



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

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102019000007196
Data Deposito	24/05/2019
Data Pubblicazione	24/11/2020

Classifiche IPC

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	41	J	2	02

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	41	J	2	11

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	41	J	2	14

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	41	J	2	16

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	41	J	2	025

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	41	J	2	03

Titolo

DISPOSITIVO MICROFLUIDICO PER L'ESPULSIONE CONTINUA DI FLUIDI, IN PARTICOLARE PER LA STAMPA CON INCHIOSTRI, E RELATIVO PROCEDIMENTO DI FABBRICAZIONE

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"DISPOSITIVO MICROFLUIDICO PER L'ESPULSIONE CONTINUA DI FLUIDI, IN PARTICOLARE PER LA STAMPA CON INCHIOSTRI, E RELATIVO PROCEDIMENTO DI FABBRICAZIONE"

di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA C. OLIVETTI 2

20864 AGRATE BRIANZA (MB)

Inventori: GIUSTI Domenico, COLECCHIA Andrea Nicola,
SANTORUVO Gaetano

* * *

La presente invenzione è relativa ad un dispositivo microfluidico per l'espulsione di fluidi, in particolare per la stampa con inchiostri, e al relativo procedimento di fabbricazione.

Come è noto, per spruzzare inchiostri, profumi e simili, è stato proposto l'uso di dispositivi microfluidici di piccole dimensioni, che possono essere ottenuti utilizzando tecniche di fabbricazione microelettroniche a basso costo (cosiddetti MEMS - Micro-Electro-Mechanical Systems).

Tipicamente, un dispositivo microfluidico comprende una pluralità di celle, ciascuna delle quali comprende una camera, atta a contenere un liquido, ed un ugello ("nozzle"), attraverso il quale il liquido può uscire dal dispositivo

microfluidico, sotto forma di goccioline ("droplets"), in direzione del supporto da stampare.

In maggior dettaglio, sono noti dispositivi microfluidici del tipo "drop-on-demand" (DoD), in cui la cella presenta un attuatore, tipicamente di tipo termico o piezoelettrico, il quale può essere controllato elettronicamente in modo da forzare l'emissione di una singola gocciolina, attraverso l'ugello; in assenza dell'azione dell'attuatore, il liquido nella camera non ha una pressione sufficiente per consentire il passaggio di goccioline attraverso l'ugello. Gli attuatori delle celle vengono quindi azionati in funzione della stampa desiderata. Conseguentemente, può capitare che gli ugelli non vengano attraversati dall'inchiostro per periodi di tempo relativamente elevati, nel qual caso è possibile che si formino incrostazioni indesiderate negli ugelli.

Sono altresì noti dispositivi microfluidici del tipo a getto continuo di inchiostro, i quali consentono di emettere, attraverso ciascun ugello, un flusso costante ("steady stream") di inchiostro. Inoltre, ciascuna cella dispone di un rispettivo attuatore termico, il quale è controllabile in modo da perturbare il summenzionato flusso, in modo da causare la suddivisione del flusso in goccioline. In particolare, l'attuatore termico scalda parte del flusso, in modo da ridurre localmente la viscosità e la tensione

superficiale, causando così la generazione, a partire dal flusso di inchiostro, di una successione di goccioline. Le dimensioni delle goccioline dipendono dalla durata degli impulsi di calore generati dall'attuatore termico e dalla velocità del flusso. Inoltre, le goccioline di maggiori dimensioni vengono dirette verso il supporto da stampare, mentre le goccioline di dimensioni minori vengono recuperate da un sistema di ricircolo; in altre parole, le goccioline di dimensioni inferiori vengono deviate prima di raggiungere il supporto da stampare, e successivamente vengono impiegate nuovamente per alimentare le celle del dispositivo microfluidico.

Ai fini pratici, i dispositivi microfluidici a getto continuo si caratterizzano per un basso rischio di intasare gli ugelli, nonché per un ciclo di vita indipendente dal tipo di immagini che vengono stampate e dalla velocità di stampa. Tuttavia, tali dispositivi microfluidici presuppongono l'impiego di un inchiostro capace di esibire apprezzabili variazioni di viscosità e/o di tensione superficiale, al variare della temperatura. Conseguentemente, tali dispositivi microfluidici a getto continuo pongono delle restrizioni sugli inchiostri utilizzabili.

Scopo della presente invenzione è quindi fornire un dispositivo microfluidico a getto continuo di inchiostro che

superi almeno in parte gli inconvenienti della tecnica nota.

Secondo la presente invenzione vengono realizzati un dispositivo microfluidico MEMS per l'espulsione di fluidi ed un procedimento di fabbricazione, come definiti nelle rivendicazioni 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:

- la figura 1 mostra schematicamente una sezione trasversale (non in scala) di una porzione di una cella di un dispositivo microfluidico per spruzzare liquidi, presa lungo una linea di sezione I-I mostrata in figura 2;

- la figura 2 mostra schematicamente una vista prospettica esplosa della cella mostrata in figura 1;

- la figura 3 mostra schematicamente una vista dall'alto con porzioni rimosse di una porzione del dispositivo microfluidico;

- la figura 4 mostra schematicamente una vista prospettica dal basso di una porzione della cella mostrata in figura 2;

- la figura 5 mostra schematicamente una vista prospettica dall'alto di una parte del dispositivo microfluidico;

- la figura 6 mostra esempi di andamenti nel tempo di

una tensione applicata al presente dispositivo microfluidico e di una pressione all'interno del presente dispositivo microfluidico;

- la figura 7 mostra schematicamente una vista laterale di una porzione di un ugello del presente dispositivo microfluidico, attraversato da un fluido;

- la figura 8 mostra una sequenza di diciassette fotogrammi relativi a successivi istanti di tempo (procedendo da sinistra verso destra), tutti i fotogrammi mostrando schematicamente una medesima porzione di spazio a valle di un ugello;

- le figure 9 e 10 mostrano schematicamente viste dall'alto con porzioni rimosse di varianti del presente dispositivo microfluidico;

- la figura 11 mostra uno schema a blocchi di una stampante comprendente il presente dispositivo microfluidico;

- le figure 12-14 mostrano schematicamente sezioni trasversali di una porzione di una prima fetta ("wafer"), in successive fasi di fabbricazione;

- le figure 15-16 mostrano schematicamente sezioni trasversali di una porzione di una seconda fetta ("wafer"), in successive fasi di fabbricazione; e

- le figure 17-20 mostrano schematicamente sezioni trasversali di una porzione di una fetta composita ottenuta

per incollaggio della prima e della seconda fetta.

La figura 1 mostra una sezione trasversale di una porzione di una cella 2 di un dispositivo microfluidico 1 per spruzzare liquidi, presa in un piano XZ di un sistema di riferimento cartesiano XYZ.

La cella 2 comprende un corpo semiconduttore 3, formato ad esempio da silicio, al cui interno è formata una camera 4, descritta in maggior dettaglio in seguito. Ad esempio, il corpo semiconduttore 3 ha la forma di un parallelepipedo con asse parallelo all'asse Z e con facce laterali parallele, alternativamente, al piano ZY o al piano ZX.

La cella 2 comprende inoltre una struttura intermedia 5, la quale a sua volta è formata da un primo strato dielettrico 6, da uno strato semiconduttivo 8, da un secondo strato dielettrico 10 e da un primo ed un secondo strato protettivo 12, 14.

In dettaglio, il primo strato dielettrico 6 è formato ad esempio da ossido di silicio e si estende al di sopra del corpo semiconduttore 3, in contatto diretto.

Lo strato semiconduttivo 8 è formato ad esempio dal medesimo materiale semiconduttore del corpo 3 e si estende al di sopra del primo strato dielettrico 6, in contatto diretto.

Il secondo strato dielettrico 10 è formato ad esempio da ossido di silicio e si estende al di sopra dello strato

semiconduttivo 8, in contatto diretto.

Il primo strato protettivo 12 è formato ad esempio da ossido di silicio e si estende al di sopra del secondo strato dielettrico 10.

Il secondo strato protettivo 14 è formato ad esempio da nitrato di silicio si estende al di sopra del primo strato protettivo 12, in contatto diretto.

Nuovamente con riferimento alla camera 4, essa è delimitata lateralmente da porzioni del corpo semiconduttore 3. Inoltre, la camera 4 è delimitata superiormente da una parte della struttura intermedia 5; in particolare, le porzioni del primo strato dielettrico 6, dello strato semiconduttivo 8 e del secondo strato dielettrico 10 che formano tale parte di struttura intermedia 5 formano una membrana 15, la quale è sospesa al di sopra della camera 4. La camera 4 è aperta inferiormente.

La cella 2 comprende inoltre un primo attuatore piezoelettrico 20, il quale include un elettrodo inferiore 22, formato da materiale conduttore (ad esempio, platino o molibdeno) e disposto sul secondo strato dielettrico 10, e una prima regione piezoelettrica 24, formata ad esempio da PZT (Pb , Zr , TiO_3), AlN o un niobato alcalino quale il materiale noto con la sigla KNN ($\text{K}_{0,5}\text{Na}_{0,5}\text{NbO}_3$) e disposta sull'elettrodo inferiore 22, in contatto diretto; il primo attuatore piezoelettrico 20 comprende inoltre un elettrodo

superiore 26, formato da materiale conduttore (ad esempio, platino, rutenio, una lega di titanio e tungsteno oppure ossido di iridio) e disposto sulla prima regione piezoelettrica 24, in contatto diretto. In aggiunta, porzioni del primo e del secondo strato protettivo 12, 14 sovrastano e circondano lateralmente il primo attuatore piezoelettrico 20. Tali porzioni del primo e del secondo strato protettivo 12, 14 formano, insieme al secondo strato dielettrico 10, un incapsulamento del primo attuatore piezoelettrico 20.

A titolo puramente esemplificativo, la camera 4 ha un profilo uniforme lungo l'asse Z. Inoltre, la camera 4 comprende una porzione principale 34A, una porzione secondaria 34B ed una porzione di raccordo 34C.

In prima approssimazione, ciascuna tra la porzione principale 34A e la porzione secondaria 34B ha la forma di una porzione di un corrispondente cilindro con asse parallelo all'asse Z. In particolare, in prima approssimazione la porzione secondaria 34B ha la forma di un semicilindro, mentre la porzione primaria 34A ha una forma ottenibile intersecando un cilindro (il quale ha raggio maggiore del summenzionato semicilindro) con un piano parallelo al piano ZY e giacente tra l'asse del cilindro ed il semicilindro. Gli assi del semicilindro e del cilindro giacciono in prima approssimazione in un piano parallelo al piano ZX, al quale

nel seguito ci si riferisce come al piano di simmetria SP.

La porzione di raccordo 34C ha in prima approssimazione la forma di un parallelepipedo con asse parallelo all'asse Z, interposto tra la porzione principale 34A e la porzione secondaria 34B, e con una coppia di pareti laterali parallele al piano ZX. In prima approssimazione, la camera 4 è simmetrica rispetto al piano di simmetria SP.

Come visibile ancora in figura 2, la prima regione piezoelettrica 24 ha una forma planare e, in prima approssimazione, circolare, in vista dall'alto. A tal proposito, per maggior chiarezza, in figura 2 non sono mostrati il primo ed il secondo strato protettivo 12, 14, né l'elettrodo inferiore 22, né l'elettrodo superiore 26; conseguentemente, la prima regione piezoelettrica 24 appare disposta al di sopra di un multistrato (indicato con 5') formato dal primo strato dielettrico 6, dello strato semiconduttivo 8 e dal secondo strato dielettrico 10. In altre parole, la prima regione piezoelettrica 24 appare disposta su una superficie 25 che delimita superiormente il multistrato 5', tale superficie 25 essendo formata dal secondo strato dielettrico 10. In aggiunta, per agevolare la comprensione, in figura 2 è mostrata una linea immaginaria chiusa I, definita come la proiezione sulla superficie 25 del perimetro (in vista dall'alto) della sottostante camera 4.

In maggior dettaglio, in prima approssimazione la prima regione piezoelettrica 24 è allineata verticalmente, cioè parallelamente all'asse Z, alla sottostante forma cilindrica della porzione principale 34A della camera 4. Inoltre, come visibile dal profilo della linea immaginaria chiusa I, in vista all'alto la prima regione piezoelettrica 24 è interamente compresa all'interno della porzione principale 34A della camera 4.

Nuovamente con riferimento alla cella 2, attraverso la struttura intermedia 5 si estende un canale di alimentazione 40, il quale ha ad esempio forma cilindrica, con asse parallelo all'asse Z e giacente, in prima approssimazione, nel piano di simmetria SP. Ancora con riferimento al piano di simmetria SP, esso coincide con il piano di sezione a cui si riferisce la figura 1, in cui, per semplicità, è mostrata solo una parte della cella 2.

Il canale di alimentazione 40 si estende dunque attraverso il primo strato dielettrico 6, lo strato semiconduttivo 8, il secondo strato dielettrico 10 ed il primo ed il secondo strato protettivo 12, 14. Inoltre, il canale di alimentazione 40 è lateralmente sfalsato rispetto all'attuatore piezoelettrico 20.

Come visibile in figura 2, in cui è mostrata la parte (indicata con 40') del canale di alimentazione 40 che attraversa il multistrato 5', in prima approssimazione il

canale di alimentazione 40 è verticalmente allineato con la sottostante porzione secondaria 34B della camera 4, nel senso che l'asse del canale di alimentazione 40 coincide, in prima approssimazione, con l'asse della forma a semicilindro della porzione secondaria 34B.

In aggiunta, sempre a titolo esemplificativo, il raggio del canale di comunicazione 40 è in prima approssimazione uguale al raggio del semicilindro della sottostante porzione secondaria 34B della camera 4. Pertanto, il canale di alimentazione 40 sovrasta sia parte della porzione secondaria 34B della camera 4 che parte della porzione di raccordo 34C della camera 4.

Come visibile in figura 2, nel corpo semiconduttore 3 sono presenti un primo ed un secondo recesso inferiore 42, 44.

In prima approssimazione, il primo ed il secondo recesso inferiore 42, 44 hanno forme simmetriche rispetto al piano di simmetria SP. Inoltre, riferendosi alla forma di base per indicare la forma di una qualsiasi delle due semicamere che si ottengono sezionando la camera 4 lungo il piano di simmetria SP, ciascuno tra il primo ed il secondo recesso inferiore 42, 44 ha, in prima approssimazione, una forma uguale alla suddetta forma di base.

In maggior dettaglio, riferendosi alla prima ed alla seconda semicamera 142, 144 (visibili in figura 3) per

indicare le summenzionate semicamere che si ottengono sezionando la camera 4 lungo il piano di simmetria SP, il primo recesso inferiore 42 e la prima semicamera 142 sono disposti su un medesimo lato del piano di simmetria SP; inoltre, come visibile in figura 3, idealmente il primo recesso inferiore 42 può essere ottenuto mediante rototraslazione della prima semicamera 142, ed in particolare mediante rotazione di 180° in senso orario (in vista dall'alto) e successiva traslazione parallelamente al piano XY.

Similmente, il secondo recesso inferiore 44 e la seconda semicamera 144 sono disposti sull'altro lato del piano di simmetria SP; inoltre, il secondo recesso inferiore 44 può essere ottenuto mediante rototraslazione della seconda semicamera 144, ed in particolare mediante rotazione di 180° in senso antiorario (in vista dall'alto) e successiva traslazione parallelamente al piano XY.

In particolare, parallelamente all'asse X, il primo ed il secondo recesso inferiore 42, 44 sono sfalsati rispetto alla camera 4 in maniera tale per cui la porzione secondaria 34B e almeno parte della porzione di raccordo 34C della camera 4 si estendono nella porzione di spazio delimitata lateralmente dal primo e dal secondo recesso inferiore 42, 44.

In aggiunta, il primo ed il secondo recesso inferiore

42, 44 sono distanziati parallelamente all'asse Y di una distanza (indicata con d in figura 3), la quale è inferiore al diametro della porzione secondaria 34B della camera 4. In altre parole, in vista laterale (e con punto di vista opposto rispetto all'asse X), la porzione secondaria 34B della camera 4 si sovrappone parzialmente, a distanza, al primo ed al secondo recesso inferiore 42, 44.

Come visibile ancora in figura 2, la cella 2 comprende anche un secondo ed un terzo attuatore piezoelettrico 50, 60, i quali comprendono, rispettivamente, una seconda ed una terza regione piezoelettrica 54, 64, formate ad esempio dal medesimo materiale della prima regione piezoelettrica 24. Sebbene non mostrato, anche il secondo ed il terzo attuatore piezoelettrico 50, 60 comprendono rispettivi elettrodi inferiori e superiori; inoltre, anche il secondo ed il terzo attuatore piezoelettrico 50, 60 sono circondati da rispettivi incapsulamenti formati dal primo e dal secondo strato protettivo 12, 14.

In prima approssimazione, la seconda e la terza regione piezoelettrica 54, 64 sono simmetriche rispetto al piano di simmetria SP e sono lateralmente sfalsate, parallelamente all'asse X, rispetto alla prima regione piezoelettrica 24. Inoltre, in prima approssimazione la seconda e la terza regione piezoelettrica 54, 64 hanno forme planari; in vista dall'alto, la seconda e la terza regione piezoelettrica 54,

64 hanno forme di semicerchi delimitati da corrispondenti diametri paralleli all'asse X, in maniera tale per cui la porzione curvilinea della corrispondente semicirconferenza ha una concavità rivolta verso il piano di simmetria SP.

In prima approssimazione, la seconda e la terza regione piezoelettrica 54, 64 sovrastano rispettivamente, a distanza, il primo ed il secondo recesso inferiore 42, 44.

Ancora in maggior dettaglio, riferendosi alla porzione principale 42A, alla porzione secondaria 42B ed alla porzione di raccordo 42C (figura 3) del primo recesso inferiore 42 per indicare le parti del primo recesso inferiore 42 rispettivamente uguali, in prima approssimazione, a metà della porzione principale 34A, a metà della porzione secondaria 34B e a metà della porzione di raccordo 34C della camera 4, e riferendosi alla porzione principale 44A, alla porzione secondaria 44B ed alla porzione di raccordo 44C del secondo recesso inferiore 44 per indicare le parti del secondo recesso inferiore 44 rispettivamente uguali, in prima approssimazione, a metà della porzione principale 34A, a metà della porzione secondaria 34B e a metà della porzione di raccordo 34C della camera 4, la seconda e la terza regione piezoelettrica 54, 64 sovrastano rispettivamente, a distanza, la porzione principale 42A del primo recesso inferiore 42 e la porzione principale 44A del secondo recesso inferiore 44. A tal proposito, per agevolare la comprensione,

in figura 2 sono mostrate due linee immaginarie aperte I'', I''', le quali mostrano le proiezioni sulla superficie 25 dei bordi, in vista dall'alto, del primo e del secondo recesso inferiore 42, 44; inoltre, la figura 3 riporta in tratteggio i volumi occupati dalla prima, dalla seconda e dalla terza regione piezoelettrica 24, 54, 64.

Nuovamente con riferimento alla cella 2, la struttura intermedia 5 presenta un primo ed un secondo recesso intermedio 242, 244, ciascuno dei quali ha la forma di un semicilindro, con asse parallelo all'asse Z e concavità rivolta verso il piano di simmetria SP, il quale attraversa interamente la struttura intermedia 5, sebbene per semplicità di visualizzazione in figura 2 sia visibile il solo attraversamento del multistrato 5'. Inoltre, il primo ed il secondo recesso intermedio 242, 244 sono simmetrici rispetto al piano di simmetria SP, hanno forme approssimativamente pari a metà del canale di alimentazione 40 e comunicano con sottostanti porzioni del primo e, rispettivamente, del secondo recesso inferiore 42, 44.

In maggior dettaglio, in prima approssimazione il primo ed il secondo recesso intermedio 242, 244 hanno assi coincidenti con, rispettivamente, gli assi delle sottostanti forme a semicilindro delle porzioni secondarie 42B, 44B del primo e del secondo recesso inferiore 42, 44. Ancora in prima approssimazione, il raggio del primo e del secondo recesso

intermedio 242, 244 è uguale al raggio della forma a semicilindro delle porzioni secondarie 42B, 44B del primo e del secondo recesso inferiore 42, 44.

La cella 2 comprende inoltre una struttura superiore 200, la quale include una regione semiconduttiva superiore 202, formata ad esempio dal medesimo materiale semiconduttore che forma il corpo semiconduttore 3, ed una sottostante regione dielettrica superiore 204, la quale è formata ad esempio da ossido di silicio ed è disposta a contatto con la struttura semiconduttiva superiore 202.

In maggior dettaglio, la regione dielettrica superiore 204 è delimitata inferiormente da una superficie inferiore 203 ed è fissata alla struttura intermedia 5 mediante uno strato di incollaggio 206 (mostrato solo in figura 1), il quale è interposto tra la regione dielettrica superiore 204 ed il secondo strato protettivo 14. Il canale di alimentazione 40 si estende anche attraverso lo strato di incollaggio 206, con sezione approssimativamente uniforme parallelamente all'asse Z.

Come visibile in figura 4, la struttura superiore 200 comprende inoltre una prima ed una seconda cavità 207, 217, le quali si estendono verso l'alto, a partire dalla superficie inferiore 203, attraversando la regione dielettrica superiore 204 e parte della regione semiconduttiva superiore 202. La prima e la seconda cavità

207, 217 sono sfalsate parallelamente all'asse X ed hanno ad esempio forme di parallelepipedo, sono delimitate lateralmente lungo l'asse X.

In aggiunta, la prima cavità 207 è sovrapposta al primo attuatore piezoelettrico 20; in tal modo, le porzioni del primo e del secondo strato protettivo 12, 14 che sovrastano il primo attuatore piezoelettrico 20 possono estendersi almeno in parte all'interno della cavità 207, a distanza dalla regione semiconduttiva superiore 202 e dalla regione dielettrica superiore 204.

La seconda cavità 217 è sovrapposta al secondo e al terzo attuatore piezoelettrico 50, 60; in tal modo, porzioni del primo e del secondo strato protettivo 12, 14 che sovrastano il secondo ed il terzo attuatore piezoelettrico 50, 60 possono estendersi almeno in parte all'interno della seconda cavità 217, a distanza dalla regione semiconduttiva superiore 202.

La prima e la seconda cavità 207, 217 sono inoltre lateralmente sfalsate rispetto al sottostante canale di alimentazione 40.

In aggiunta, la struttura superiore 200 presenta un ugello 240, il quale ha ad esempio forma cilindrica e si estende attraverso la regione semiconduttiva superiore 202 e la regione dielettrica superiore 204, tra la prima e la seconda cavità 207, 217.

In prima approssimazione, l'ugello 240 ha forma cilindrica ed è verticalmente allineato con il canale di alimentazione 40, il quale ha un diametro maggiore rispetto al diametro dell'ugello 240; a tal proposito, la figura 3 riporta in tratteggio i volumi occupati dal canale di alimentazione 40 e dall'ugello 240. Inoltre, l'ugello 240 ed il sottostante canale di alimentazione 40 sono comunicanti. In prima approssimazione, l'asse del canale di alimentazione 40 (indicato con H) giace nel piano di simmetria SP.

La struttura superiore 203 delimita inoltre una coppia di ulteriori recessi, a cui nel seguito ci si riferisce come al primo ed al secondo recesso superiore 342, 344.

Il primo ed il secondo recesso superiore 342, 344 sono disposti tra la prima e la seconda cavità 207, 217 ed attraversano la regione semiconduttiva superiore 202 e la regione dielettrica superiore 204. Ad esempio, il primo ed il secondo recesso superiore 342, 344 hanno forme di semicilindri con assi paralleli all'asse Z, con concavità rivolta verso il piano di simmetria SP.

In maggior dettaglio, il primo ed il secondo recesso superiore 342, 344 sono simmetrici rispetto al piano di simmetria SP. Inoltre, in prima approssimazione, gli assi delle forme a semicilindro del primo e del secondo recesso superiore 342, 344 coincidono, rispettivamente, con gli assi delle forme a semicilindro dei sottostanti primo e secondo

recesso intermedio 242, 244, come visibile in figura 3, la quale riporta in tratteggio i volumi occupati dal primo e dal secondo recesso intermedio 242, 244 e dal primo e dal secondo recesso superiore 342, 344. I raggi del primo e del secondo recesso superiore 342, 344 sono inferiori ai raggi del primo e del secondo recesso intermedio 242, 244.

Come mostrato in figura 3 ed in figura 5, il dispositivo microfluidico 1 comprende una pluralità di celle 2 (tre mostrate nelle figure 3 e 5), le quali sono giustapposte parallelamente all'asse Y.

In maggior dettaglio, sebbene nelle figure 3 e 5, per maggior chiarezza, siano presenti linee in tratto-punto che evidenziano i confini delle celle 2, queste ultime condividono il corpo semiconduttore 3, la struttura intermedia 5 e la struttura superiore 200, e quindi anche la prima e la seconda cavità 2017, 217.

In particolare, le celle 2 sono disposte lateralmente in maniera tale per cui il secondo recesso inferiore 44 di una cella 2 si affaccia sul primo recesso inferiore 42 di una prima cella adiacente, delimitando una prima camera intercella IC1 che ha in prima approssimazione la medesima forma della camera 4; inoltre, il primo recesso inferiore 42 di una cella 2 si affaccia sul secondo recesso inferiore 44 di una seconda cella adiacente, delimitando una seconda camera intercella IC2, la quale in prima approssimazione ha

la medesima forma della camera 4 ed è simmetrica rispetto alla prima camera intercella IC1.

Inoltre, la terza regione piezoelettrica 64 di una cella 2 contatta con la seconda regione piezoelettrica 54 di una prima cella adiacente, formando un'unica regione piezoelettrica avente sostanzialmente la medesima forma della prima regione piezoelettrica 24; analogamente, gli elettrodi inferiori (non mostrati) sottostanti rispettivamente alla summenzionata terza regione piezoelettrica 64 ed alla summenzionata seconda regione piezoelettrica 54 contattano tra loro, come anche gli elettrodi superiori (non mostrati) sovrastanti rispettivamente alla summenzionata terza regione piezoelettrica 64 ed alla summenzionata seconda regione piezoelettrica 54. In altre parole, il terzo attuatore piezoelettrico 60 della cella 2 forma con il secondo attuatore piezoelettrico 50 della prima cella adiacente un primo attuatore piezoelettrico intercella A1, il quale ha approssimativamente la medesima forma del primo attuatore piezoelettrico 20 ed è operativamente accoppiato alla prima camera intercella IC1, come descritto in maggior dettaglio in seguito.

Similmente, la seconda regione piezoelettrica 54 di una cella 2 contatta con la terza regione piezoelettrica 64 di una seconda cella adiacente, formando un'unica regione

piezoelettrica avente sostanzialmente la medesima forma della prima regione piezoelettrica 24. Analogamente, gli elettrodi inferiori (non mostrati) sottostanti rispettivamente alla summenzionata seconda regione piezoelettrica 54 ed alla summenzionata terza regione piezoelettrica 64 contattano tra loro, come anche gli elettrodi superiori (non mostrati) sovrastanti rispettivamente alla summenzionata seconda regione piezoelettrica 54 ed alla summenzionata terza regione piezoelettrica 64. In altre parole, il secondo attuatore piezoelettrico 50 della cella 2 forma con il terzo attuatore piezoelettrico 60 della seconda cella adiacente un secondo attuatore piezoelettrico intercella A2, il quale ha approssimativamente la medesima forma del primo attuatore piezoelettrico 20 ed è operativamente accoppiato alla seconda camera intercella IC2, come descritto in maggior dettaglio in seguito.

In aggiunta, il secondo recesso intermedio 244 della cella 2 si affaccia sul primo recesso intermedio 242 della prima cella adiacente, delimitando un primo canale di alimentazione intercella CH1, il quale in prima approssimazione la medesima forma del canale di alimentazione 40; inoltre, il primo recesso intermedio 242 della cella 2 si affaccia sul secondo recesso inferiore 244 della seconda cella adiacente, delimitando un secondo canale

di alimentazione intercella CH2, il quale in prima approssimazione ha la medesima forma del canale di alimentazione 40 ed è simmetrico rispetto al primo canale di alimentazione intercella CH1.

Inoltre, il secondo recesso superiore 344 della cella 2 si affaccia sul primo recesso superiore 342 della prima cella adiacente, delimitando un primo ugello intercella U1, il quale in prima approssimazione ha la medesima forma dell'ugello 240; similmente, il primo recesso superiore 342 della cella 2 si affaccia sul secondo recesso superiore 344 della seconda cella adiacente, delimitando un secondo ugello intercella U2, il quale in prima approssimazione ha la medesima forma dell'ugello 240 ed è simmetrico rispetto al primo ugello intercella U1. Il primo ed il secondo ugello U1, U2 sono disposti lungo una medesima direzione parallela all'asse Y, mentre l'ugello 240 è lateralmente sfalsato rispetto a tale direzione.

In altre parole, riferendosi al gruppo di iniezione intracella per il indicare l'insieme della camera 4, del canale di alimentazione 40, dell'ugello 240, del primo attuatore piezoelettrico 20 e della membrana 15, tra coppie di celle adiacenti è presente un gruppo di iniezione intercella uguale al gruppo di iniezione intracella, cioè con, in prima approssimazione, la medesima disposizione relativa tra camera, canale di alimentazione, ugello,

attuatore piezoelettrico e membrana. Ciò consente di compattare la disposizione degli ugelli del dispositivo microfluidico 1.

Nel seguito, il funzionamento del dispositivo microfluidico 1 viene descritto con riferimento al solo gruppo di iniezione intracella, salvo laddove specificato diversamente; il funzionamento dei gruppi di iniezione intercella è uguale a quello del gruppo di iniezione intracella.

Come visibile in figura 1, la porzione inferiore della camera 4 viene accoppiata fluidicamente ad un bacino 299, il quale è condiviso tra le celle 2, e quindi tra le camere 4 e le camere intercella IC1, IC2.

In modo di per sé noto, il bacino 299 fa parte di un sistema idraulico (non mostrato) che alimenta il bacino 299 con un liquido (inchiostro) a pressione relativamente alta. In tal modo, il liquido riempie la camera 4 ed il canale di alimentazione 40, il quale ha una resistenza idraulica maggiore della resistenza idraulica della camera 4, ma comunque trascurabile rispetto alla resistenza idraulica dell'ugello 240. Ad esempio, il rapporto tra la resistenza idraulica dell'ugello 240 e la resistenza idraulica del canale di alimentazione 40 è superiore a 1,5.

In maggior dettaglio, assumendo che la cella 2 sia orientata in maniera tale da espellere il liquido lungo la

direzione della forza di gravità (e quindi che l'asse Z sia orientato lungo la direzione della forza di gravità), tra l'elettrodo inferiore 22 e l'elettrodo superiore 26 del primo attuatore piezoelettrico 20 può essere applicata una tensione $V=V_0+v(t)$, in cui V_0 è costante e $v(t)$ è tempo variabile, in maniera tale per cui la pressione nella camera 4 ha un andamento del tipo mostrato in figura 6. Nel seguito si assume che V_0 sia nulla, per semplicità.

In dettaglio, la pressione nella camera 4 è pari a $P=P_0+p(t)$, in cui in cui P_0 è pari alla pressione nel bacino 299 (ad esempio, pari a 0.16MPa); $p(t)$ è tempo variabile ed ha un andamento che dipende dalla tensione $v(t)$, la quale si assume essere impulsata ed unipolare, in maniera tale per cui la pressione $p(t)$ esibisce un impulso bipolare per ciascun impulso della tensione $v(t)$.

In seguito si assume che in posizione di riposo, cioè in assenza di azionamento del primo attuatore piezoelettrico 20, la membrana 15 abbia la posizione mostrata in figura 1. Ciò premesso, ciascun impulso della tensione $v(t)$ causa un corrispondente azionamento del primo attuatore piezoelettrico 20, il quale causa una deformazione della membrana 15; invece, il canale di comunicazione 40 e l'ugello 240 mantengono inalterate le rispettive forme. In particolare, la porzione di struttura intermedia 5 che delimita lateralmente il canale di alimentazione 40 non si

deforma in seguito all'azione del primo attuatore piezoelettrico 20, a differenza della porzione di struttura intermedia 5 che forma la membrana 15. In pratica, la struttura superiore 200 forma una sorta di corpo ugelli, il quale, essendo fissato alla porzione di struttura intermedia 5 che delimita lateralmente il canale di alimentazione 40, contribuisce a fornire rigidità a tale porzione di struttura intermedia 5.

In dettaglio, ad ogni impulso della tensione $v(t)$, la membrana 15 si incurva, in prima approssimazione, con una concavità rivolta verso la camera 4, diminuendo il volume di quest'ultima e causando un corrispondente aumento della pressione nella camera 4, il quale si manifesta come una porzione iniziale ascendente del corrispondente impulso della pressione $p(t)$. Al termine dell'impulso della tensione $v(t)$, il primo attuatore piezoelettrico 20 viene spento; ciò comporta il rilascio della membrana 15 ed un conseguente ritorno elastico di quest'ultima, la quale, prima di ritornare nella posizione di riposo, si incurva, in prima approssimazione, con una concavità rivolta verso la prima cavità 207, aumentando il volume della camera 4 e quindi causando una corrispondente riduzione della pressione nella camera 4, la quale si manifesta come una porzione discendente del corrispondente impulso della pressione $p(t)$, tale porzione essendo successiva alla summenzionata porzione

ascendente. In particolare, indicando con $P_{\max}$ e $P_{\min}$ il valore massimo e minimo della pressione P durante un impulso della pressione $p(t)$, si verifica $P_{\max}-P_{\min}=\Delta P$, con ΔP ad esempio pari a 0.3MPa.

Ancora in maggior dettaglio, la cella 2 è tale per cui quando $P=P_0$, dall'ugello 240 viene espulso un flusso costante di liquido a una velocità superiore ad una soglia (ad esempio, pari a 10m/s). Conseguentemente, la pressione P_0 è tale da superare la pressione atmosferica e la resistenza idraulica dell'ugello 240 e del canale di alimentazione 40 e garantire al flusso di superare la summenzionata soglia di velocità, in modo da rendere il flusso, una volta uscito dall'ugello 240, meno sensibile ad eventuali disturbi esterni, quali ad esempio spostamenti di masse d'aria capaci di alterarne la traiettoria.

In aggiunta, il primo attuatore piezoelettrico 20 viene azionato in modo da perturbare, in modo elettronicamente controllabile, il flusso del liquido in uscita dall'ugello 240.

In particolare, riferendosi alle condizioni iniziali del flusso per indicare le condizioni di pressione e di velocità che si verificano in uscita dall'ugello 240 quando la pressione P è pari a P_0 , si verifica quanto segue. Ogni qual volta viene generato un impulso della tensione $v(t)$ ed un conseguente impulso di pressione $p(t)$, il flusso in uscita

dall'ugello 240 subisce una iniziale accelerazione, dovuta al temporaneo aumento di pressione rispetto alle condizioni iniziali, ed una successiva decelerazione, dovuta ad una successiva riduzione della pressione rispetto alle condizioni iniziali. Tali variazioni di velocità causano un'interruzione del flusso. In particolare, come mostrato in figura 7, la sequenza di accelerazione e decelerazione causa la formazione di un ringrosso ("enlarged portion") 800 disposto in coda ad una prima porzione continua di liquido 801 e seguito, a distanza, da una successiva seconda porzione continua di liquido 802. In pratica, il ringrosso 800 è una porzione di liquido che, in uscita dall'ugello 240 e perpendicolarmente alla direzione di emissione (ad esempio, coincidente con la direzione della forza di gravità) da parte dell'ugello 240, ha una sezione di area maggiore rispetto all'area della prima porzione continua di liquido 801. Al fine di evitare la penetrazione di aria all'interno dell'ugello 240, è possibile imporre che la pressione $P_{\min}$ sia superiore alla pressione atmosferica.

In maggior dettaglio, la figura 8 mostra, procedendo da sinistra verso destra, come inizialmente (primi tre fotogrammi a sinistra) dall'ugello 240 fuoriesca la prima porzione continua di liquido 801. Come visibile nel quarto fotogramma, in seguito al verificarsi, tra il terzo ed il quarto fotogramma, di un primo impulso della tensione $v(t)$,

dall'ugello 240 fuoriesce il ringrosso 800, seguito, a distanza, dalla seconda porzione continua di liquido 802. Inoltre, come visibile nei fotogrammi dal quarto al nono, nel procedere verso il supporto di stampa (non visibile in figura 8), la prima porzione continua di liquido 801 ed il ringrosso 800 tendono a formare una forma sferica (cioè, una prima goccia, indicata con 803 nell'ottavo e nel nono fotogramma), in modo da minimizzare la tensione superficiale. La quantità di liquido contenuta nella prima goccia 803 dipende da quanto tempo è intercorso tra il primo impulso della tensione $v(t)$ e l'impulso immediatamente precedente (non visibile in figura 8); nel seguito si assume che sia intercorso un tempo T_1 .

Tra il quarto ed il quinto fotogramma si verifica un secondo impulso della tensione $v(t)$, in maniera tale per cui si crea, al termine della seconda porzione continua di liquido 802, un corrispondente ringrosso 804, seguito a distanza da una terza porzione continua di liquido 805. Come visibile nei fotogrammi dal quinto all'undicesimo, nel procedere verso il supporto di stampa, la seconda porzione continua di liquido 802 ed il rispettivo ringrosso 804 tendono a formare una corrispondente forma sferica (cioè, una seconda goccia, indicata con 805 nei fotogrammi dal settimo all'undicesimo). La quantità di liquido contenuta nella seconda goccia 805 dipende da quanto tempo è intercorso

tra il primo ed il secondo impulso della tensione $v(t)$; nel seguito si assume che sia intercorso un tempo $T_2 < T_1$. Conseguentemente, la seconda goccia 805 ha un volume ed una massa inferiori rispetto alla prima goccia 805.

Come visibile ancora in figura 8, a titolo puramente esemplificativo si assume che, successivamente al secondo impulso della tensione $v(t)$, vengano generati successivi impulsi che sono temporalmente distanziati dai precedenti di un tempo pari a $T_2 - T_1$, in modo da causare la generazione di ulteriori quattro gocce (indicate rispettivamente con 806, 807, 808, 809) approssimativamente uguali alla seconda goccia 805, prima che si verifichi una successiva interruzione degli impulsi.

In pratica, la figura 8 mostra come sia possibile modulare le dimensioni delle gocce, variando il periodo di tempo che intercorre tra un impulso di tensione $v(t)$ ed il successivo.

In modo di per sé noto, è quindi possibile instradare ciascuna delle summenzionate gocce in modo differente, a seconda delle dimensioni delle gocce stesse.

In altre parole, la prima goccia 803 può essere instradata in modo differente rispetto alla seconda goccia 805, la quale può essere instradata nel medesimo modo delle quattro gocce 806-809.

Ad esempio, limitandosi alla prima ed alla seconda

goccia 803, 805, la seconda goccia 805 può essere indirizzata verso un sistema di ricircolo (non mostrato) atto a dirigere il liquido nuovamente nel bacino 299, mentre la prima goccia 803 può essere indirizzata verso un supporto da stampare 1000, mostrato in figura 7.

L'instradamento può essere effettuato in modo di per sé noto da un sistema di instradamento selettivo 999 (mostrato in figura 7), quale ad esempio un sistema di instradamento selettivo 999 controllabile in modo da attivare, all'occorrenza, un flusso d'aria ortogonale alla direzione di espulsione delle gocce, oppure un sistema di deflessione elettrostatico.

Come accennato in precedenza, quanto descritto con riferimento alla camera 4, al primo attuatore piezoelettrico 20, al canale di alimentazione 40 ed all'ugello 240 si applica anche alla prima camera intercella IC1, al primo attuatore piezoelettrico intercella A1, al primo canale di alimentazione intercella CH1 ed al primo ugello intercella U1, così come anche alla seconda camera intercella IC2, al secondo attuatore piezoelettrico intercella A2, al secondo canale di alimentazione intercella CH2 ed al secondo ugello intercella U2. Inoltre, il primo attuatore piezoelettrico 20 ed il primo ed il secondo attuatore piezoelettrico intercella A1, A2 possono essere azionati in modo tra loro indipendente.

Sono inoltre possibili varianti, come mostrato ad

esempio in figura 9, in cui ciascuna cella, indicata con 902, comprende una coppia di attuatori piezoelettrici (di cui sono mostrate solo le corrispondenti regioni piezoelettriche, indicate entrambe con 924), i quali sono operativamente accoppiati alla camera (indicata con 904), e quindi anche al canale di alimentazione (non visibile in figura 9) ed all'ugello (mostrato in tratteggio ed indicato con 940). In ciascuna cella 902, il secondo ed il terzo attuatore piezoelettrico 50, 60 sono assenti. Inoltre, la cella 902 è priva del primo e del secondo recesso inferiore 42, 44, del primo e del secondo recesso intermedio 242, 244 e del primo e del secondo recesso superiore 342, 344. Senza alcuna perdita di generalità, la disposizione delle celle 902 non dà origine ad alcuna camera intercella, né ad alcun canale di alimentazione intercella, né ad alcun ugello intercella.

In maggior dettaglio, i due attuatori piezoelettrici 920 sovrastano corrispondenti porzioni della struttura intermedia 5 (non visibile in figura 9), le quali formano corrispondenti porzioni di membrana, e sono comandati in modo sincrono, ad esempio con un medesimo segnale elettrico.

Come mostrato in figura 10, sono altresì possibili forme di realizzazione in cui ciascuna cella, indicata con 1002, comprende una coppia di camere (indicate rispettivamente con 1004 e 1004'), ciascuna delle quali è operativamente

accoppiata ad un corrispondente attuatore piezoelettrico (di cui sono mostrate solo le corrispondenti regioni piezoelettriche, indicate rispettivamente con 1024 e 1024'), ad un corrispondente canale di alimentazione (non visibile in figura 10) e a un corrispondente ugello (mostrati in tratteggio ed indicati rispettivamente con 1240 e 1240').

Ai fini pratici, il dispositivo microfluidico 1 può essere incorporato in una qualsiasi stampante, come ad esempio mostrato in figura 11.

In dettaglio, la figura 11 mostra una stampante 500 comprendente un microprocessore 510, una memoria 540 accoppiata comunicativamente al microprocessore 510, una testina di stampa 550 e un motore 530, configurato per azionare la testina di stampa 550. La testina di stampa 550 può essere formata da uno o più dispositivi microfluidici 1. Il microprocessore 510 è accoppiato alla testina di stampa 550 e al motore 530 ed è configurato per coordinare il movimento della testina di stampa 550 (azionata dal motore 530) e per causare l'espulsione di gocce di liquido (ad esempio inchiostro) dalla testina di stampa 550, controllando gli attuatori piezoelettrici delle celle 2 dei dispositivi microfluidici 1.

Il dispositivo microfluidico 1 può essere fabbricato mediante il procedimento descritto nel seguito, con riferimento ai dettagli di fabbricazione relativi ad una

singola cella 2, salvo laddove specificato diversamente.

Inizialmente, come mostrato in figura 12, viene predisposta una prima fetta semiconduttiva ("wafer") 1500, la quale comprende un substrato semiconduttivo che forma il corpo semiconduttore 3, sul quale sono disposti, in successione, il primo strato dielettrico 6, lo strato semiconduttivo 8 ed il secondo strato dielettrico 10. Per semplicità, la figura 12 e le successive figure 13 e 14 si riferiscono alla medesima porzione di dispositivo microfluidico 1 mostrata in figura 1.

In seguito, come mostrato in figura 13, in modo di per sé noto vengono formati il primo attuatore piezoelettrico 20 ed il primo ed il secondo attuatore piezoelettrico intercella A1, A2 (questi ultimi due attuatori non essendo visibili in figura 12), nonché il primo ed il secondo strato protettivo di fetta 12, 14, i quali rivestono il primo attuatore piezoelettrico 20 ed il primo ed il secondo attuatore piezoelettrico intercella A1, A2.

Successivamente, come mostrato in figura 14, viene eseguito un attacco al plasma di tipo secco ("dry"), in modo da rimuovere selettivamente porzioni del primo e del secondo strato protettivo 12, 14, del primo e del secondo strato dielettrico 6, 10 e dello strato semiconduttivo 8, in maniera tale da formare il canale di alimentazione 40 (in particolare, una parte frontale del canale di alimentazione

40, la quale si estende attraverso il primo ed il secondo strato protettivo 12, 14, il secondo strato dielettrico 10 e lo strato semiconduttivo 8) ed il primo ed il secondo canale di alimentazione intercella CH1, CH2 (questi ultimi due canali di alimentazione non essendo visibili in figura 14).

In seguito, come mostrato in figura 15, viene predisposta una seconda fetta semiconduttiva 2000, la quale comprende un rispettivo substrato semiconduttivo 2203, le cui superfici principali sono rivestite, rispettivamente, da uno strato dielettrico di rivestimento superiore 2204 e da uno strato dielettrico di rivestimento inferiore 2205, formati ad esempio da ossido.

In seguito, come mostrato in figura 16, vengono eseguiti in successione tre diversi attacchi. In particolare, sebbene non mostrato in dettaglio, un primo attacco al plasma di tipo secco consente di rimuovere selettivamente due porzioni lateralmente sfalsate, e separate, dello strato dielettrico di rivestimento superiore 2204, ed una ulteriore porzione centrale dello strato dielettrico di rivestimento superiore 2204, interposta tra le due porzioni lateralmente sfalsate. Il secondo attacco, anch'esso al plasma e di tipo secco, consente di rimuovere selettivamente una porzione del substrato semiconduttivo 2203 disposta al di sotto della summenzionata porzione centrale dello strato dielettrico di

rivestimento superiore 2204, in modo da formare una prima cavità preliminare 2240, la quale attraversa interamente lo strato dielettrico di rivestimento superiore 2204 ed il substrato semiconduttivo 2203, in modo da esporre una porzione dello strato dielettrico di rivestimento inferiore 2205. La prima cavità preliminare 2240 è destinata a formare l'ugello 240. La parte rimanente dello strato dielettrico di rivestimento superiore 2204 forma la regione dielettrica superiore 204. Il terzo attacco, anch'esso al plasma, di tipo a secco e a tempo, consente di rimuovere selettivamente porzioni del substrato semiconduttivo 2203 disposte al di sotto delle summenzionate due porzioni lateralmente sfalsate dello strato dielettrico di rivestimento superiore 2204, in modo da formare la prima e la seconda cavità 207, 217.

Le operazioni descritte con riferimento alla figura 16 consentono inoltre di formare, insieme alla prima cavità preliminare 2240, una ulteriore coppia di cavità preliminari (non mostrate), destinate a formare, rispettivamente, il primo ed il secondo ugello intercella U1, U2.

Successivamente, come mostrato in figura 17, la prima e la seconda fetta semiconduttiva 1500, 2000 vengono accoppiate tra loro, mediante interposizione dello strato di incollaggio 206, il quale viene disposto inizialmente sulla seconda fetta semiconduttiva 2000. In particolare, l'accoppiamento avviene in maniera tale per cui la prima

cavità 207 sovrasta il primo attuatore piezoelettrico 20, mentre la seconda cavità 210 sovrasta il primo ed il secondo attuatore piezoelettrico intercella A1, A2 (non visibili in figura 17). Inoltre, la prima cavità preliminare 2240 comunica con il canale di alimentazione 40. Analogamente, sebbene non mostrato, le cavità della summenzionata coppia di cavità preliminari comunicano, rispettivamente, con il primo ed il secondo ugello intercella U1, U2.

In seguito, come mostrato in figura 18, viene eseguita una rimozione meccanica (mediante cosiddetto "grinding") dello strato dielettrico di rivestimento inferiore 2205 e di una sottostante porzione del substrato semiconduttivo 2203, in maniera tale per cui la parte rimanente del substrato semiconduttivo 2203 forma la regione semiconduttiva superiore 202; inoltre, in tal modo la cavità preliminare 2240 viene aperta verso l'alto, formando così l'ugello 240.

In seguito, come mostrato in figura 19, viene eseguito un attacco dal retro, in modo da rimuovere selettivamente porzioni del corpo semiconduttore 3, in maniera tale da formare la camera 4 e, sebbene non visibile in figura 19, la prima e la seconda camera intercella IC1, IC2.

Successivamente, come mostrato in figura 20, viene eseguito un attacco al plasma di tipo secco per rimuovere selettivamente una porzione del primo strato dielettrico 6 interposta tra la parte frontale del canale di alimentazione 40 e la camera 4, in modo da renderle comunicanti. In

pratica, tale attacco consente di formare la parte del canale di alimentazione 40 che si estende attraverso il primo strato dielettrico 6.

Sebbene non mostrato, tale attacco consente di rimuovere anche porzioni del primo strato dielettrico 6 interposte tra il primo ed il secondo canale di alimentazione intercella CH1, CH2 e, rispettivamente, la prima e la seconda camera intercella IC1, IC2.

Il procedimento di fabbricazione può quindi proseguire in modo di per sé noto e può comprendere, ad esempio, cosiddette operazioni di taglio.

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

Ad esempio, i materiali indicati possono essere sostituiti da altri materiali aventi simili proprietà chimico/fisiche e/o meccaniche.

Inoltre, le forme geometriche e le disposizioni degli attuatori, delle camere, dei canali di alimentazione e degli ugelli possono cambiare rispetto a quanto descritto.

In aggiunta, alcune delle fasi di fabbricazione potrebbero variare per quanto riguarda l'ordine di esecuzione.

RIVENDICAZIONI

1. Dispositivo microfluidico per l'espulsione continua di fluidi, comprendente:

- un corpo semiconduttore (3) che delimita lateralmente un numero di camere principali (4;904;1004) accoppiabili ad un sistema idraulico (299) configurato per riempire le camere principali con un fluido;

- una struttura intermedia (5), la quale forma un numero di membrane principali (15), ciascuna delle quali delimita superiormente una corrispondente camera principale; e

- un corpo ugelli (200), il quale sovrasta la struttura intermedia;

detto dispositivo microfluidico (1) comprendendo, per ciascuna camera principale:

- un corrispondente attuatore piezoelettrico principale (20), disposto sulla corrispondente membrana principale e controllabile elettricamente in modo da deformare detta corrispondente membrana principale e variare la pressione del fluido presente nella camera principale;

- un canale di alimentazione principale (40), il quale attraversa la struttura intermedia, è lateralmente sfalsato rispetto alla membrana principale ed è in comunicazione fluidica con la camera principale; e

- un corrispondente ugello principale (240) estendentesi attraverso il corpo ugelli, in comunicazione

fluidica con il canale di alimentazione principale;

ed in cui ciascun attuatore piezoelettrico principale è controllabile elettricamente in modo da operare in una condizione di riposo, tale per cui la pressione del fluido all'interno della corrispondente camera principale è pari ad un valore di riferimento (P_0) tale per cui detto fluido attraversa il corrispondente canale di alimentazione principale e viene espulso dal corrispondente ugello principale sotto forma di un flusso continuo; ed in cui ciascun attuatore piezoelettrico principale è inoltre controllabile elettricamente in modo da operare in una condizione attiva, in cui causa una deformazione della corrispondente membrana principale ed una conseguente variazione, rispetto alla pressione di riferimento, della pressione del fluido all'interno della corrispondente camera principale, detta variazione di pressione causando un'interruzione temporanea di detto flusso continuo.

2. Dispositivo microfluidico secondo la rivendicazione 1, in cui ciascun attuatore piezoelettrico principale (20) è controllabile elettricamente in modo da causare un incurvamento della corrispondente membrana principale (15) verso la corrispondente camera principale (4; 904; 1004) e un successivo ritorno elastico della corrispondente membrana principale, con conseguente incurvamento di detta corrispondente membrana principale verso il corpo ugelli

(200), in maniera tale per cui la pressione del fluido all'interno della corrispondente camera principale inizialmente supera la pressione di riferimento e successivamente scende al di sotto della pressione di riferimento, in modo da causare l'espulsione, attraverso il corrispondente ugello principale (240), di una prima porzione continua di fluido (801), la quale include un ringrosso terminale (800), e di una successiva seconda porzione continua di fluido (802), separata dalla prima porzione continua di fluido.

3. Dispositivo microfluidico secondo la rivendicazione 1 o 2, comprendente una prima cavità (207), la quale si estende nel corpo ugelli (200), è rivolta verso la struttura intermedia (5), è lateralmente sfalsata rispetto agli ugelli principali (240) e sovrasta gli attuatori piezoelettrici principali (20); ed in cui il corpo ugelli è fissato a porzioni della struttura intermedia che delimitano lateralmente i canali di alimentazione principali (40).

4. Dispositivo microfluidico secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui le camere principali (4; 904; 1004) sono aperte verso il basso.

5. Dispositivo microfluidico secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui, per ciascuna camera principale (4), il corpo semiconduttore (3) delimita lateralmente una corrispondente prima camera secondaria

(IC1) ed una corrispondente seconda camera secondaria (IC2), accoppiabili a detto sistema idraulico (299) in modo da riempire di fluido le prime e le seconde camere secondarie; ed in cui la struttura intermedia (5) forma, per ciascuna prima e seconda camera secondaria, rispettivamente una corrispondente prima e seconda membrana secondaria (15); detto dispositivo microfluidico (1) comprendendo, per ciascuna prima camera secondaria:

- un corrispondente primo attuatore piezoelettrico secondario (A1), disposto sulla corrispondente prima membrana secondaria e controllabile elettricamente in modo da deformare detta corrispondente prima membrana secondaria e variare la pressione del fluido presente nella prima camera secondaria;

- un primo canale di alimentazione secondario (CH1), il quale attraversa la struttura intermedia, è lateralmente sfalsato rispetto alla prima membrana secondaria ed è in comunicazione fluidica con la prima camera secondaria;

- un primo ugello secondario (U1) estendentesi attraverso il corpo ugelli (200), in comunicazione fluidica con il primo canale di alimentazione secondario;

detto dispositivo microfluidico comprendendo, per ciascuna seconda camera secondaria:

- un corrispondente secondo attuatore piezoelettrico secondario (A2), disposto sulla corrispondente seconda

membrana secondaria e controllabile elettricamente in modo da deformare detta corrispondente seconda membrana secondaria e variare la pressione del fluido presente nella seconda camera secondaria; e

- un secondo canale di alimentazione secondario (CH2), il quale attraversa la struttura intermedia, è lateralmente sfalsato rispetto alla seconda membrana secondaria ed è in comunicazione fluidica con la seconda camera secondaria;

- un secondo ugello secondario (U1) estendentesi attraverso il corpo ugelli, in comunicazione fluidica con il secondo canale di alimentazione secondario;

ed in cui ciascuna camera principale ha un asse di simmetria (SP), le corrispondenti prima e seconda camera secondaria essendo simmetriche rispetto a detto asse di simmetria.

6. Dispositivo microfluidico (1) secondo la rivendicazione 5, comprendente inoltre una seconda cavità (217), la quale si estende nel corpo ugelli (200), è rivolta verso la struttura intermedia (5), è lateralmente sfalsata rispetto alla prima cavità (207) e sovrasta i primi ed i secondi attuatori piezoelettrici secondari (A1,A2); ed in cui gli ugelli principali (240) ed i primi ed i secondi ugelli secondari (U1, U2) sono interposti tra la prima e la seconda cavità.

7. Dispositivo microfluidico secondo la rivendicazione

5 o 6, in cui almeno parte di ciascuna camera principale (4) si estende tra le corrispondenti prima e seconda camera secondaria (IC1, IC2).

8. Sistema comprendente il dispositivo microfluidico (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, detto fluido (800, 801, 802) e detto sistema idraulico (299).

9. Testa di stampa comprendente il dispositivo microfluidico (1) per l'espulsione di fluidi secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-7.

10. Procedimento di fabbricazione di un dispositivo microfluidico (1) per l'espulsione continua di fluidi, comprendente le fasi di:

- in un corpo semiconduttore (3), formare un numero di camere principali (4; 904; 1004) accoppiabili ad un sistema idraulico (299) configurato per riempire le camere principali con un fluido;

- formare una struttura intermedia (5), la quale include un numero di membrane principali (15), ciascuna delle quali delimita superiormente una corrispondente camera principali;

- formare un corpo ugelli (200), al di sopra della struttura intermedia;

detto procedimento comprendendo inoltre, per ciascuna camera principale, le fasi di:

- sulla corrispondente membrana principale, formare un corrispondente attuatore piezoelettrico principale (20) controllabile elettricamente in modo da deformare detta corrispondente membrana principale e variare la pressione del fluido presente nella camera principale; e

- attraverso la struttura intermedia, formare un corrispondente canale di alimentazione principale (40), il quale è lateralmente sfalsato rispetto alla membrana principale ed è in comunicazione fluidica con la camera principale;

- attraverso il corpo ugelli, formare un corrispondente ugello principale (240), in modo che sia in comunicazione fluidica con il canale di alimentazione principale;

ed in cui ciascun attuatore piezoelettrico principale è controllabile elettricamente in modo da operare in una condizione di riposo, tale per cui la pressione del fluido all'interno della corrispondente camera principale è pari ad un valore di riferimento (P_0) tale per cui detto fluido attraversa il corrispondente canale di alimentazione principale ed il corrispondente ugello principale sotto forma di un flusso continuo; ed in cui ciascun attuatore piezoelettrico principale è inoltre controllabile elettricamente in modo da operare in una condizione attiva, in cui causa una deformazione della corrispondente membrana principale ed una conseguente variazione, rispetto alla

pressione di riferimento, della pressione del fluido all'interno della corrispondente camera principale, detta variazione di pressione causando un'interruzione temporanea di detto flusso continuo.

11. Procedimento di fabbricazione secondo la rivendicazione 10, in cui detta struttura intermedia (5) include una struttura multistrato (6, 8, 10), detto procedimento comprendendo inoltre le fasi di:

- formare detta struttura multistrato su un substrato semiconduttivo (3) di una prima fetta semiconduttiva (1500), in modo che includa uno strato dielettrico posteriore (6) che contatta detto substrato semiconduttivo;

- formare, al di sopra della struttura multistrato, gli attuatori piezoelettrici principali (20); e successivamente

- rimuovere selettivamente porzioni della struttura multistrato lateralmente sfalsate rispetto agli attuatori piezoelettrici principali, in modo da formare parti frontali di detti canali di alimentazione principali (40), dette parti frontali essendo delimitate da porzioni dello strato dielettrico posteriore;

detto procedimento comprendendo inoltre le fasi di:

- in una seconda fetta semiconduttiva (2000) comprendente uno strato dielettrico di rivestimento frontale (2204), uno strato dielettrico di rivestimento posteriore

(2205) ed un rispettivo substrato semiconduttivo (2203) interposto tra detti strati dielettrici di rivestimento frontale e posteriore, rimuovere selettivamente porzioni dello strato dielettrico di rivestimento frontale e sottostanti porzioni del substrato semiconduttivo, in modo da formare una prima cavità (207); e

- rimuovere selettivamente porzioni dello strato dielettrico di rivestimento frontale lateralmente sfalsate rispetto alla prima cavità e sottostanti porzioni del substrato semiconduttivo della seconda fetta semiconduttiva, in modo da formare cavità preliminari (2240) delimitate da corrispondenti porzioni dello strato dielettrico di rivestimento posteriore;

detto procedimento comprendendo inoltre le fasi di:

- accoppiare la prima e la seconda fetta semiconduttiva, in modo che la prima cavità sia rivolta verso gli attuatori piezoelettrici principali e sovrasti detti attuatori piezoelettrici principali, ed in modo che le cavità preliminari comunichino, ciascuna, con la parte frontale di un corrispondente canale di alimentazione principale; e successivamente

- rimuovere detto strato dielettrico di rivestimento posteriore (2205) e una porzione adiacente del substrato

semiconduttivo della seconda fetta semiconduttiva, in modo da rimuovere dette porzioni dello strato dielettrico di rivestimento posteriore che delimitano le cavità preliminari;

- rimuovere selettivamente porzioni del substrato semiconduttivo della prima fetta semiconduttiva, in modo da formare le camere principali (4), le quali sono delimitate superiormente da detto strato dielettrico posteriore (6); e

- rimuovere selettivamente dette porzioni dello strato dielettrico posteriore (6) che delimitano dette parti frontali dei canali di alimentazione principali, in modo da porre in comunicazione ciascuna camera principale con la parte frontale del corrispondente canale di alimentazione principale.

12. Procedimento di fabbricazione secondo la rivendicazione 11, in cui detta fase di formare una struttura multistrato (6,8,10) comprende formare uno strato dielettrico frontale (10) ed un strato semiconduttivo (8), interposto tra lo strato dielettrico frontale (10) e lo strato dielettrico posteriore (6); ed in cui detta fase di rimuovere selettivamente porzioni della struttura multistrato lateralmente sfalsate rispetto agli attuatori piezoelettrici principali (20) comprende rimuovere porzioni dello strato dielettrico frontale e sottostanti porzioni dello strato semiconduttivo.

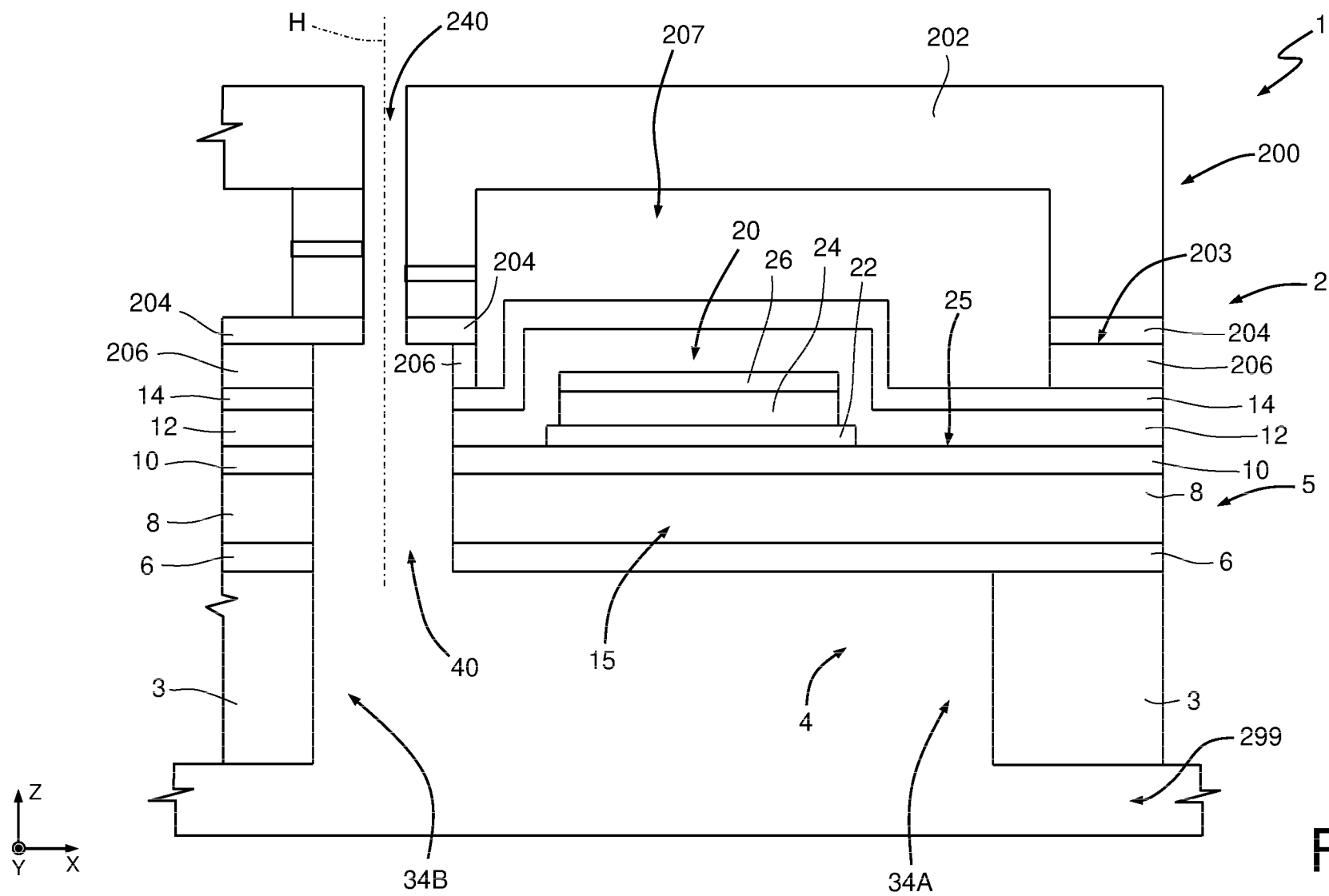
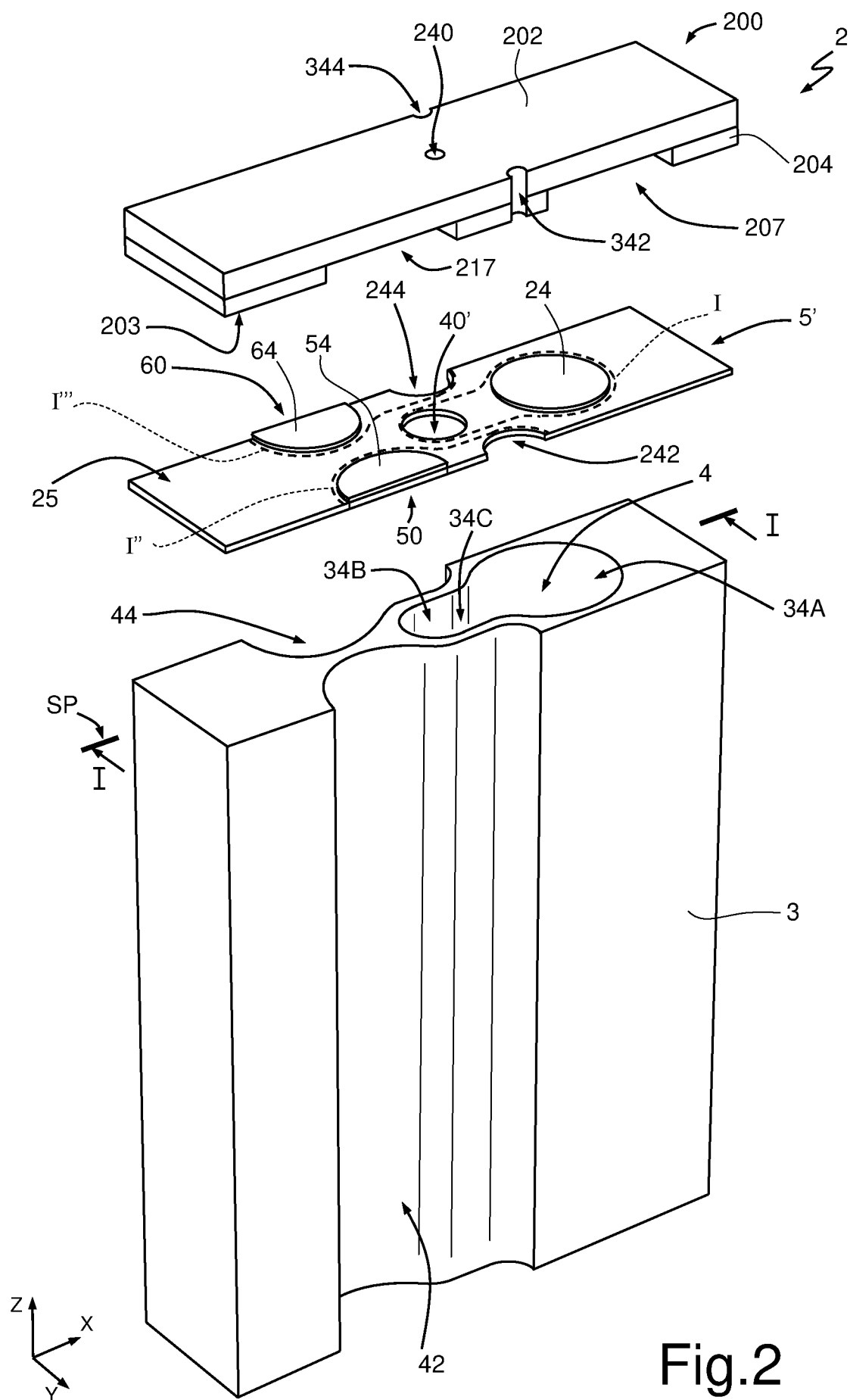


Fig.1



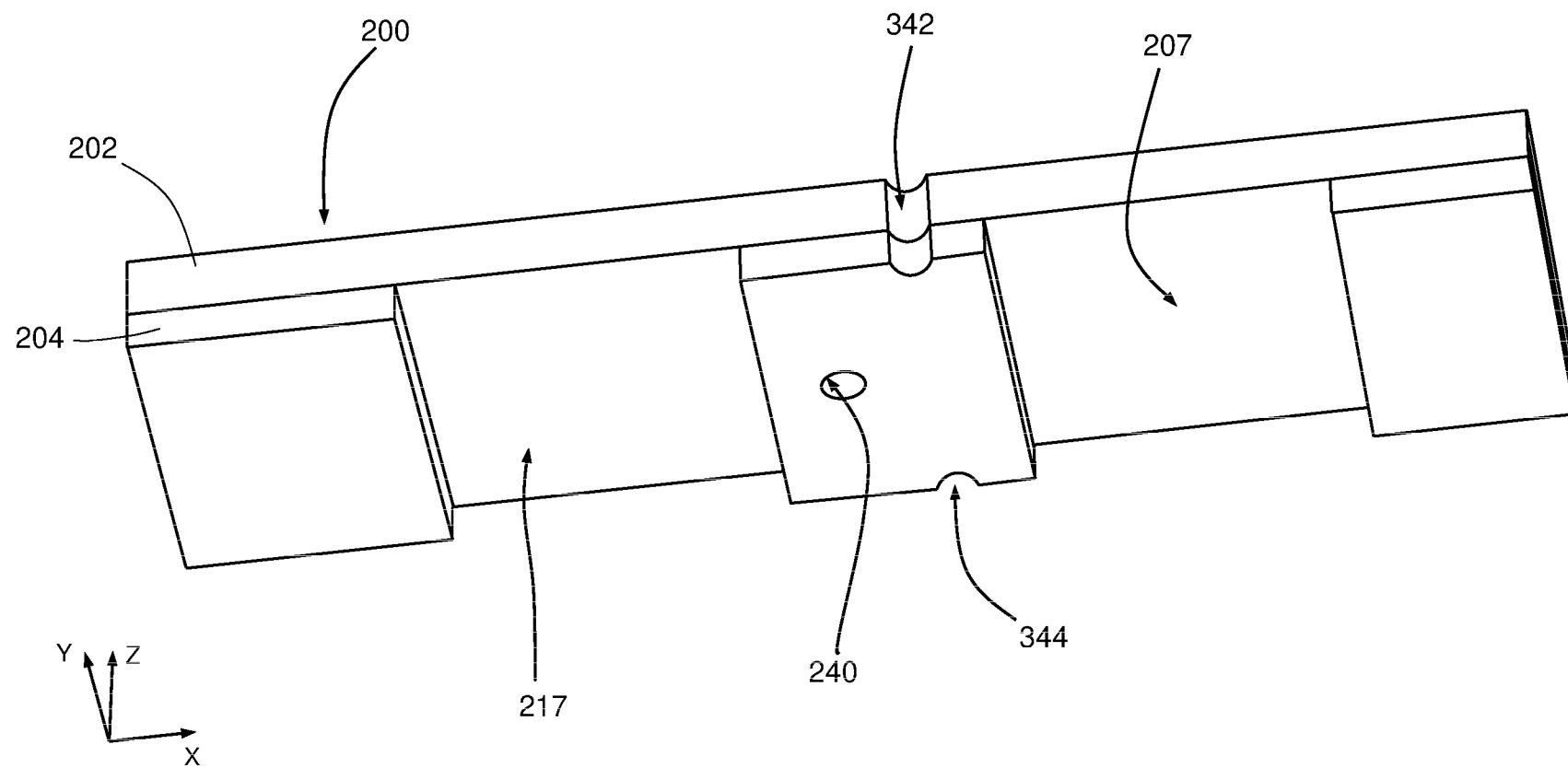


Fig.4

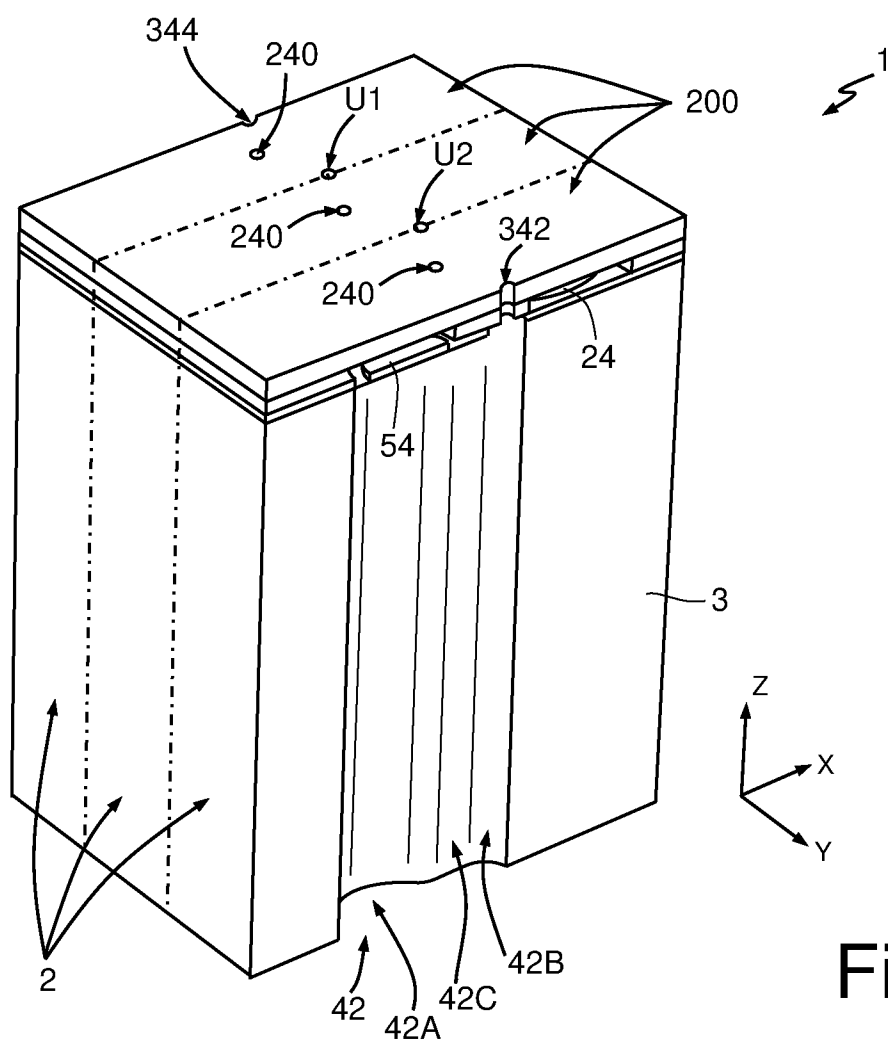


Fig.5

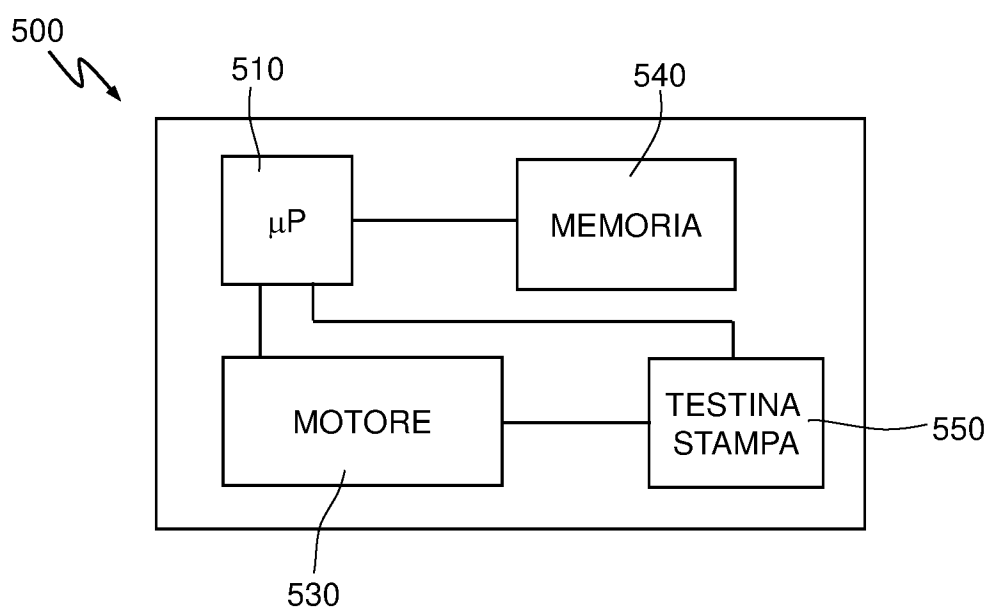


Fig.11

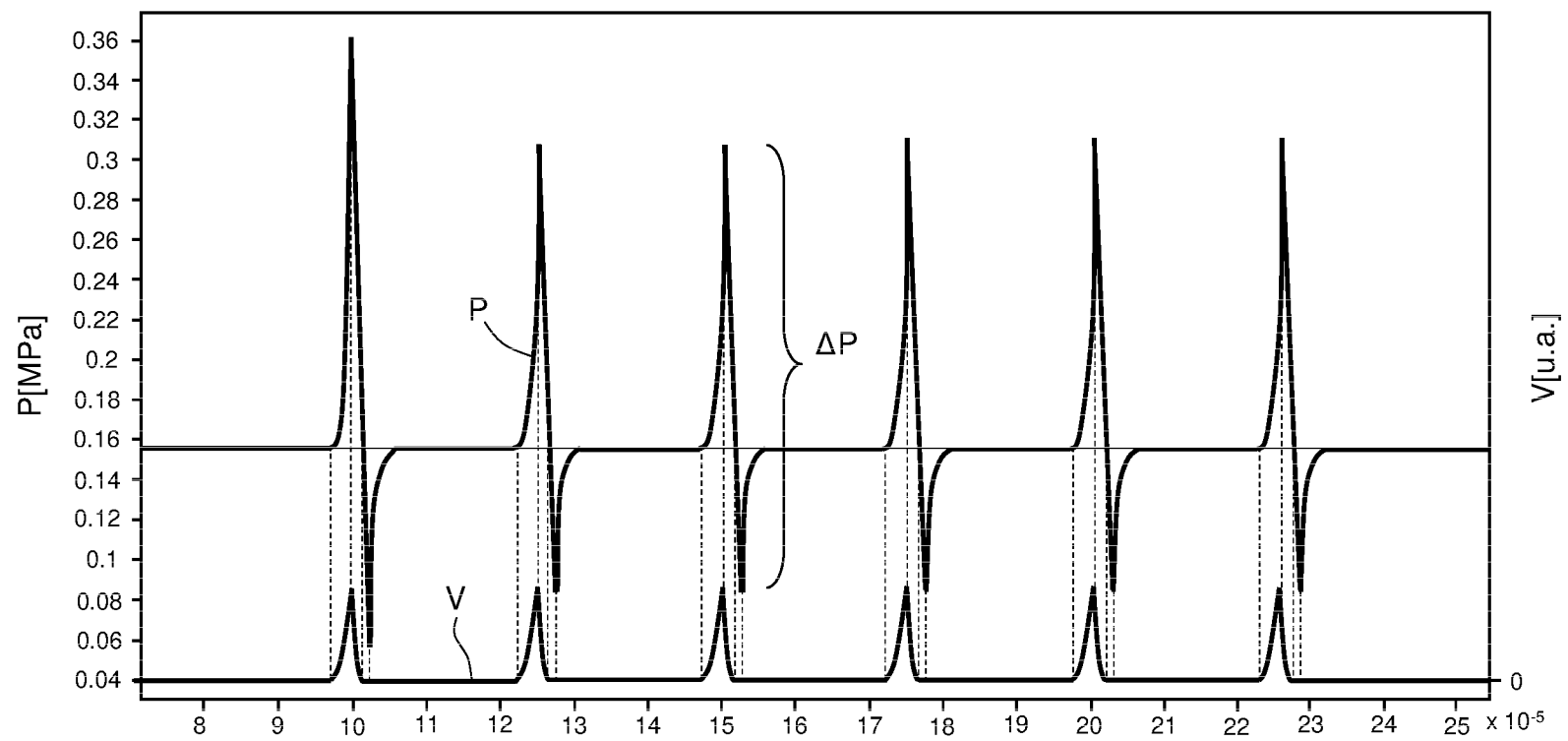


Fig.6

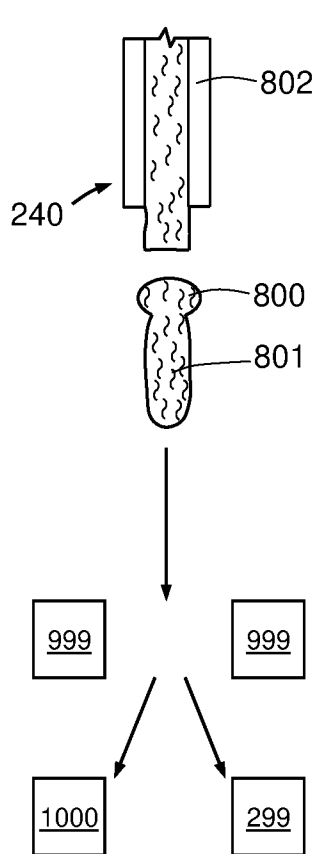


Fig.7

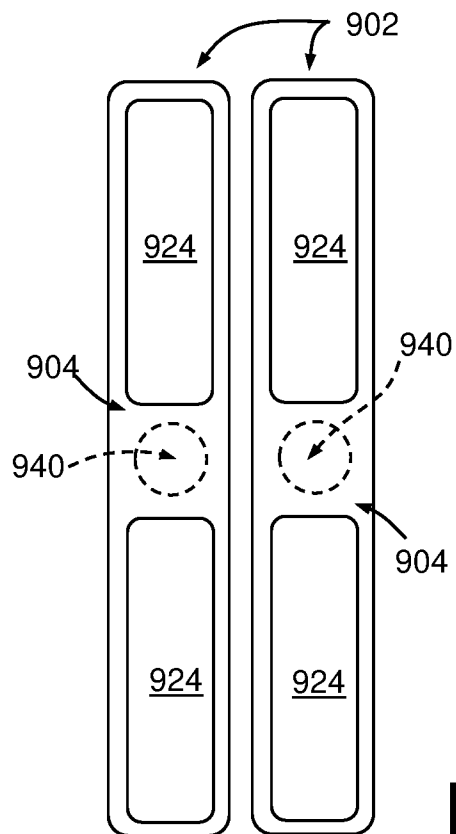


Fig.9

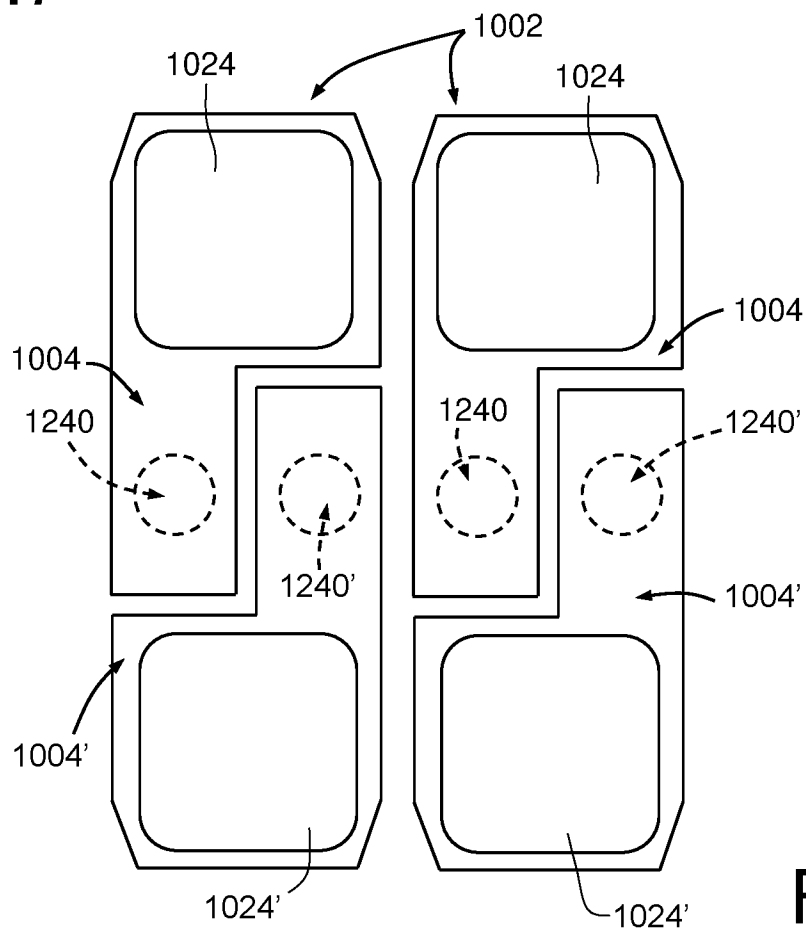


Fig.10

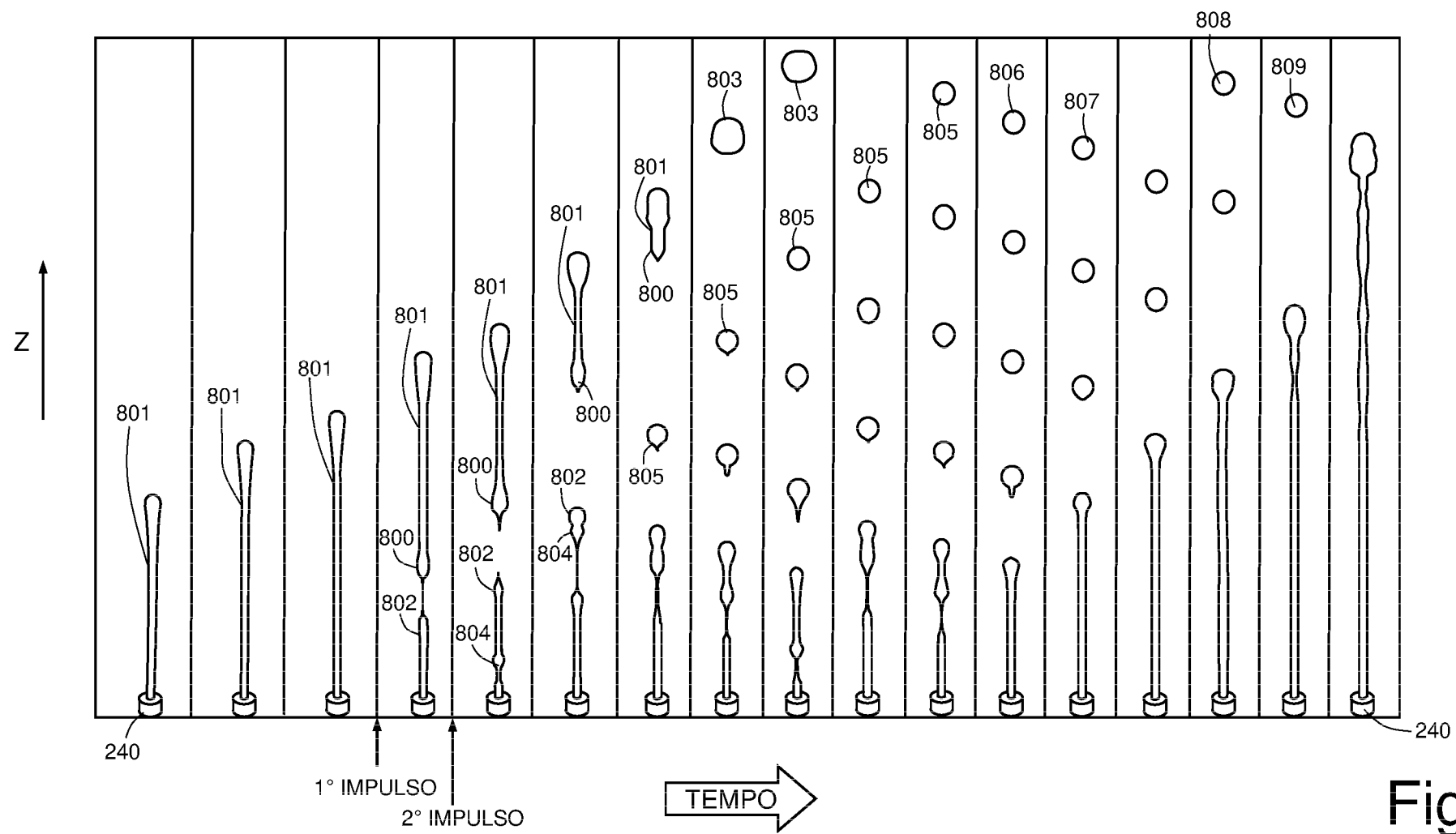


Fig.8

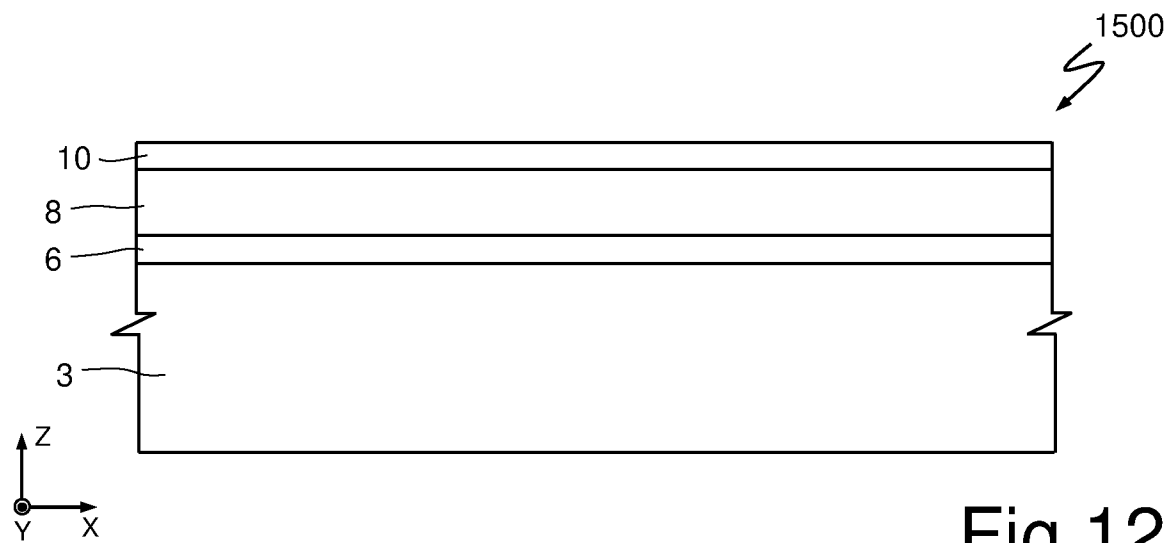


Fig.12

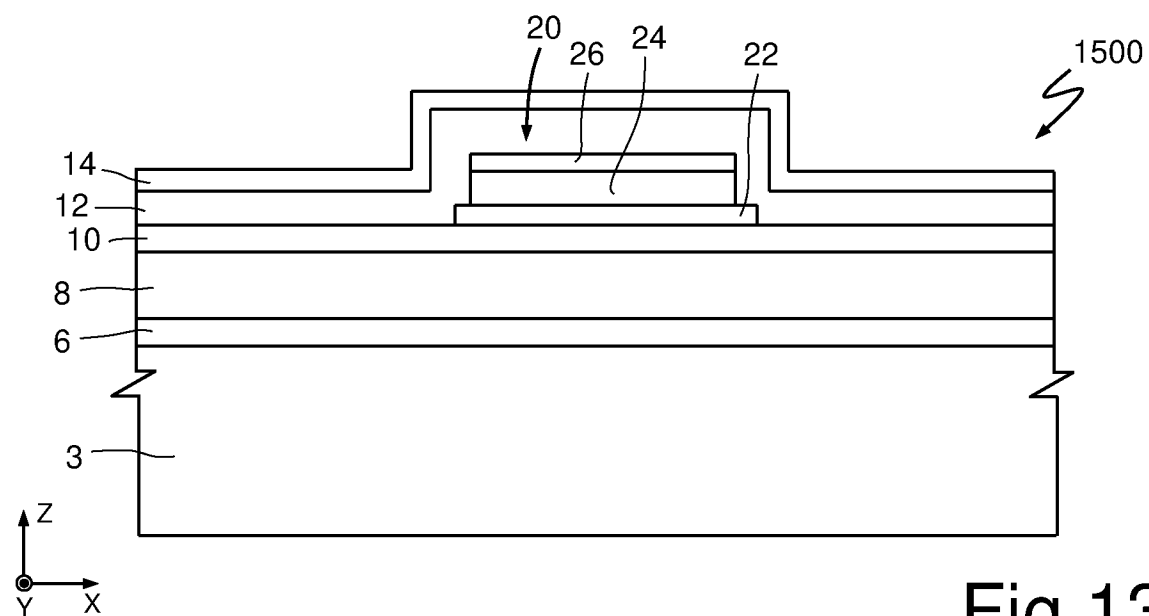


Fig.13

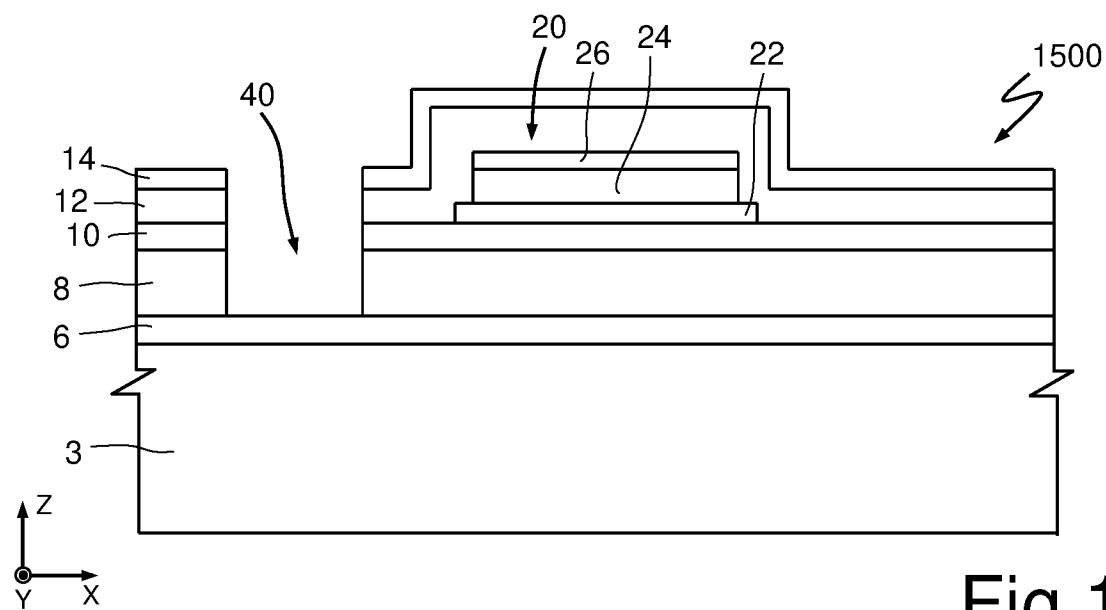


Fig.14

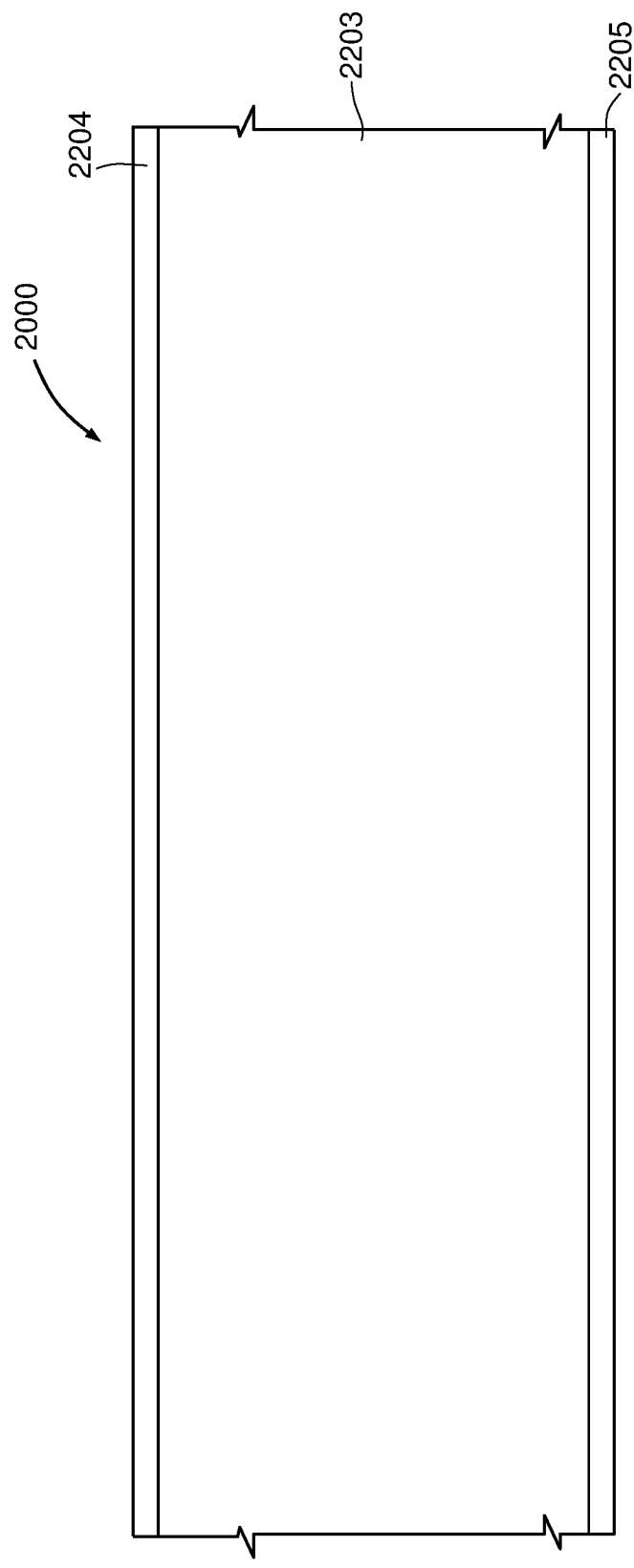


Fig.15

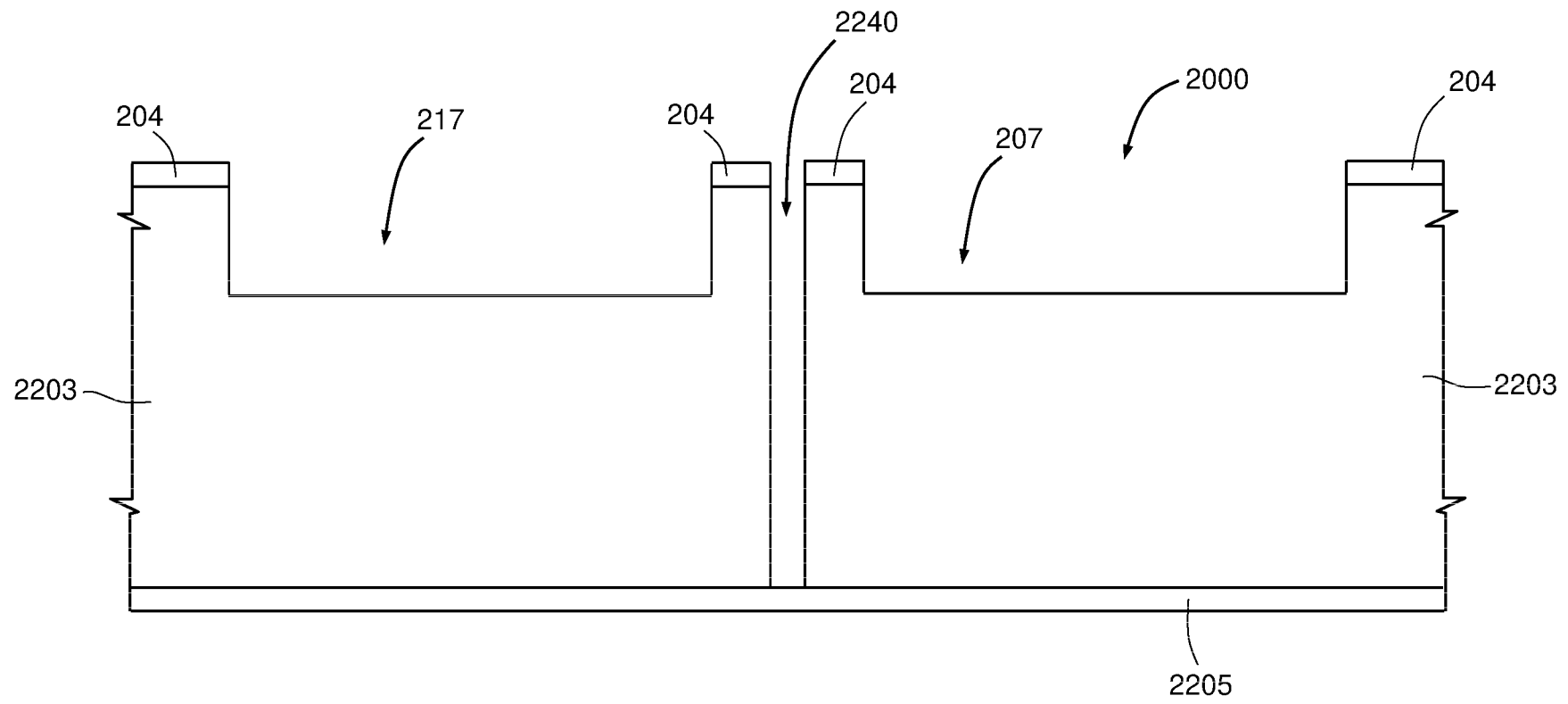


Fig.16

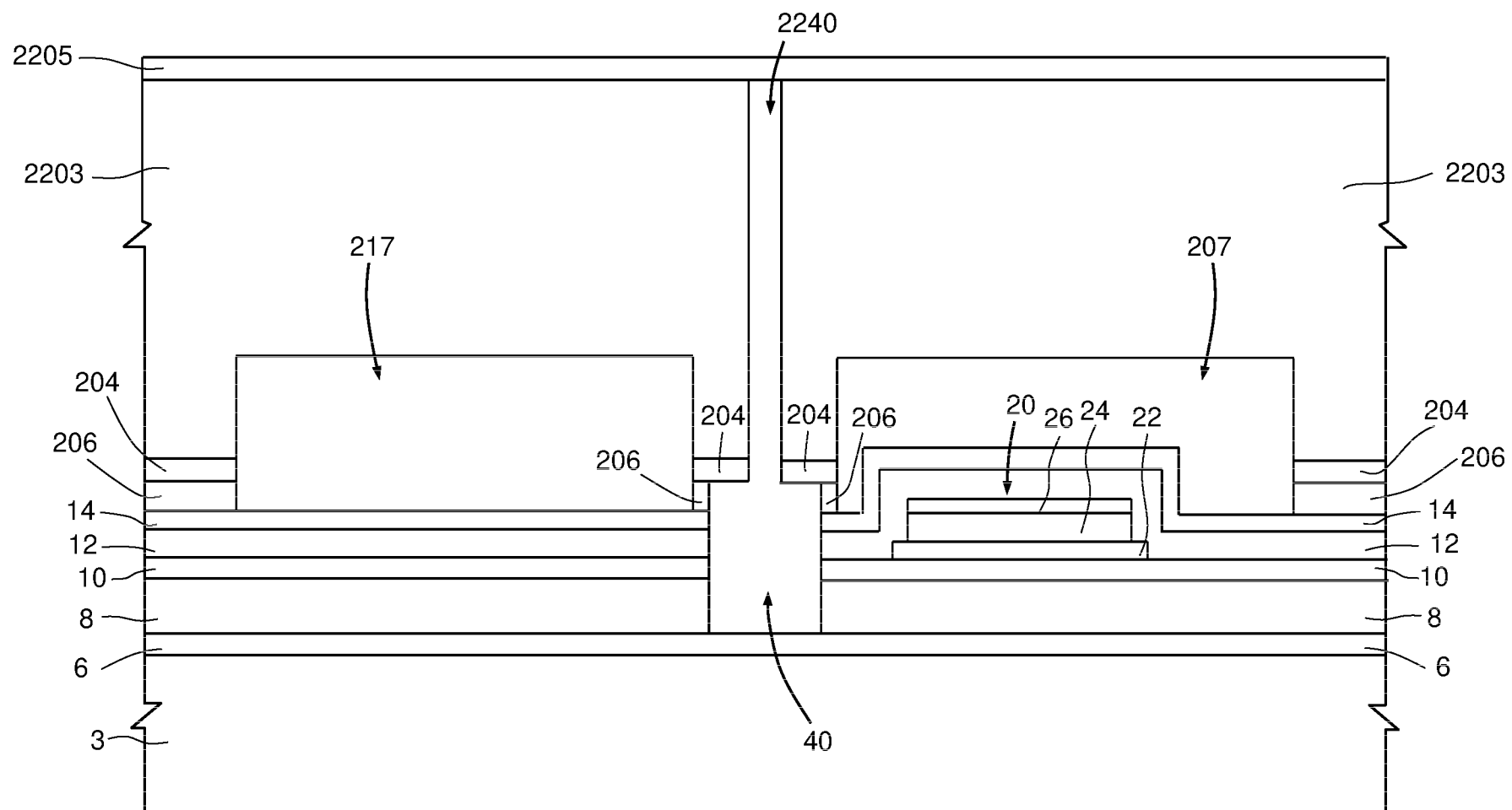


Fig.17

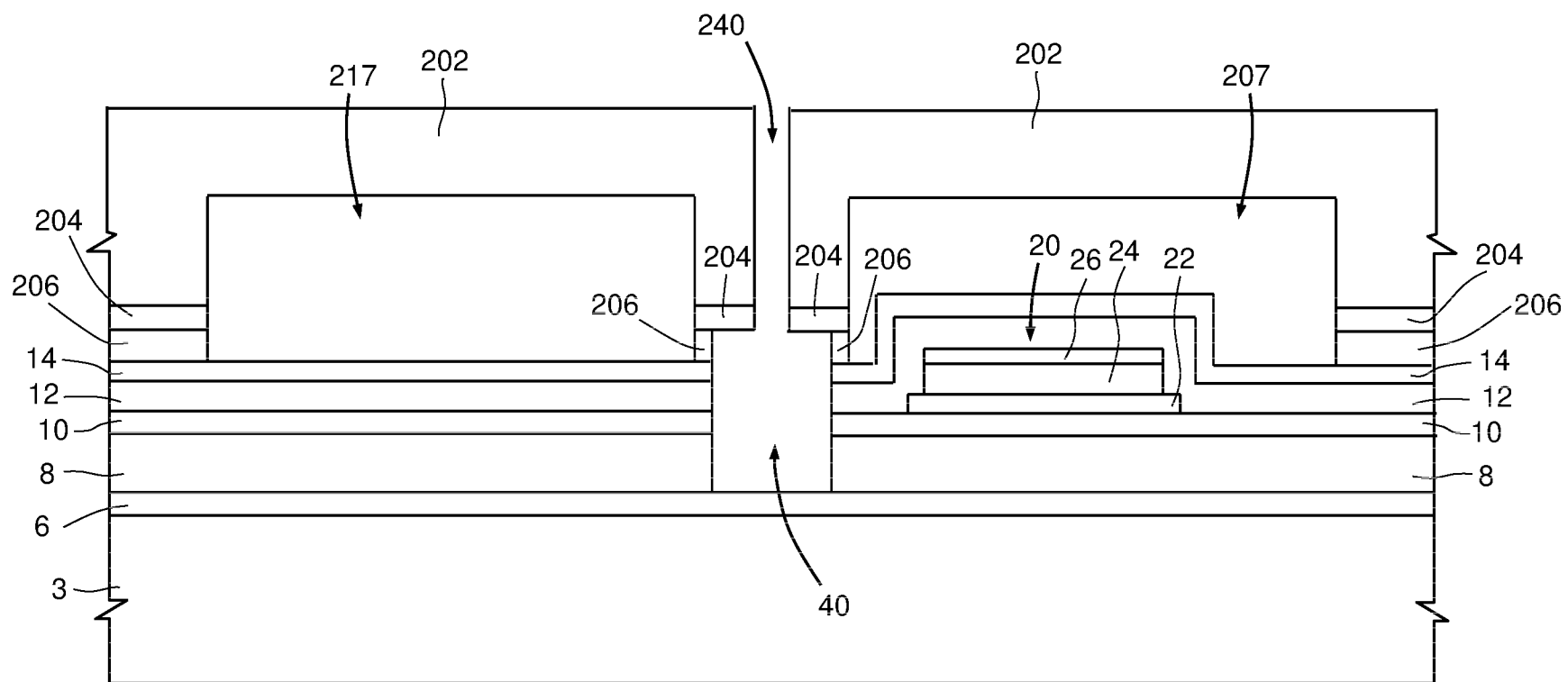


Fig.18

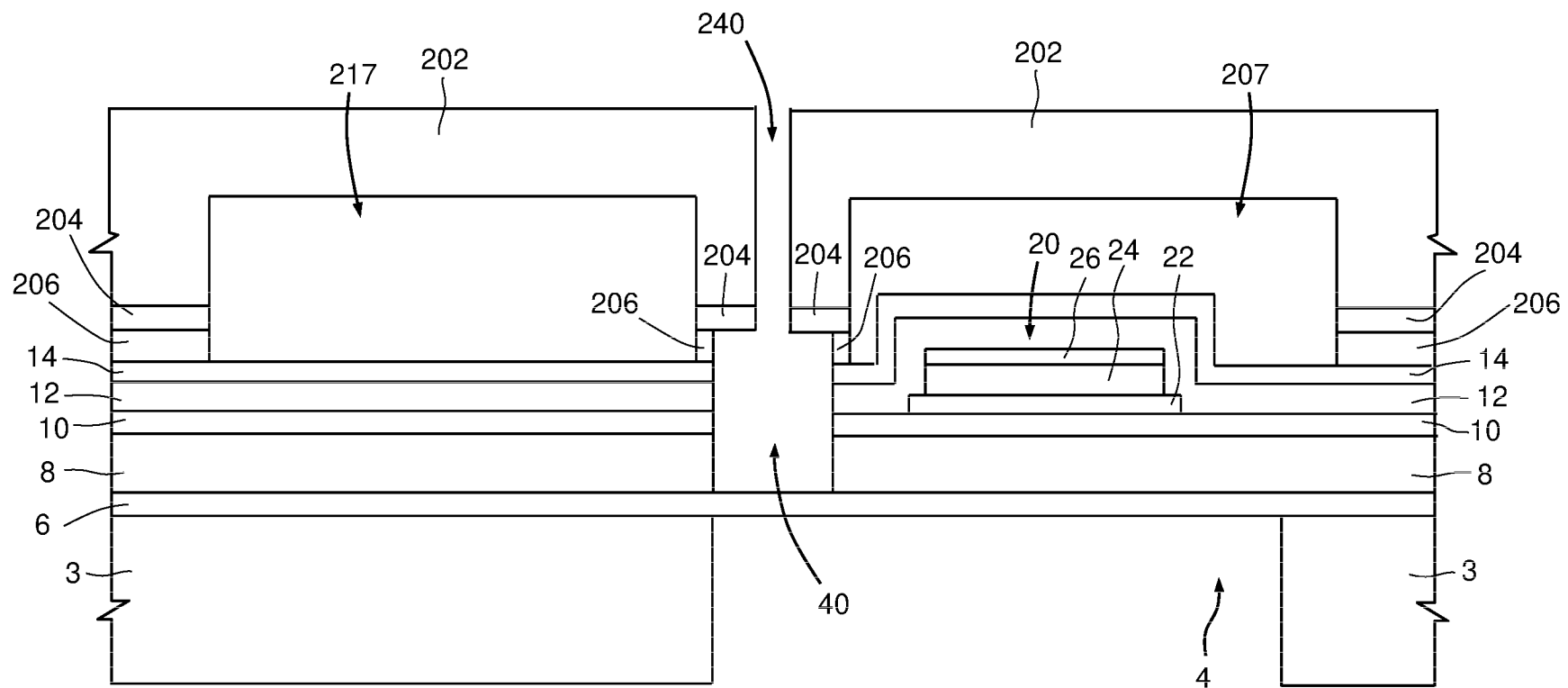


Fig.19

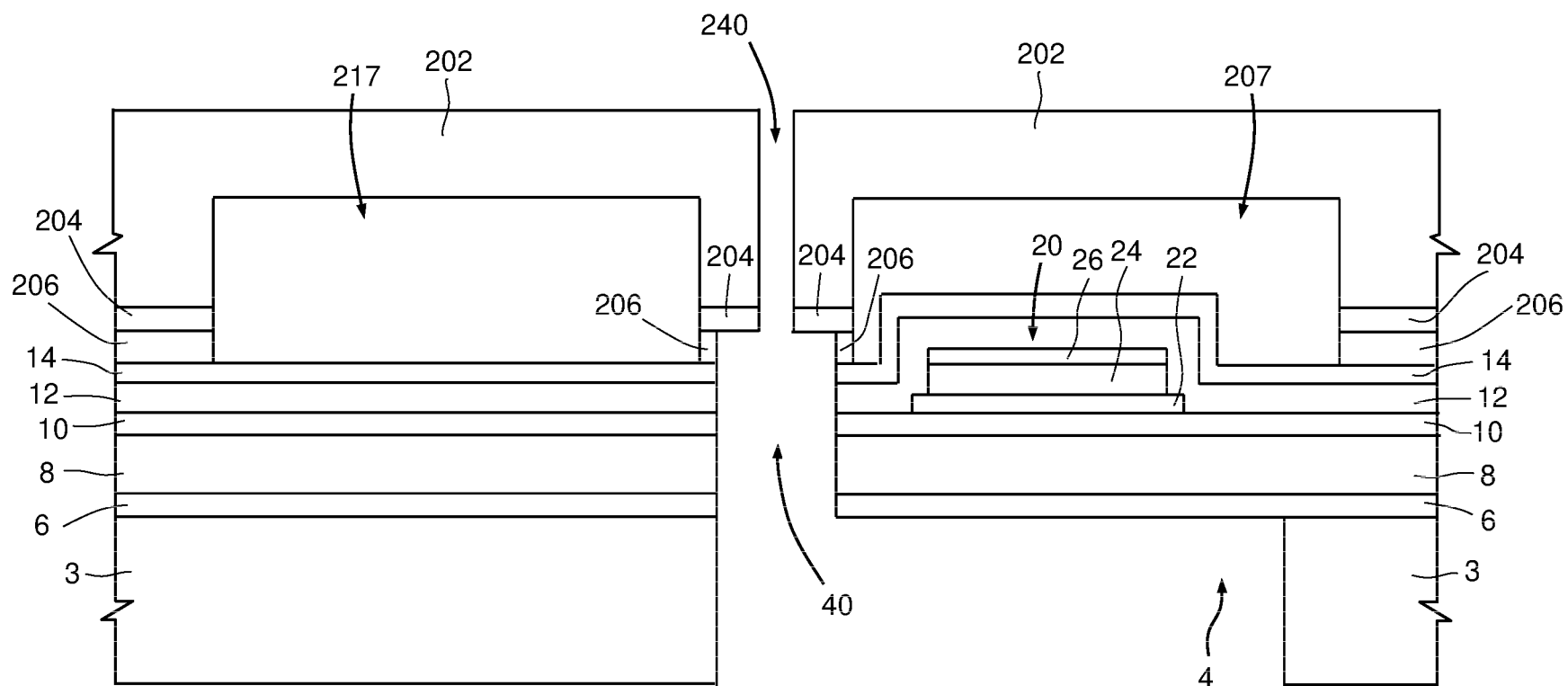


Fig.20