (25) è formato da polisilicio.

17. Dispositivo MEMS secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 13 a 16, in cui la regione di base (4, 6, 10, 12, 14), lo strato strutturale (25) e lo strato di soffitto (75) delimitano una cavità (99), la quale è in comunicazione fluidica con le seconde aperture (77); ed in

cui l'elemento funzionale (44, 46, 48) è sospeso nella cavità (99).

18. Dispositivo MEMS secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 13 a 17, in cui la regione di base (4, 6, 155 10, 12, 14) comprende inoltre:

- una regione isolante (4), la quale è disposta sul substrato semiconduttivo (6) ed è attraversata da un numero di recessi (9) che si affacciano sul substrato semiconduttivo (6); e

160 - una pluralità di regioni conduttrive (10, 12, 14) separate tra loro, le quali si estendono sulla regione isolante (4) ed all'interno dei recessi (9);

ed in cui lo strato strutturale (25) contatta il substrato semiconduttivo (6) e le regioni conduttrive 165 (10,12,14).

19. Dispositivo MEMS secondo la rivendicazione 18, comprendente inoltre:

- un numero di contatti (100,102) disposti sul substrato semiconduttivo (6), su un lato opposto rispetto alla regione isolante (4), detti contatti (100,102) essendo elettricamente collegati a corrispondenti regioni conduttrive (10,12).

20. Dispositivo MEMS secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 13 a 19, comprendente:

175 - un numero di regioni di disaccoppiamento elettrico

(31, 32, 33) di materiale dielettrico, disposte sullo strato strutturale (25), le prime aperture (35) essendo lateralmente sfalsate rispetto alle regioni di disaccoppiamento elettrico (31, 32, 33);

180 ed in cui almeno una porzione dello strato di soffitto (75) contatta una porzione di una corrispondente regione di disaccoppiamento elettrico (31, 32, 33); ed in cui almeno una porzione dello strato di soffitto (75) contatta una corrispondente porzione (49) dello strato strutturale (25),
185 con cui forma una struttura di contrafforte (49, 75) lateralmente sfalsata rispetto all'elemento funzionale (44, 46, 48).

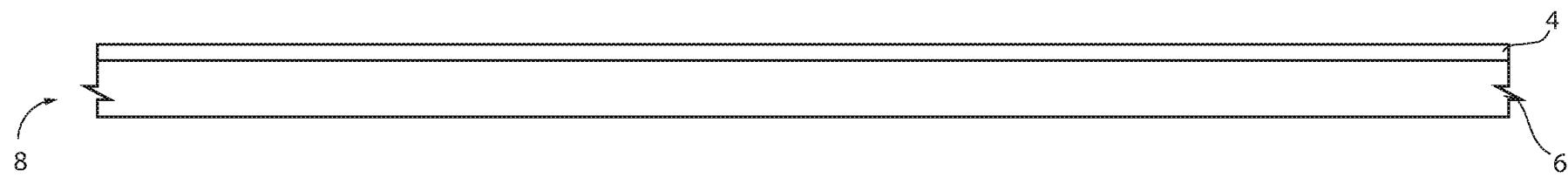


FIG. 1

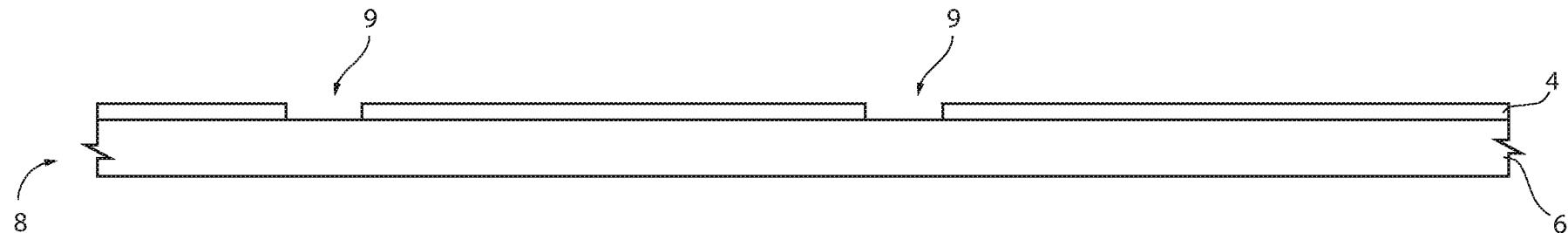


FIG. 2

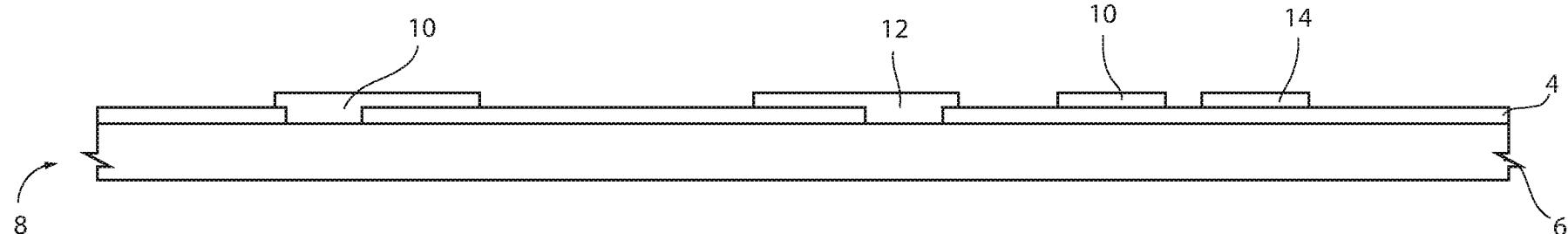


FIG. 3

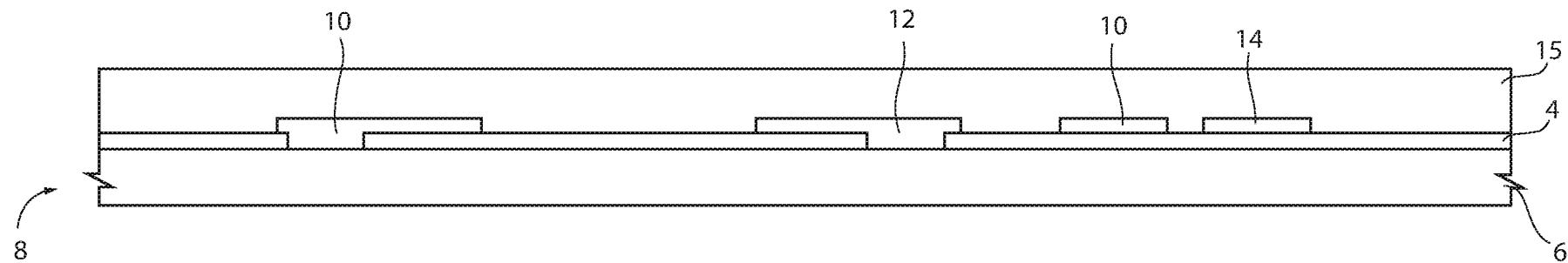


FIG. 4

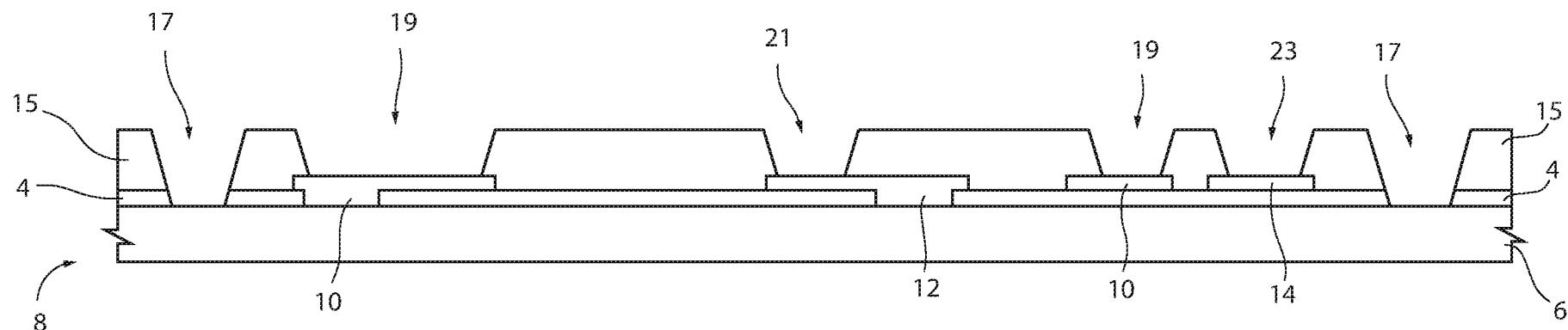


FIG. 5

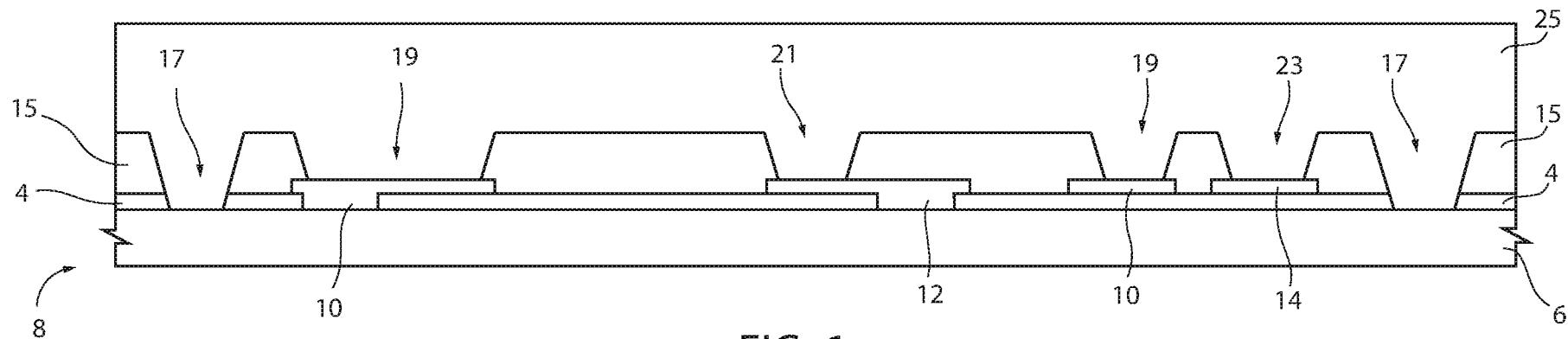


FIG. 6

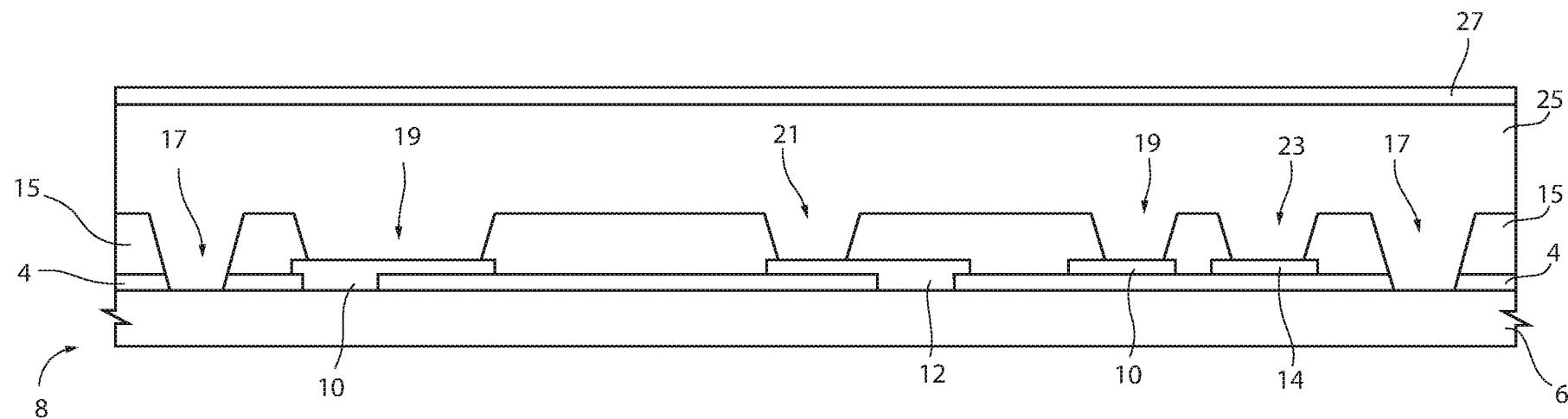


FIG. 7

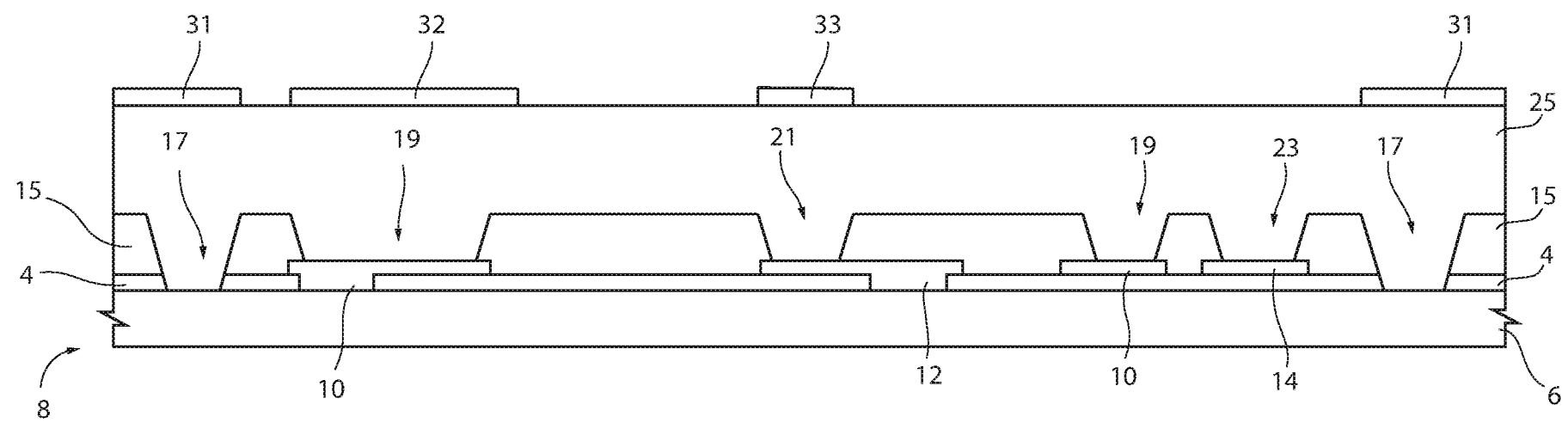


FIG. 8

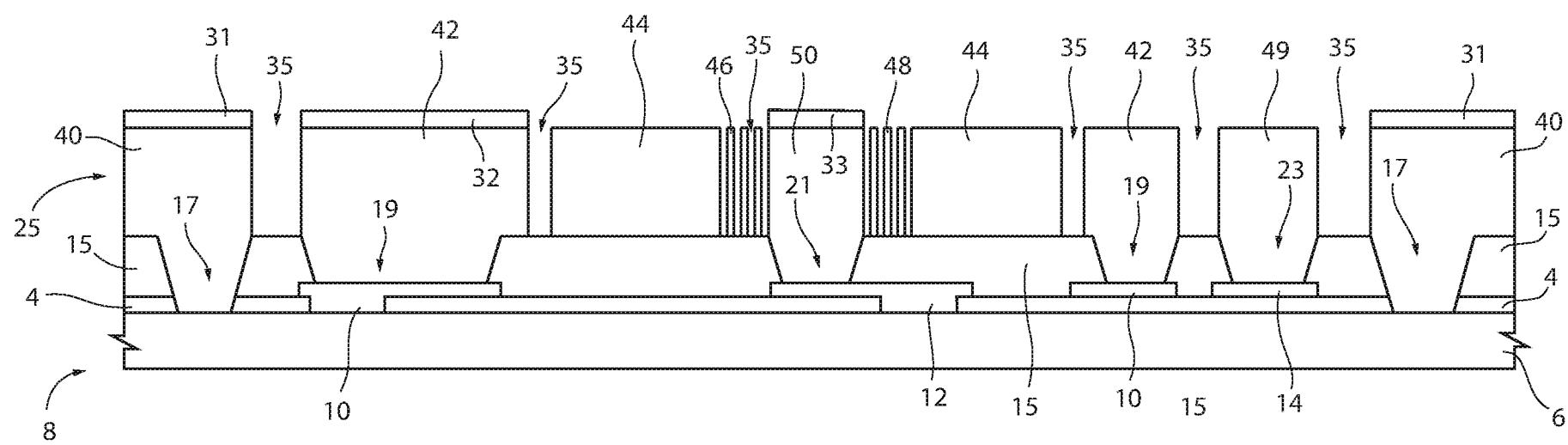


FIG. 9

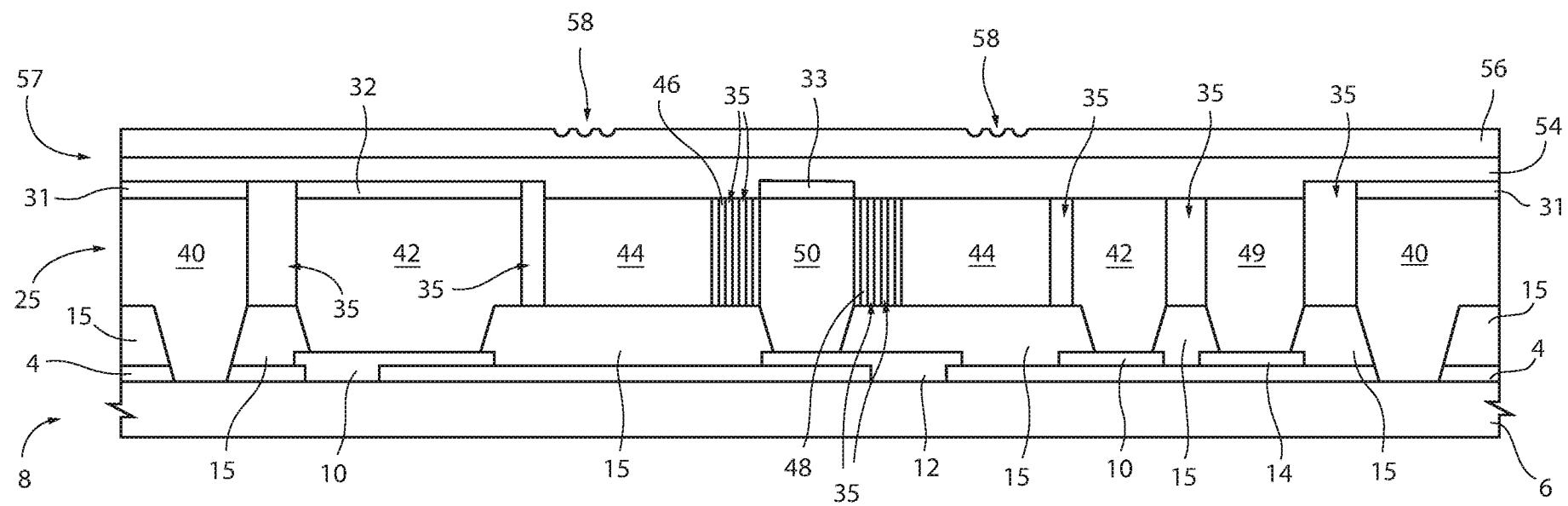


FIG. 10

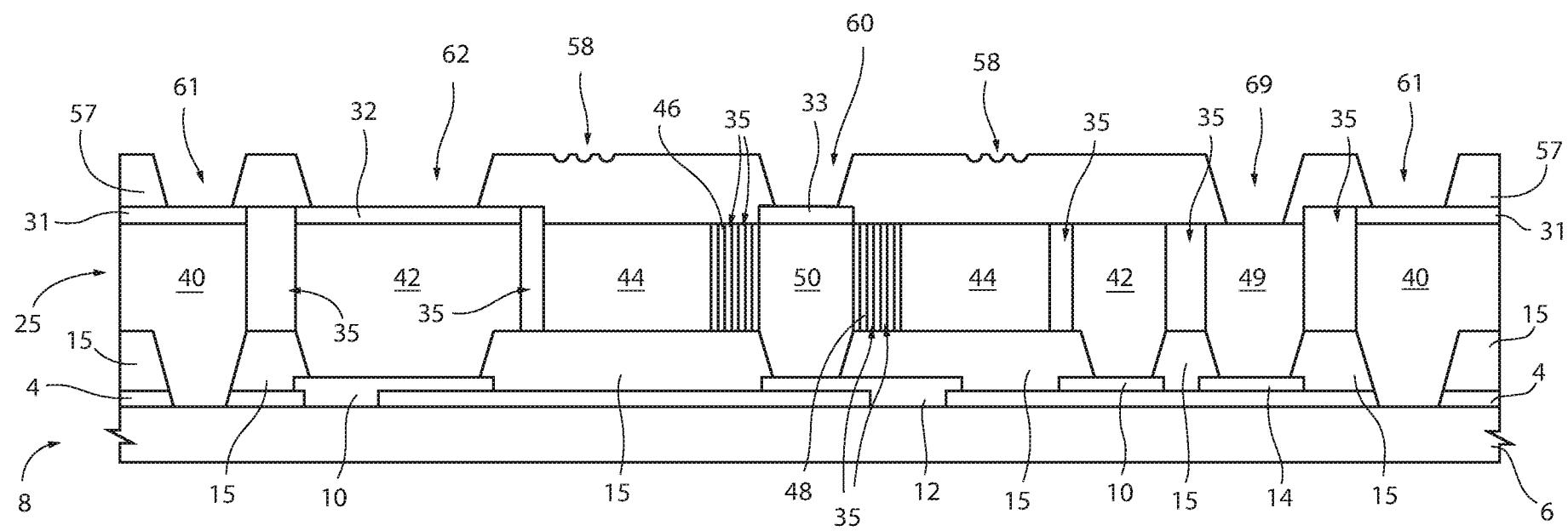


FIG. 11

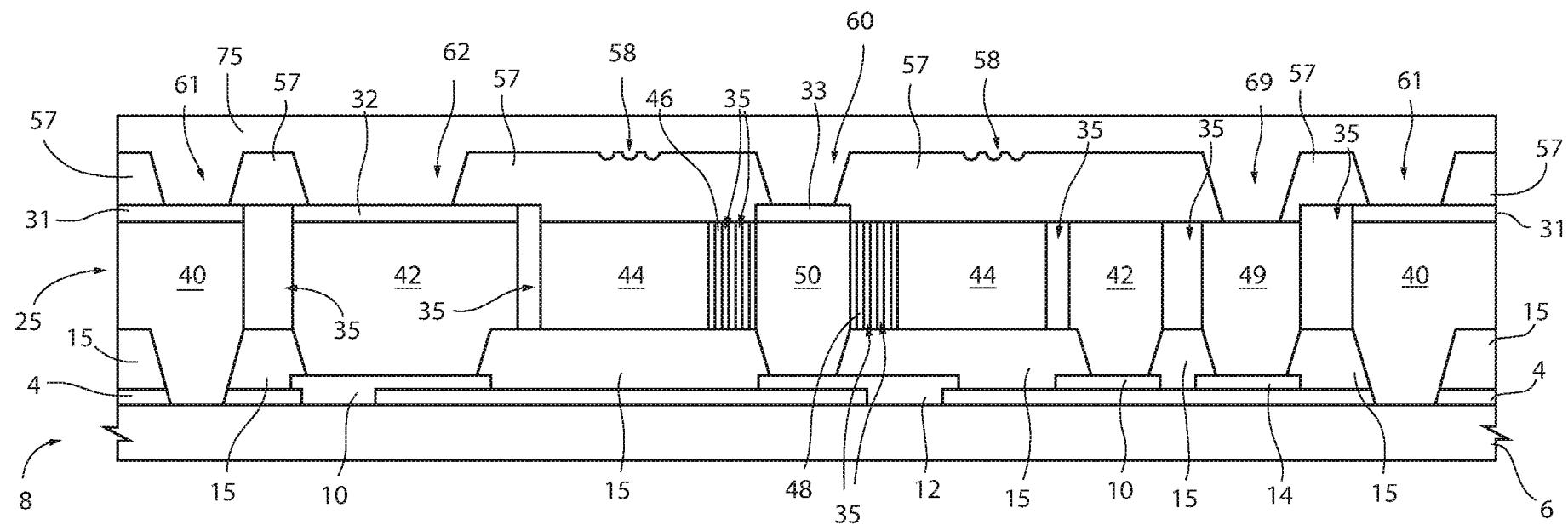


FIG. 12

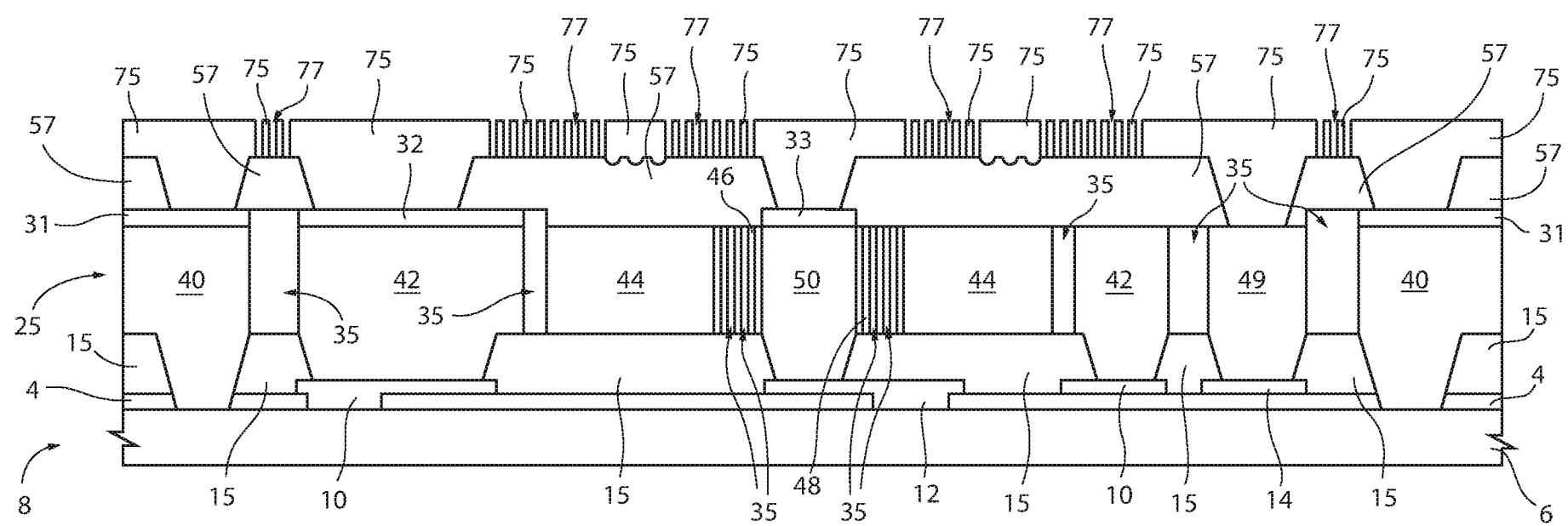


FIG. 13

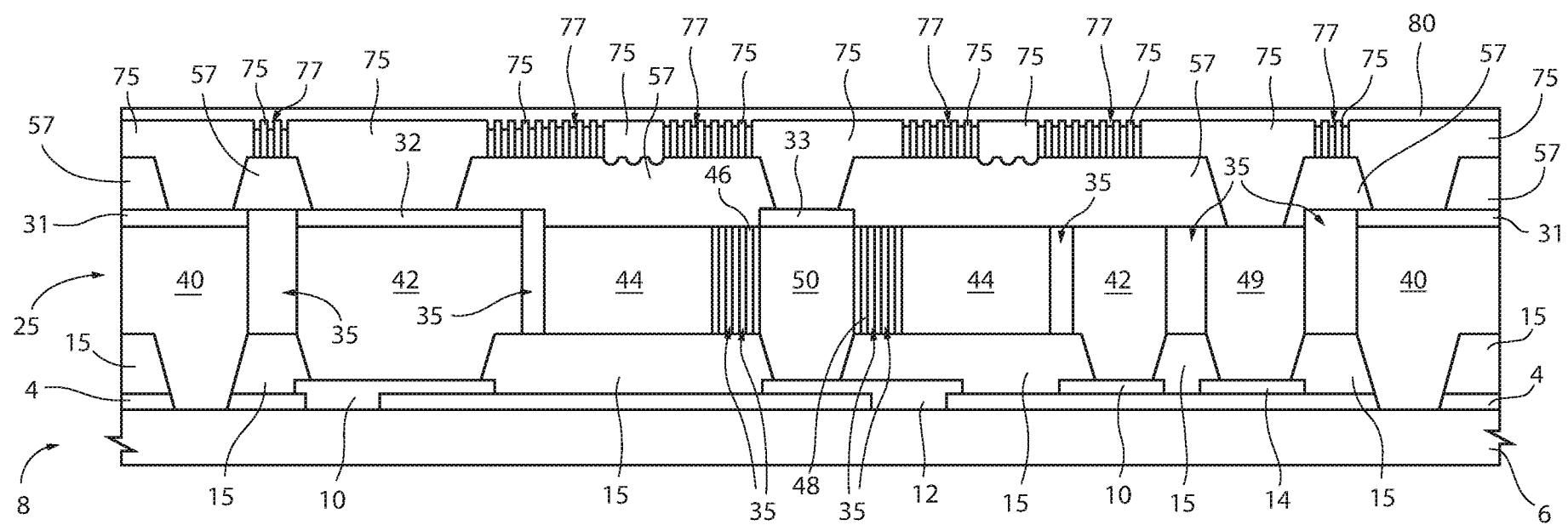


FIG. 14

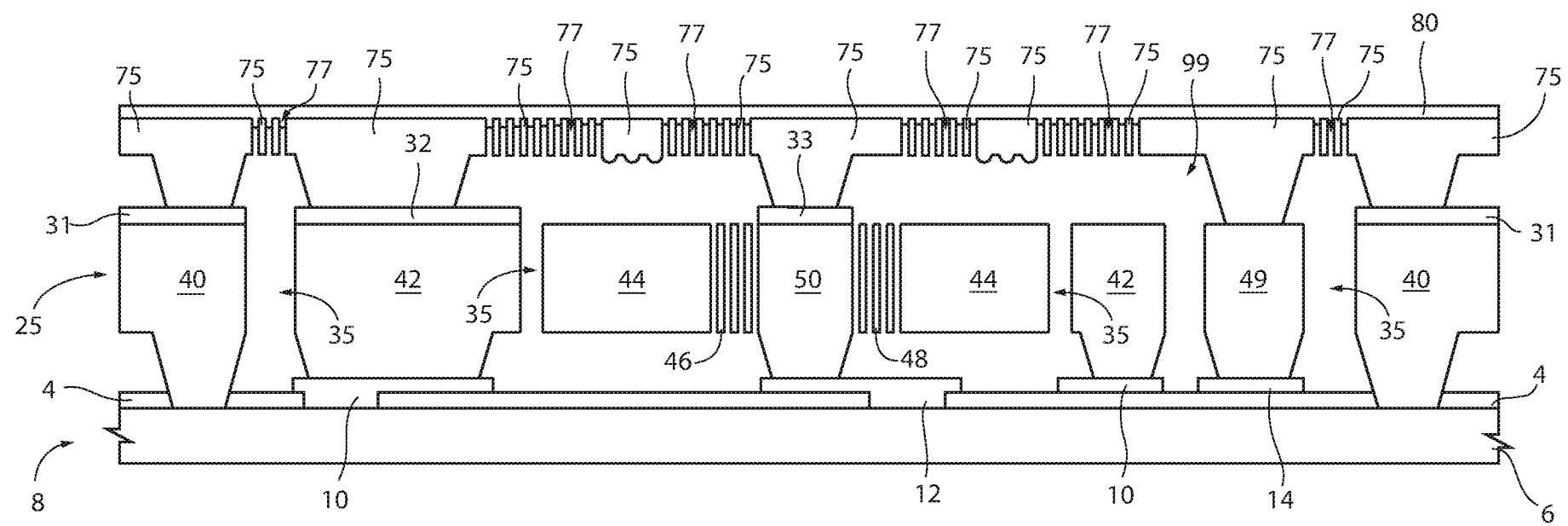


FIG. 15

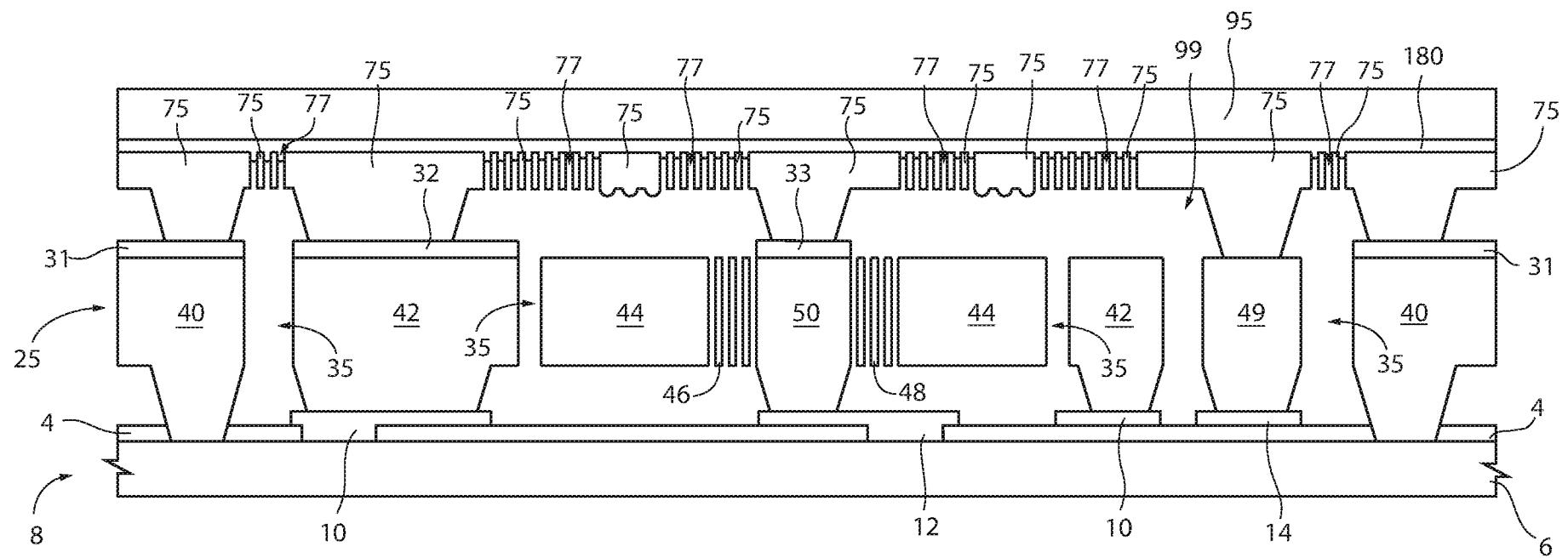


FIG. 16

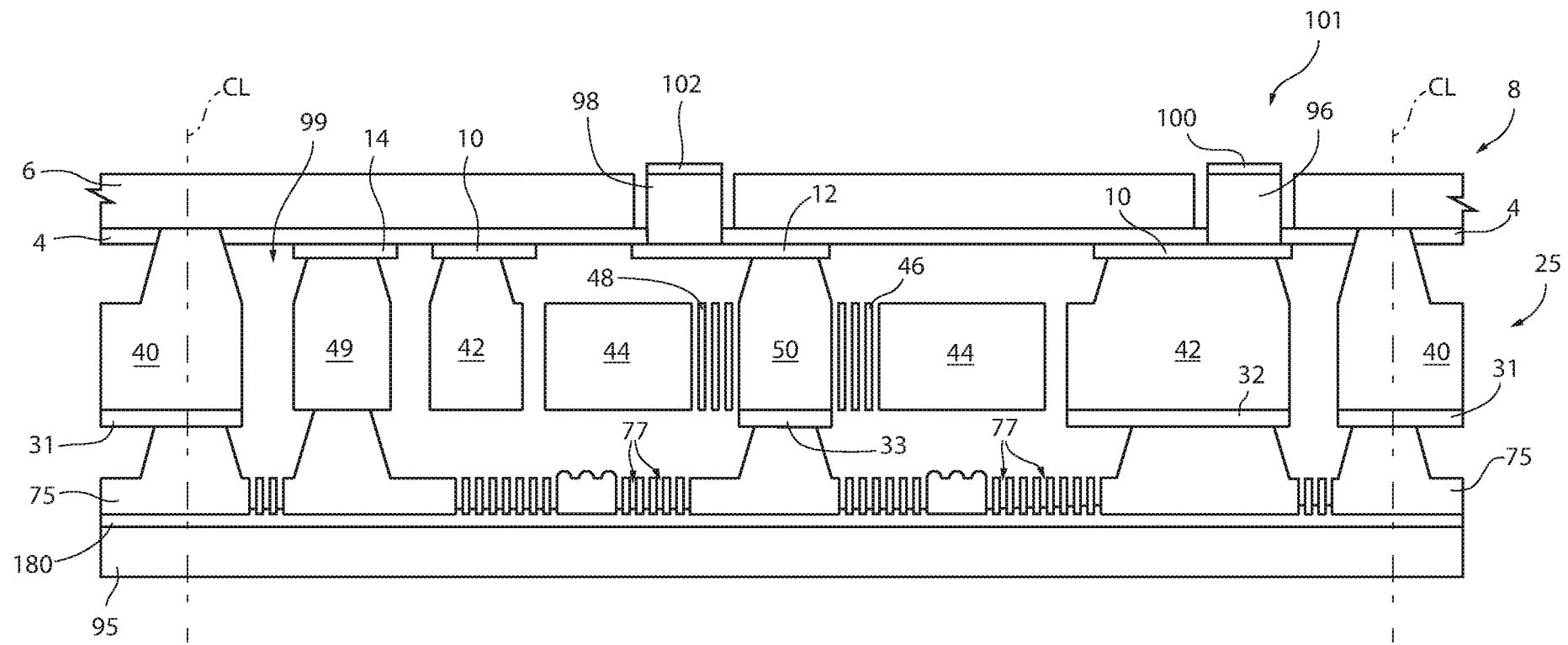


FIG. 17

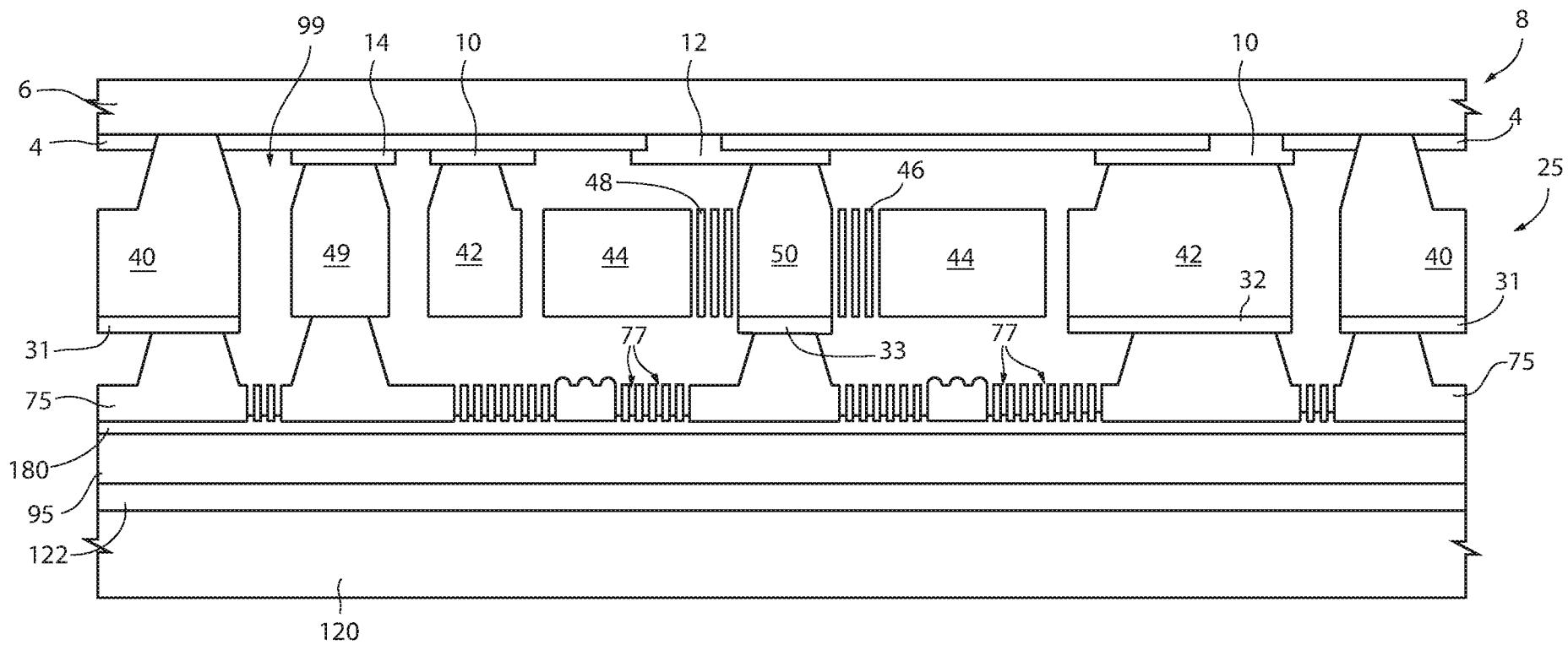


FIG. 18

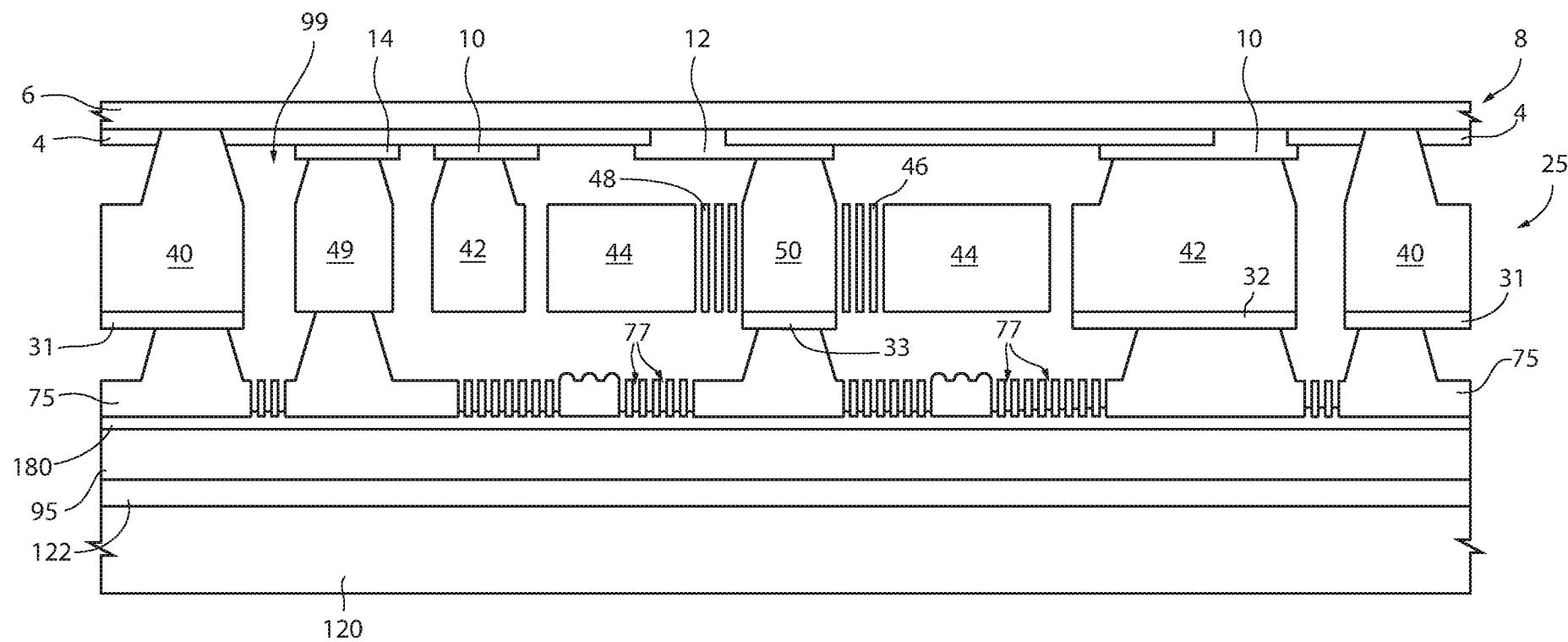


FIG. 19

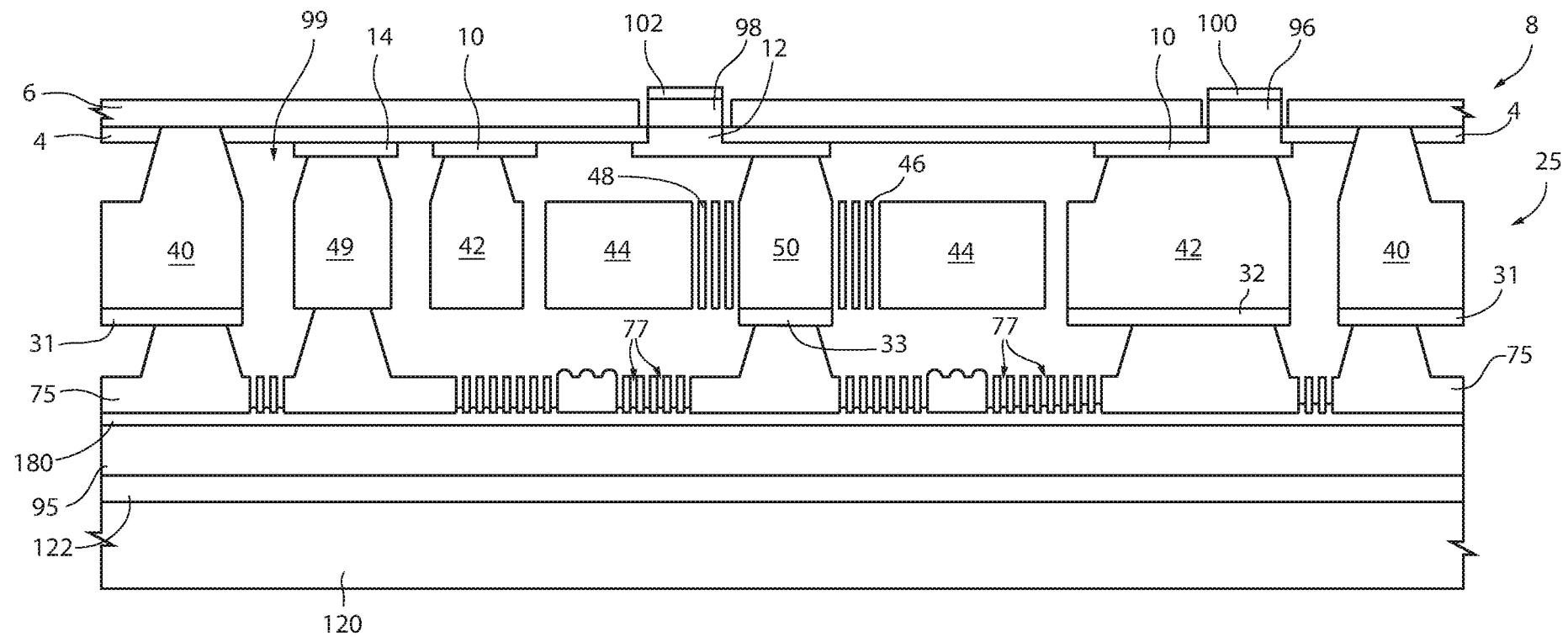


FIG. 20