

# ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902049823A1

Publication Date

20131111

Applicant

STMICROELECTRONICS S.R.L.

Title

PROCESSO DI FABBRICAZIONE DI UNA PIASTRA DEGLI UGELLI, PIASTRA  
DEGLI UGELLI, E DISPOSITIVO DI EIEZIONE DI LIQUIDO DOTATO DELLA  
PIASTRA DEGLI UGELLI.

## DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"PROCESSO DI FABBRICAZIONE DI UNA PIASTRA DEGLI UGELLI,  
PIASTRA DEGLI UGELLI, E DISPOSITIVO DI EIEZIONE DI LIQUIDO  
DOTATO DELLA PIASTRA DEGLI UGELLI"

di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA C. OLIVETTI, 2

AGRATE BRIANZA (MB)

Inventori: FARALLI Dino, PALMIERI Michele

\*\*\*

La presente invenzione è relativa ad un processo di fabbricazione di una piastra degli ugelli ("nozzle plate"), ad una piastra degli ugelli, e ad un dispositivo di eiezione di liquido comprendente tale piastra degli ugelli.

Dispositivi di eiezione di liquido in forma di gocce (come ad esempio inalatori, testine per stampanti, ecc.) comprendono generalmente un piatto degli ugelli disposto affacciato ad un serbatoio contenente il liquido da eiettare. Un elemento di attuazione, ad esempio un piezoelettrico, può essere utilizzato per deformare il serbatoio e provocare la fuoriuscita del liquido attraverso gli ugelli della membrana. Un'altra tecnologia nota di eiezione di liquido è la tecnologia termica (nota come thermal inkjet o bubble inkjet), in cui un riscaldatore,

posto tra ciascun ugello e il serbatoio, è atto a generare una bolla di vapore che causa l'eiezione di liquido dal rispettivo ugello.

Risulta chiaro che, indipendentemente dalla tecnologia di eiezione utilizzata, la dimensione e la forma degli ugelli, nonché l'uniformità della dimensione e della forma degli ugelli, sono parametri particolarmente importanti per definire la dimensione e la direzionalità delle gocce generate e la loro riproducibilità.

Generalmente, gli ugelli hanno forma cilindrica con diametro di uscita minore rispetto al diametro del canale che alimenta agli ugelli il liquido da eiettare. Spesso, tra il canale di alimentazione e il rispettivo ugello, è inoltre previsto un elemento di raccordo di forma sostanzialmente a tronco di cono avente una sezione di base maggiore (con diametro pari al diametro del canale di alimentazione) accoppiata al canale di alimentazione stesso, e una sezione di base minore (con diametro pari al diametro della sezione di base dell'ugello) accoppiata all'ugello. Questa configurazione consente di aumentare la velocità di eiezione delle gocce generate. Tuttavia, la fase di accoppiamento, in particolare tra l'elemento di raccordo e l'ugello, non è agevole, ed è spesso causa di disallineamenti indesiderati.

Inoltre, ugelli aventi una bocca di uscita che

protrude dalla piastra degli ugelli sono particolarmente soggetti a danneggiamento, e al deposito indesiderato di materiale atto a creare un ostacolo all'eiezione del liquido. Un ulteriore svantaggio di tali piastre degli ugelli è la dipendenza della goccia eiettata dalla conformazione strutturale esterna degli ugelli.

Scopo della presente invenzione è fornire un processo di fabbricazione di una piastra degli ugelli per un dispositivo di eiezione di liquido, una piastra degli ugelli per un dispositivo di eiezione di liquido, ed un dispositivo di eiezione di liquido che utilizza tale piastra degli ugelli, privi degli inconvenienti dell'arte nota.

Secondo la presente invenzione vengono realizzati un processo di fabbricazione di una piastra degli ugelli per un dispositivo di eiezione di liquido, una piastra degli ugelli per un dispositivo di eiezione di liquido, ed un dispositivo di eiezione di liquido che utilizza tale piastra degli ugelli, come definito nelle rivendicazioni allegate.

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

- la figura 1 illustra una vista prospettica sezionata

di una porzione di un dispositivo di eiezione di liquido provvisto di una piastra degli ugelli includente un ugello, secondo una forma di realizzazione della presente invenzione;

- le figure 2-12 mostrano, in vista laterale in sezione, fasi di fabbricazione della piastra degli ugelli di figura 1 secondo una forma di realizzazione della presente invenzione;

- le figure 13-19 mostrano, in vista laterale in sezione, fasi di fabbricazione della piastra degli ugelli di figura 1 secondo una ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione;

- la figura 20 è una vista in sezione laterale del dispositivo di eiezione di liquido di figura 1, in cui è mostrata la piastra degli ugelli includente una pluralità di ugelli; e

- la figura 21 illustra una macchina di stampa comprendente il dispositivo di eiezione di figura 1 o figura 20.

La figura 1 mostra, in vista prospettica, un elemento di eiezione di liquido ("liquid ejection element") 1 secondo una forma di realizzazione della presente invenzione. L'elemento di eiezione di liquido 1 comprende una piastra ("plate") 2 provvista di uno o più ugelli ("nozzles") 4 (solo un ugello 4 è mostrato in figura 1). In

particolare, la vista di figura 1 mostra l'elemento di eiezione di liquido 1 sezionato lungo un diametro dell'ugello 4 che, in questa rappresentazione, ha forma sostanzialmente circolare.

Al di sotto della piastra 2 è disposto un serbatoio 6 fluidicamente collegato all'ugello 4 mediante un canale di eiezione 8. Il serbatoio 6 è atto a contenere un liquido da eiettare attraverso l'ugello 4. L'eiezione è ottenuta, secondo una forma di realizzazione, mediante un elemento piezoelettrico (non mostrato in figura 1), avente la funzione di attuatore per consentire l'eiezione del liquido attraverso l'ugello 4. Quando attivato mediante un'opportuna elettronica di comando (non mostrata), tale attuatore piezoelettrico induce una vibrazione che si trasmette al liquido contenuto nel canale di eiezione 8, causandone la fuoriuscita attraverso l'ugello 4. Altri tipi di attuatori sono utilizzabili, ad esempio attuatori di tipo termico, operanti secondo la tecnologia "thermal ink-jet".

L'ugello 4 è realizzato in forma di foro che si estende completamente attraverso la piastra 2, in una regione di quest'ultima provvista di un recesso 2'. L'ugello 4 forma un passaggio del liquido contenuto nel serbatoio 6 verso l'esterno dell'elemento di eiezione di liquido 1. Una sezione di ingresso ("inlet section") 4a

dell'ugello 4 è direttamente fluidicamente accoppiata con il canale di eiezione 8, mentre una sezione di uscita 4b dell'ugello 4 si estende in corrispondenza del recesso 2'. La distanza, lungo la direzione Z, tra la sezione di ingresso 4a e di uscita 4b corrisponde allo spessore della piastra 2. La sezione di uscita 4b dell'ugello 4 ha, in vista superiore (cioè osservando l'ugello 4 lungo la direzione Z) forma sostanzialmente circolare con diametro  $d_1$ . La sezione di ingresso 4a ha anch'essa, in vista superiore, forma sostanzialmente circolare, ma con diametro  $d_2$  maggiore di  $d_1$ . Questa conformazione dell'ugello 4, in cui la sezione di ingresso 4a, direttamente accoppiata al canale di eiezione 8, ha diametro  $d_2$  maggiore del diametro  $d_1$  della sezione di uscita 4b, che si estende in corrispondenza del recesso 2', ha il vantaggio di consentire la generazione, durante l'uso, di gocce eiettate aventi elevata velocità di uscita. In particolare, la velocità di tali gocce è maggiore rispetto a quanto ottenibile mediante ugelli aventi forma sostanzialmente cilindrica, in cui la sezione di ingresso ha diametro circa uguale alla sezione di uscita.

Secondo una forma di realizzazione, il recesso 2' si estende in modo da circondare almeno parzialmente l'ugello 4. Secondo una ulteriore forma di realizzazione, il recesso 2' si estende in modo da circondare completamente l'ugello

4.

Il recesso 2' è delimitato da pareti 3 disposte a distanza dall'ugello 4, in modo tale da non ostacolare, e non interferire con, l'eiezione del liquido durante l'uso dell'elemento di eiezione di liquido 1. Ad esempio, le pareti 3 si estendono ad una distanza minima  $D_R$ , misurata a partire dal bordo della sezione di uscita 4b dell'ugello 4, compresa tra circa 3  $\mu\text{m}$  e circa 30  $\mu\text{m}$ , in particolare tra circa 5  $\mu\text{m}$  e circa 20  $\mu\text{m}$ , ad esempio pari a circa 10  $\mu\text{m}$ . Il recesso 2' si estende nello strato strutturale 16 per una profondità, misurata a partire dalla superficie superiore dello strato strutturale 2, compresa tra 0.1  $\mu\text{m}$  e 10  $\mu\text{m}$ , ad esempio pari a 1  $\mu\text{m}$ .

La presenza del recesso 2' consente di evitare che detriti, ad esempio derivanti dal processo di eiezione del liquido dall'ugello 4, e/o materiale indesiderato con cui può entrare in contatto la piastra 2 durante l'uso, possano interferire con l'eiezione del liquido dall'ugello 4. In particolare, se la piastra 2 viene posta a contatto con una superficie sporca, la sezione di uscita 4b dell'ugello 4, essendo formata nel recesso 2', non risulta essere in contatto diretto con tale superficie sporca, riducendo così le possibilità di ostruzione dell'ugello 4.

Secondo una forma di realizzazione della presente invenzione, la piastra degli ugelli ("nozzle plate") 2

comprende inoltre uno strato protettivo 9 che si estende in modo tale da coprire la superficie di base del recesso 2' e le pareti del foro che realizza l'ugello 4 (cioè le pareti che collegano la sezione di ingresso 4a con la sezione di uscita 4b). Lo strato protettivo 9 è di un materiale che non subisce un degrado significativo quando posto a contatto (anche prolungato) con il liquido che si intende eiettare attraverso l'ugello 4. In questo modo, anche nel caso di eiezioni di liquidi corrosivi, l'ugello non subisce un degrado tale da comprometterne un utilizzo efficace per l'applicazione considerata. Risulta evidente che la scelta del materiale utilizzato per lo strato protettivo 9 dipende dal tipo di utilizzo previsto per l'elemento di eiezione di liquido 1. Ad esempio, nel caso in cui il liquido da eiettare sia inchiostro, materiali utilizzabili per lo strato di protezione 9 sono, ad esempio, carburo di silicio, allumina, ossido di afnio, titanio ,tantalo, tungsteno e/o leghe di essi.

Le figure 2-12 mostrano fasi di fabbricazione dell'elemento di eiezione di liquido 1 di figura 1. In particolare, vengono descritte fasi di fabbricazione della piastra degli ugelli 2 e del suo accoppiamento con il canale 8. Le fasi di fabbricazione del serbatoio 6 e del suo accoppiamento con il canale di eiezione 8 non sono oggetto della presente invenzione e non sono pertanto, nel

seguito, descritte in dettaglio.

La vista dell'elemento di eiezione di liquido 1 delle figure 2-12 corrisponde all'elemento di eiezione di liquido 1 di figura 1 quando osservato parallelamente alla direzione Y, ortogonalmente al piano XZ.

Con riferimento alla figura 2, secondo un aspetto della presente invenzione, viene disposta una fetta ("wafer") 10, comprendente un substrato 11 di materiale semiconduttore, ad esempio di silicio, avente uno spessore sostanzialmente uniforme, compreso nell'intervallo da circa 200  $\mu\text{m}$  a circa 800  $\mu\text{m}$ , ad esempio pari a circa 400  $\mu\text{m}$ . Il substrato 11 presenta una faccia superiore 11a ed una faccia inferiore 11b, opposte tra loro lungo la direzione dell'asse Z.

Quindi, viene formato sul substrato 11 uno strato intermedio 12 per proteggere il substrato 11 durante successive fasi di fabbricazione. Ad esempio, lo strato intermedio 12 è di ossido di silicio ( $\text{SiO}_2$ ) ed è formato, secondo un aspetto della presente invenzione, mediante crescita termica di  $\text{SiO}_2$  sul substrato 11 quando quest'ultimo è di silicio. Lo strato intermedio 12 è, in particolare, formato sia sulla faccia superiore 11a che sulla faccia inferiore 11b del substrato 11.

Secondo una diversa forma di realizzazione della presente invenzione, lo strato intermedio 12 è formato solo

in corrispondenza della faccia superiore 11a del substrato 11.

In ogni caso, è evidente che lo strato intermedio 12 può essere formato mediante una tecnica diversa dalla crescita termica, ad esempio mediante deposizione di materiale quale ossido di silicio o nitruro di silicio (SiN), o altro materiale ancora.

Indipendentemente dalla tecnica utilizzata per formare lo strato intermedio 12, quest'ultimo ha uno spessore sostanzialmente uniforme, compreso nell'intervallo da circa 0.5  $\mu\text{m}$  a circa 2  $\mu\text{m}$ , ad esempio pari a circa 1  $\mu\text{m}$ .

Quindi, figura 3, viene formato, al di sopra della faccia superiore 11a del substrato 11, uno strato sacrificale 14, ad esempio mediante tecnica di deposizione. Lo strato sacrificale 14 può essere sia di un materiale che può essere rimosso ("etched") insieme con il materiale di cui è formato lo strato intermedio 12 (cioè mediante una stessa chimica di attacco), sia di un materiale attaccabile selettivamente rispetto al materiale di cui è formato lo strato intermedio 12. Ad esempio, lo strato sacrificale 14 è di ossido di silicio o di nitruro di silicio, o di altro materiale ancora. Lo strato sacrificale 14 ha uno spessore compreso nell'intervallo da circa 0.1  $\mu\text{m}$  a circa 10  $\mu\text{m}$ , ad esempio pari a circa 1  $\mu\text{m}$ .

In figura 4, lo strato sacrificale 14 è selettivamente

attaccato in modo da rimuovere lo strato sacrificale 14 dalla fetta 10 ad eccezione di regioni in cui si desidera formare il recesso 2' mostrato in figura 1. Si forma così un'isola sacrificale 14' che si estende al di sopra dello strato intermedio 12 e della faccia superiore 11a del substrato 11.

Quindi, figura 5, viene cresciuto sulla fetta 10 (al di sopra della faccia superiore 11a del substrato 11, dello strato intermedio 12, e dell'isola sacrificale 14') uno strato strutturale 16, ad esempio mediante crescita epitassiale di silicio. Lo strato strutturale 16 ha spessore sostanzialmente uniforme, compreso nell'intervallo da circa 5  $\mu\text{m}$  a circa 100  $\mu\text{m}$ , e preferibilmente da circa 10  $\mu\text{m}$  a 50  $\mu\text{m}$ , ad esempio pari a 20  $\mu\text{m}$ . Secondo una forma di realizzazione della presente invenzione, lo strato strutturale 16 viene inizialmente formato con uno spessore maggiore dello spessore desiderato. Si procede quindi con una fase di planarizzazione, così da raggiungere uno spessore desiderato (uniforme sulla fetta 10) e ridurre allo stesso tempo la rugosità superficiale dello strato strutturale 16. La fase di planarizzazione è effettuata, ad esempio, con tecnica CMP ("Chemical Mechanical Planarization").

Quindi, figura 6a, lo strato strutturale 16 viene attaccato in modo tale da definire una apertura 18 in

corrispondenza dell'isola sacrificale 14'. L'apertura 18 concorre a formare, in successive fasi di fabbricazione, l'ugello 4. Come mostrato in figura 6b, l'apertura 18 ha un'estensione, in vista superiore, minore dell'estensione dell'isola sacrificale 14' (cioè l'apertura 18 è completamente contenuta all'interno dell'isola sacrificale 14').

L'attacco dello strato strutturale 16 per formare l'apertura 18 è eseguito, ad esempio, mediante tecnica RIE ("Reactive Ion Etching"), e procede fino a che non viene raggiunta l'isola sacrificale 14', che opera, in questo caso, come elemento di interruzione dell'attacco ("etch stop element").

Risulta evidente che, secondo diverse forme di realizzazione della presente invenzione, l'apertura 18 può essere formata mediante altre tecniche di attacco, umido o secco.

Indipendentemente dalla tecnica con cui viene formata l'apertura 18, quest'ultima ha, secondo la vista di figura 6b, forma sostanzialmente circolare. In vista prospettica (non mostrata), l'apertura 18 ha, secondo un aspetto della presente invenzione, forma sostanzialmente cilindrica. La base circolare dell'apertura 18 ha diametro scelto secondo necessità, in modo tale che essa sia contenuta internamente all'isola sacrificale 14'. Ad esempio, il diametro è

compreso tra 1  $\mu\text{m}$  e 40  $\mu\text{m}$ , più in particolare tra 5  $\mu\text{m}$  e 25  $\mu\text{m}$ . Come meglio descritto in seguito, a causa di successive fasi di fabbricazione, il diametro dell'apertura 18 (misurato durante la fase di figura 5) è maggiore del diametro dell'ugello 4 al termine delle fasi di fabbricazione.

Sempre con riferimento alle figure 6a e 6b, viene formato, al di sopra dello strato strutturale 16 e all'interno dell'apertura 18, uno strato di restringimento 20. Lo strato di restringimento 20 ha uno spessore compreso tra circa 1  $\mu\text{m}$  e circa 5  $\mu\text{m}$ , ad esempio pari a 2  $\mu\text{m}$ , ed è di un materiale che può essere attaccato selettivamente rispetto al materiale di cui è formata l'isola sacrificale 14'. Ad esempio, nel caso in cui l'isola sacrificale 14' è di ossido di silicio, lo strato di restringimento 20 è, di nitruro di silicio. Viceversa, nel caso in cui l'isola sacrificale 14' è di nitruro di silicio ossido di silicio, lo strato di restringimento 20 è di ossido di silicio. Altri materiali possono tuttavia essere utilizzati.

Lo strato di restringimento 20 si estende, in particolare, in corrispondenza di una parete interna 18' che delimita lateralmente l'apertura 18. Preferibilmente, lo spessore precedentemente indicato per lo strato di restringimento 20 è misurato in corrispondenza della parete interna 18' dell'apertura 18.

Quindi, figura 7, lo strato di restringimento 20 viene attaccato mediante attacco secco direttivo (anisotropo), mostrato in figura 7 mediante frecce 21. In questo modo, porzioni dello strato di restringimento 20 estendentisi ortogonalmente alla direzione di attacco (cioè porzioni dello strato di restringimento 20 estendentisi parallelamente al piano XY) vengono rimosse più velocemente rispetto a porzioni dello strato di restringimento 20 che si estendono parallelamente alla direzione di attacco. Conseguentemente, porzioni dello strato di restringimento 20 estendentisi al di sopra dello strato strutturale 16 e al di sopra di parte dell'isola sacrificale 14' vengono completamente rimosse; invece, una porzione dello strato di restringimento 20 estendentesi lungo la parete laterale (parete interna) 18' dell'apertura 18 non viene completamente rimossa, ma viene modellata ("shaped") in modo tale da assumere una forma almeno parzialmente rastremata, cioè avente spessore  $D_{SPACER}$  (misurato a partire dalla parete interna 18') non uniforme. In particolare, lo spessore  $D_{SPACER}$  diminuisce allontanandosi dall'isola sacrificale 14' lungo la direzione Z. Si forma così un elemento di restringimento 20' estendentesi nell'apertura 18 in corrispondenza della, e adiacente alla, parete interna 18' dell'apertura 18 stessa.

Come si nota dalla figura 7, la fase di attacco dello

strato di restringimento 20 consente di modellare, durante la stessa fase di attacco, l'elemento di restringimento 20' nel modo desiderato, come precedentemente descritto. L'apertura 18 assume così una forma assimilabile, secondo una forma di realizzazione, ad un tronco di cono. In generale, l'elemento di restringimento 20' è atto a modellare la forma dell'apertura 18 in modo tale che essa presenti una sezione (parallela al piano XY ed estendentesi in corrispondenza dell'isola sacrificale 14') avente diametro minore del diametro della sezione dell'apertura 18 (anch'essa considerata parallela al piano XY) estendentesi in corrispondenza della superficie esposta dello strato strutturale 16. In generale, l'area della sezione dell'apertura 18 estendentesi in corrispondenza dell'isola sacrificale 14' è minore dell'area della sezione estendentesi in corrispondenza della superficie esposta dello strato strutturale 16. In uso, al termine della fasi di fabbricazione, la sezione di area minore forma la sezione di uscita ("outlet section") dell'ugello 4, mentre la sezione di area maggiore forma la sezione di ingresso ("inlet section") dell'ugello 4.

Tale elemento di restringimento 20' ha la funzione di formare un ugello 4 avente una forma rastremata, come già mostrato in figura 1 e descritto con riferimento a tale figura. In particolare, a seconda del tipo di attacco che

si utilizza per rimuovere lo strato di restringimento 20, e della durata dell'attacco stesso, l'elemento di restringimento 20' può assumere una forma (in vista in sezione) triangolare oppure una forma in vista in sezione data dall'unione di una porzione triangolare e di una porzione quadrangolare, in cui la porzione quadrangolare si estende in prolungamento della porzione triangolare. In vista prospettica, questa forma è assimilabile alla sovrapposizione di una porzione a tronco di cono con una porzione cilindrica. Ovviamente, essendo l'elemento di restringimento 20' monolitico e di uno stesso materiale, le due porzioni si estendono l'una dopo l'altra con continuità, e senza una separazione netta. Risulta evidente che questa descrizione dell'elemento di restringimento 20' è qualitativa. Irregolarità rispetto alla forma geometrica ideale descritta, dovute al processo di fabbricazione, sono possibili.

Quindi, figura 8, l'isola sacrificale 14' viene rimossa mediante attacco umido. Durante questa fase di attacco si rimuove anche la porzione dello strato intermedio 12 che si estende al di sotto dell'isola sacrificale 14', fino a raggiungere il substrato 11. Si forma in questo modo una cavità 24 che si estende al di sotto dell'elemento di restringimento 20' e parzialmente al di sotto dello strato strutturale 16. In altre parole, la

cavità 24 si estende tra il substrato 11 e l'elemento di restringimento 20', e tra il substrato 11 e parte dello strato strutturale 16.

Nel caso in cui l'isola sacrificale 14' e lo strato intermedio 12 siano di materiali che non possono essere rimossi con una stessa chimica di attacco, sono necessari due successivi attacchi, per rimuovere l'isola sacrificale 14' e la porzione di strato intermedio 12 giacente al di sotto di quest'ultima.

Quindi, figura 9, viene formato lo strato protettivo 9, estendentesi al di sopra dello strato strutturale 16 e dell'elemento di restringimento 20', e in corrispondenza delle pareti che delimitano la cavità 24. In particolare lo strato protettivo 9 si estende sul fondo della cavità 24 (corrispondente alla faccia superiore 11a del substrato 11 esposta durante le fasi di figura 8) e in corrispondenza delle porzioni dello strato strutturale 16 e dell'elemento di restringimento 20' direttamente affacciate verso la cavità 24.

Lo strato protettivo 9 è, secondo una forma di realizzazione della presente invenzione, depositato mediante tecnica di deposizione a strato atomico ("ALD-atomic layer deposition"), depositando un materiale scelto tra carburo di silicio, allumina, ossido di afnio, titanio, tantalio, tungsteno e/o leghe di essi.

Lo strato protettivo 9 depositato con tecnica ALD ha spessore controllato su tutta la superficie dell'ugello 4 ("conformal film"). La tecnica di deposizione ALD consente di formare lo strato protettivo 9 anche all'interno della cavità 24, in corrispondenza della superficie 11a del substrato 11, dello strato strutturale 16, e dell'elemento di restringimento 20'.

La richiedente ha verificato che, con tecnica ALD, si ottiene una buona copertura di tutte le pareti della cavità 24 formata in seguito alla rimozione dell'isola sacrificale 14', anche in corrispondenza di porzioni remote di quest'ultima.

Altre tecniche di deposizione CVD possono tuttavia essere utilizzate. Tuttavia, tecniche CVD diverse dalla tecnica ALD potrebbero non garantire un'ottima copertura delle pareti della cavità 24 in corrispondenza di porzioni remote di quest'ultima.

Quindi, figura 10, una fase di molatura ("grinding") in corrispondenza della faccia inferiore 11b del substrato 11 permette di rimuovere completamente lo strato intermedio 12 che si estende in corrispondenza della faccia inferiore 11b del substrato 11, il substrato 11, e la porzione di strato protettivo 9 formata sulla faccia superiore 11a del substrato 11, così da raggiungere lo strato strutturale 16.

Si forma in questo modo la piastra 2 comprendente un ugello 4 come descritta con riferimento alla figura 1. La piastra 2 ha una prima faccia 2a coperta dallo strato protettivo 9 ed una seconda faccia 2b che presenta il recesso 2' e l'ugello 4.

La figura 11a mostra, in vista superiore quando osservato dalla seconda faccia 2b, l'ugello 4. Come visibile, l'ugello 4 ha, in vista superiore e in corrispondenza del recesso 2', forma sostanzialmente circolare e presenta un diametro avente un primo valore  $d_1$ . La porzione dell'ugello 4 in corrispondenza del recesso 2' è la sezione dell'ugello 4 da cui si ha, in uso, l'eiezione del liquido.

Risulta evidente che, secondo ulteriori forme di realizzazione (non mostrate), l'ugello 4 può avere, in vista superiore e in corrispondenza del recesso 2', forma ellittica, quadrangolare, poligonale, o forma irregolare, o altra forma ritenuta vantaggiosa per l'applicazione prevista per l'ugello 4.

La figura 11b mostra, in vista superiore quando osservato dalla prima faccia 2a, l'ugello 4. Anche in corrispondenza della prima faccia 2a l'ugello 4 ha forma sostanzialmente circolare, ma in questo caso presenta un diametro avente un secondo valore  $d_2$  maggiore del primo valore  $d_1$ . La porzione dell'ugello 4 in corrispondenza

della prima faccia 2a è la sezione dell'ugello 4 direttamente affacciata al canale di eiezione 8, da cui si alimenta il liquido da eiettare.

Dunque, tornando alla vista in sezione della figura 10, l'ugello 4 presenta una regione rastremata atta ad operare come congiunzione tra il canale di eiezione 8 e la sezione di uscita dell'ugello 4. La sezione della regione rastremata avente diametro maggiore  $d_2$  è configurata per essere direttamente affacciata al canale di eiezione 8, fluidicamente accoppiata a quest'ultimo.

Il canale di eiezione 8 è formato partendo da un substrato 30 di materiale semiconduttore, ad esempio silicio, lavorato mediante tecniche di microfabbricazione di tipo noto (litografia e attacco) in modo tale da formare un canale 31 di forma sostanzialmente cilindrica avente diametro  $d_c$  di una sezione di base maggiore del diametro  $d_2$  (e di conseguenza anche del diametro  $d_1$ ) dell'ugello 4.

Con riferimento alla figura 12, il substrato 30 viene accoppiato alla prima faccia 2a della piastra 2 mediante tecnica nota, ad esempio bonding fetta-fetta ("wafer-to-wafer bonding"), o mediante colla, o mediante uno strato adesivo, o in altro modo ancora. L'accoppiamento del substrato 30 con la piastra 2 è eseguito in modo tale che la retta, parallela all'asse Z, passante per il centro dell'ugello 4, coincide con la retta, parallela all'asse Z,

passante per il centro del canale di eiezione 8.

Secondo una forma di realizzazione della presente invenzione, per facilitare l'operazione di molatura descritta con riferimento alla fase 10, la fase di accoppiamento del substrato 30 alla piastra 2 è eseguita prima della fase di molatura del substrato 11. In questo modo, durante l'operazione di molatura, il substrato 30 ha la funzione di rinforzare la piastra 2 e facilitarne il maneggiamento.

Le figure 13-19 mostrano fasi di fabbricazione di un elemento di eiezione di liquido 100 secondo una ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione.

Con riferimento alla figura 13, in modo analogo a quanto già descritto con riferimento alla figura 2 per la rispettiva forma di realizzazione, viene disposta una fetta ("wafer") 100, comprendente un substrato 110 di materiale semiconduttore, ad esempio di silicio, avente uno spessore sostanzialmente uniforme, compreso nell'intervallo da circa 200  $\mu\text{m}$  a circa 800  $\mu\text{m}$ , ad esempio pari a circa 400  $\mu\text{m}$ . Il substrato 110 presenta una faccia superiore 110a ed una faccia inferiore 110b, opposte tra loro lungo la direzione dell'asse Z.

Quindi, viene formato sul substrato 110 uno strato intermedio 112 per proteggere il substrato 110 durante successive fasi di fabbricazione. Ad esempio, lo strato

intermedio 112 è di ossido di silicio ( $\text{SiO}_2$ ) ed è formato mediante crescita termica di  $\text{SiO}_2$  sul substrato 110 di silicio. Lo strato intermedio 112 è, in particolare, formato sia sulla faccia superiore 110a che sulla faccia inferiore 110b del substrato 110. Risulta evidente che lo strato intermedio 112 può essere formato solo in corrispondenza della faccia superiore 110a del substrato 110.

In ogni caso, è evidente che lo strato intermedio 112 può essere formato mediante una tecnica diversa dalla crescita termica, ad esempio mediante deposizione. Inoltre, lo strato intermedio 112 può essere di un materiale diverso dal  $\text{SiO}_2$ , ad esempio di nitrato di silicio ( $\text{SiN}$ ), o altro materiale ancora.

Indipendentemente dalla tecnica utilizzata per formare lo strato intermedio 112, quest'ultimo ha uno spessore sostanzialmente uniforme, compreso nell'intervallo da circa  $0.1\text{ }\mu\text{m}$  a circa  $10\text{ }\mu\text{m}$ , ad esempio pari a circa  $1\text{ }\mu\text{m}$ .

Quindi, figura 14, al di sopra della faccia superiore 111a del substrato 111 e dello strato intermedio 120, viene formato uno strato strutturale 116, ad esempio mediante crescita epitassiale di silicio. Lo strato strutturale 116 ha spessore sostanzialmente uniforme, compreso nell'intervallo da circa  $5\text{ }\mu\text{m}$  a circa  $100\text{ }\mu\text{m}$ , e preferibilmente da circa  $10\text{ }\mu\text{m}$  a  $50\text{ }\mu\text{m}$ , ad esempio pari a

20  $\mu\text{m}$ . Quindi, lo strato strutturale 116 viene attaccato in modo tale da definire una apertura 118 che si estende completamente attraverso lo strato strutturale 116, fino a raggiungere lo strato intermedio 112.

La dislocazione sulla fetta 100, e la forma, dell'apertura 118 sono analoghe a quelle già descritte con riferimento alle figure 6a e 6b della rispettiva forma di realizzazione. In questo caso, tuttavia, l'isola sacrificale 14' non è presente.

Quindi, figura 15, viene formato, al di sopra dello strato strutturale 116 e all'interno dell'apertura 118, uno strato di restringimento ("spacer") 120. Lo strato di restringimento 120 ha uno spessore compreso tra circa 1  $\mu\text{m}$  e circa 5  $\mu\text{m}$ , ad esempio pari a 2  $\mu\text{m}$  ed è di un materiale che può essere attaccato selettivamente rispetto al materiale di cui è formato lo strato intermedio 112. Ad esempio, nel caso in cui lo strato intermedio 112 è di ossido di silicio, lo strato di restringimento 20 è di nitruro di silicio. Viceversa, nel caso in cui lo strato intermedio 112 è di nitruro di silicio ossido di silicio, lo strato di restringimento 20 è di ossido di silicio. Altri materiali possono tuttavia essere utilizzati.

Lo strato di restringimento 20 si estende, in particolare, in corrispondenza della parete interna 18' che delimita lateralmente l'apertura 18. Preferibilmente, lo

spessore precedentemente indicato per lo strato di restringimento 20 è misurato in corrispondenza della parete interna 18' dell'apertura 18.

Quindi, figura 16, lo strato di restringimento 20 viene attaccato mediante attacco secco direttivo (anisotropico), mostrato dalle frecce 121 in figura 16. In questo modo, porzioni dello strato di restringimento 120 estendentisi ortogonalmente alla direzione di attacco (cioè porzioni dello strato di restringimento 120 estendentisi parallelamente al piano XY) vengono rimosse più velocemente rispetto a porzioni dello strato di restringimento 120 che si estendono parallelamente alla direzione di attacco. Conseguentemente, porzioni dello strato di restringimento 120 estendentisi al di sopra dello strato strutturale 116 e al di sopra di parte dello strato intermedio 112 vengono completamente rimosse; invece, porzioni dello strato di restringimento 120 estendentisi lungo pareti laterali 118' dell'apertura 118 non vengono sensibilmente attaccate. Si forma così un elemento di restringimento 120' estendentesi nell'apertura 118 in corrispondenza delle pareti laterali 118' della stessa. Come si nota dalla figura 16 (e come già descritto con riferimento alla figura 7), la fase di attacco dello strato di restringimento 120 modella l'elemento di restringimento 120', in particolare in corrispondenza delle loro estremità superiori dove

l'apertura 118 assume una forma sostanzialmente a tronco di cono.

Quindi, figura 17, si esegue una fase di attacco per rimuovere la porzione dello strato intermedio 112 esposta attraverso l'apertura 118. In particolare, questa fase di attacco procede fintantoché anche una porzione dello strato intermedio 112 che si estende tra lo strato intermedio 112 e lo strato strutturale 116 viene rimossa. In questo modo, l'elemento di restringimento 120' e parte dello strato strutturale 116 risultano parzialmente sospesi al di sopra del substrato 111.

L'attacco dello strato intermedio 112 secondo la fase di figura 17 è un attacco di tipo isotropico (attacco umido o attacco secco).

Secondo una ulteriore forma di realizzazione, l'elemento di restringimento 120' sono dello stesso materiale di cui è formato lo strato intermedio 112 (ad esempio di ossido di silicio). In questo caso, la fase di attacco secondo la figura 17 rimuove anche parte dell'elemento di restringimento 120'. Tuttavia, formando distanziatori 120' di spessore opportuno, è possibile ovviare a questo problema.

Quindi, figura 18, viene formato uno strato protettivo 109, estendentesi al di sopra dello strato strutturale 116 e dell'elemento di restringimento 120'. In particolare, lo

strato protettivo 109 si estende anche sulla faccia superiore 111a del substrato 111 esposta durante la fase di figura 17, e in corrispondenza delle porzioni dello strato strutturale 116 e dell'elemento di restringimento 120' affacciate verso la faccia superiore 111a del substrato 111.

Lo strato protettivo 109 è analogo allo strato protettivo 9 già descritto con riferimento alle figure 1 e 9 precedenti, ed è formato nello stesso modo.

Quindi, figura 19, una fase di molatura ("grinding") in corrispondenza della faccia inferiore 111b del substrato 111 permette di assottigliare rimuovere completamente lo strato intermedio 112 che si estende in corrispondenza della faccia inferiore 111b del substrato 111, il substrato 111, e la porzione di strato protettivo 109 estendentesi direttamente a contatto con la faccia superiore 111a del substrato 111. Arrestando la fase di molatura in questo stadio, permane una porzione dello strato intermedio 112 circondante l'ugello 104 tale da formare un recesso 112' nello strato intermedio 112. Il recesso 112' ha, in uso, la stessa funzione del recesso 2' di figura 1.

Alternativamente, è possibile arrestare la molatura al termine della rimozione della porzione dello strato protettivo 109 estendentesi direttamente sulla faccia superiore 11a del substrato 11, e rimuovere il rimanente

strato intermedio 112 mediante una fase di attacco selettivo, ad esempio un attacco umido. Quindi, si esegue una fase di attacco secco dello strato protettivo 109 in modo da rimuovere solo parzialmente lo strato protettivo 109 intorno all'ugello 104, così da formare un recesso analogo al recesso 2' di figura 1.

Indipendentemente dalla forma di realizzazione, si forma una piastra 102 comprendente un ugello 104 che è analoga alla piastra 2 comprendente l'ugello 4 descritta con riferimento alla figura 1 e mostrata in tale figura. La piastra 102 ha una prima faccia 102a coperta dallo strato protettivo 109 ed una seconda faccia 102b che presenta il recesso 112'.

In seguito, si procede all'accoppiamento della piastra 102 con un substrato 130 analogo al substrato 30 descritto con riferimento alla figura 12, così da accoppiare fluidicamente l'ugello 104 ad un canale di eiezione.

La figura 20 mostra un dispositivo di eiezione di liquido 200 comprendente una piastra 2 o 102 provvista di una pluralità di ugelli 4 o 104 e fabbricata secondo il metodo delle figure 2-12 o, rispettivamente, secondo il metodo delle figure 13-19.

Il dispositivo di eiezione di liquido 200 comprende un serbatoio 6, disposto al di sotto della piastra 2, 102 e atto a contenere in un proprio alloggiamento 202 interno

una sostanza liquida 205 (ad esempio inchiostro) che, in uso, deve essere fatto fuoriuscire dagli ugelli 4; 104 attraverso i canali di eiezione 6 . L'attuazione del dispositivo di eiezione di liquido 200 può essere effettuata in vari modi, ad esempio mediante un attuatore 204 di tipo piezoelettrico, solidale ad una faccia inferiore del serbatoio 6 opposta alla piastra degli ugelli 2. Alternativamente, possono essere previsti (in modo non mostrato) una pluralità di attuatori, di tipo piezoelettrico o tipo a ink-jet termico, disposti in corrispondenza di un rispettivo ugello 4, 104, ad esempio immediatamente al di sotto del rispettivo ugello 4, 104, nel canale di eiezione 8.

Altre modalità di disposizione degli attuatori sono tuttavia possibili. Ad esempio, ciascun ugello 4, 104 può essere fluidicamente accoppiato ad un rispettivo serbatoio, e ciascun serbatoio può essere provvisto di un rispettivo elemento di attuazione 204. O, ancora, un gruppo di ugelli 4, 104 è fluidicamente accoppiato ad uno stesso serbatoio, ed un altro gruppo di ugelli è fluidicamente accoppiato ad un ulteriore serbatoio. I serbatoi possono essere riempiti con liquidi diversi tra loro.

Con riferimento alla figura 20, quando attivato mediante un'opportuna elettronica di comando (non mostrata), l'attuatore 204 induce una vibrazione che si

trasmette attraverso il serbatoio 6 al liquido 205 contenuto nell'alloggiamento 202, causandone la fuoriuscita attraverso gli ugelli 4, 104.

Secondo una forma di realizzazione è prevista una bocca di entrata 206 per ricaricare il serbatoio 6 con ulteriore sostanza liquida quando questa, in seguito all'utilizzo del dispositivo di eiezione di liquido 200, si esaurisce. Alternativamente, il dispositivo di eiezione di liquido 200 è di tipo non ricaricabile e la bocca di entrata 206 è omessa.

Secondo una forma di realizzazione della presente invenzione, il dispositivo di eiezione di liquido 200 è una cartuccia di stampa, per stampanti di tipo a getto d'inchiostro.

La figura 21 mostra schematicamente una stampante a getto d'inchiostro 300 provvista di un dispositivo di eiezione di liquido 200 (avente la funzione di cartuccia di stampa) che comprende una piastra degli ugelli 2, 102 avente una pluralità di ugelli 4, 104 del tipo descritto secondo la presente invenzione, e realizzati secondo i dettami della presente invenzione.

La stampante a getto d'inchiostro 300 comprende inoltre un'elettronica di comando 310, comprendente una scheda di comando e/o un microprocessore e/o una memoria per comandare e gestire le operazioni di stampa.

L'elettronica di comando 310 può comprendere inoltre un oscillatore di frequenza operativamente accoppiato all'attuatore 204, per controllare la frequenza di oscillazione dell'attuatore 204, nel caso in cui quest'ultimo sia di tipo piezoelettrico.

Da un esame delle caratteristiche del trovato realizzato secondo la presente invenzione sono evidenti i vantaggi che esso consente di ottenere.

In particolare, il trovato secondo la presente invenzione è completamente realizzato tramite un processo di fabbricazione compatibile con tecnologie di fabbricazione di tipo MEMS, a partire da una fetta di materiale semiconduttore di tipo standard. Inoltre il processo di fabbricazione descritto richiede un numero limitato di fasi di lavorazione rendendo possibile la produzione industriale di esemplari a basso costo e resa elevata.

Inoltre, l'elemento di restringimento 20', 120', formati come precedentemente descritto, sono auto-allineati all'apertura 18, 118 cosicché una ulteriore fase di allineamento dell'elemento di restringimento 20', 120' con il foro che definisce l'ugello non è richiesta.

Risulta infine chiaro che a quanto qui descritto ed illustrato possono essere apportate modifiche e varianti senza per questo uscire dall'ambito protettivo della

presente invenzione, come definito nelle rivendicazioni allegate.

Risulta evidente che le fasi del metodo descritto con riferimento alle figure 2-12 sono applicabili alla formazione di una pluralità di ugelli 4 alloggiati in rispettivi recessi 2' di una stessa piastra degli ugelli 2.

Secondo una ulteriore forma di realizzazione, un recesso 2' può alloggiare una pluralità di ugelli 4.

Analogamente, le fasi del metodo descritto con riferimento alle figure 2-12 sono applicabili alla formazione di una pluralità di ugelli 4 alloggiati in rispettivi recessi 2' di una stessa piastra degli ugelli 2.

## RIVENDICAZIONI

1. Procedimento di fabbricazione di una piastra degli ugelli ("nozzle plate") (2) per un dispositivo di eiezione di un liquido (200), comprendente le fasi di:

- disporre un primo substrato (11; 111) di materiale semiconduttore, avente una prima (11a; 111a) e una seconda (11b; 111b) faccia;

- formare uno strato strutturale (16; 116) sulla ("above") prima faccia (11a; 111a) del primo substrato, lo strato strutturale avendo una prima e una seconda faccia, la seconda faccia dello strato strutturale essendo affacciata alla prima faccia del primo substrato;

- rimuovere una porzione selettiva dello strato strutturale (16; 116) così da formare un primo foro passante (18; 118) avente una parete interna (18'), detto primo foro passante avendo una sezione di ingresso ("inlet section") in corrispondenza della prima faccia dello strato strutturale e una sezione di uscita ("outlet section") in corrispondenza della seconda faccia dello strato strutturale;

- formare un elemento di restringimento ("narrowing element") (20; 20'; 120') adiacente alla parete del primo foro passante,

- rastremare l'elemento di restringimento in modo tale per cui la sezione di ingresso del primo foro passante

presenta un'area maggiore di una rispettiva area della sezione di uscita del primo foro passante; e

- rimuovere il primo substrato così da rendere accessibile il primo foro passante.

2. Procedimento secondo la rivendicazione 1, in cui la fase di formare l'elemento di restringimento (20; 20'; 120') comprende depositare, nel primo foro passante (18; 118), uno strato di restringimento (20) di un materiale attaccabile selettivamente rispetto al materiale dello strato strutturale (16; 116),

e in cui la fase di rastremare l'elemento di restringimento (20'; 120') comprende eseguire una fase di attacco anisotropo dello strato di restringimento (20) lungo una direzione preferenziale di attacco sostanzialmente parallela alla parete (18') del primo foro passante (18; 118).

3. Procedimento secondo la rivendicazione 1 o 2, comprendente inoltre la fase di formare uno strato protettivo (9; 109) internamente al primo foro passante e in modo tale da coprire l'elemento di restringimento (20'; 120').

4. Procedimento secondo la rivendicazione 3, in cui la fase di formare lo strato protettivo (9; 109) comprende depositare, sull'elemento di restringimento (20'; 120'), un materiale scelto tra carburo di silicio, allumina, ossido

di afnio, titanio ,tantalio, tungsteno, e leghe di essi.

5. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente inoltre la fase di formare uno strato intermedio (12; 112) sulla ("above") prima faccia (11a; 111a) del primo substrato,

la fase di formare lo strato strutturale (16; 116) comprendendo formare detto strato strutturale sullo ("on") strato intermedio (12; 112),

il procedimento comprendendo inoltre:

- attaccare ("etching") lo strato intermedio in corrispondenza della sezione di ingresso di detto primo foro passante (18; 118); e

- proseguire l'attacco dello strato intermedio (12; 112) in modo da rimuovere una porzione dello strato intermedio estendentesi tra l'elemento di restringimento (20'; 120') e il primo substrato (11; 111), e tra una porzione dello strato strutturale (16; 116) adiacente all'elemento di restringimento (20'; 120') e il primo substrato (11; 111).

6. Procedimento secondo la rivendicazione 5 quando dipendente dalla rivendicazione 3, in cui la fase di formare lo strato protettivo (9; 109) comprende formare lo strato protettivo in corrispondenza di porzioni dell'elemento di restringimento (20'; 120') e dello strato strutturale (16; 116) affacciate al primo substrato (11;

111).

7. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1-4, comprendente inoltre le fasi di:

- formare uno strato intermedio (12; 112) sulla ("above") prima faccia (11a; 111a) del primo substrato (11; 111); e

- formare un'isola sacrificale (14') sullo ("on") strato intermedio,

la fase di formare lo strato strutturale (16; 116) comprendendo formare detto strato strutturale sullo ("above") strato intermedio e sull'isola sacrificale,

e la fase di formare il primo foro passante (18; 118) comprendendo formare detto primo foro passante al di sopra dell'isola sacrificale, e in modo tale che il primo foro passante è completamente contenuto dall'isola sacrificale,

il procedimento comprendendo inoltre la fase di attaccare selettivamente l'isola sacrificale (14') e una porzione dello strato intermedio (12; 112) estendentesi al di sotto dell'isola sacrificale (14') così da formare una cavità (24) estendentesi parzialmente tra il primo substrato (11; 111) e lo strato strutturale (16; 116), e tra il primo substrato (11; 111) e l'elemento di restringimento (20'; 120').

8. Procedimento secondo la rivendicazione 7 quando dipendente dalla rivendicazione 3, in cui la fase di

formare lo strato protettivo (9; 109) comprende formare lo strato protettivo in corrispondenza di porzioni superficiali dell'elemento di restringimento (20'; 120') e dello strato strutturale (16; 116) affacciate a detta cavità (24).

9. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente inoltre le fasi di:

- disporre un secondo substrato (30) di materiale semiconduttore;

- attaccare detto secondo substrato (30) in modo da formare un secondo foro passante (31) attraverso detto secondo substrato (30);

- accoppiare il secondo substrato (30) allo strato strutturale (16; 116) in modo tale che il secondo foro passante (31) sia allineato al primo foro passante (18; 118) lungo una stessa direzione (Z) ortogonale a rispettivi piani di giacenza del secondo substrato (30) e dello strato strutturale (16; 116).

10. Piastra degli ugelli ("nozzle plate") (2) per un dispositivo di eiezione di un liquido (200), comprendente:

- uno strato strutturale (16; 116) avente una prima e una seconda faccia;

- almeno un primo foro passante (18; 118), avente una parete interna (18'), estendentesi attraverso lo strato strutturale, detto primo foro passante avendo una sezione

di ingresso ("inlet section") in corrispondenza della prima faccia dello strato strutturale e una sezione di uscita ("outlet section") in corrispondenza della seconda faccia dello strato strutturale;

- un elemento di restringimento ("narrowing element") (20'; 120') adiacente alla parete del primo foro passante, e includente una porzione rastremata tale per cui la sezione di ingresso del primo foro passante presenta un'area maggiore di una rispettiva area della sezione di uscita del primo foro passante,

detto foro passante e detto elemento di restringimento formando un ugello di eiezione ("ejection nozzle") (4; 104) di detta piastra degli ugelli (2).

11. Piastra degli ugelli secondo la rivendicazione 10, comprendente inoltre un recesso (2') formato nello strato strutturale (16; 116), il primo foro passante (18; 118) essendo formato nel recesso (2').

12. Piastra degli ugelli secondo la rivendicazione 11, in cui il recesso (2') si estende nello strato strutturale per una profondità da circa 0.1  $\mu\text{m}$  a circa 10  $\mu\text{m}$ , formando una parete (3) attorno all'ugello di eiezione.

13. Piastra degli ugelli secondo la rivendicazione 10, comprendente inoltre uno strato di copertura (112) estendentesi sulla seconda faccia dello strato strutturale (116) e circondante l'ugello di eiezione (104), così da

formare un recesso (112'), delimitato da una parete dello strato di copertura (112), attorno all'ugello di eiezione.

14. Piastra degli ugelli secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 11-13, in cui detta parete si estende ad una distanza minima ( $D_R$ ) dal recesso compresa tra circa  $3\mu\text{m}$  e circa  $30\mu\text{m}$ , detta distanza essendo misurata a partire da un bordo dell'ugello di eiezione (4).

15. Piastra degli ugelli secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 10-14, comprendente inoltre uno strato protettivo (9; 109) che copre l'elemento di restringimento (20'; 120'), detto strato protettivo essendo di un materiale non danneggiabile da detto liquido.

16. Piastra degli ugelli secondo la rivendicazione 15 quando dipendente da una qualsiasi delle rivendicazioni 11-14, in cui lo strato protettivo (9; 109) si estende nel recesso (2'; 112') in modo tale da coprire lo strato strutturale (2).

17. Piastra degli ugelli secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 10-16, in cui l'elemento di restringimento (20'; 120') comprende inoltre una porzione sostanzialmente cilindrica estendentesi in prolungamento di detta porzione rastremata tra la porzione rastremata e la sezione di uscita del primo foro passante.

18. Piastra degli ugelli secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 10-17, comprendente inoltre un substrato (30) di materiale semiconduttore provvisto di un secondo

foro passante (31),

il substrato (30) essendo accoppiato allo strato strutturale (16; 116) in modo tale che il secondo foro passante (31) è allineato al primo foro passante (18, 118) lungo una stessa direzione (Z) ortogonale a rispettivi piani di giacenza del substrato (30) e dello strato strutturale (26; 116).

19. Dispositivo di eiezione di liquido (200), comprendente:

- un serbatoio (6) avente una camera interna (202) configurata in modo da contenere una sostanza liquida (205); e

un attuatore (204) connesso al serbatoio (6) e configurato in modo da causare l'espulsione della sostanza liquida dal serbatoio,

caratterizzato dal fatto di comprendere inoltre una piastra degli ugelli (2) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 10-18, fluidicamente accoppiata al serbatoio (6) per consentire l'espulsione della sostanza liquida attraverso l'ugello (4).

20. Macchina di stampa (300) comprendente il dispositivo di eiezione di liquido (200) secondo la rivendicazione 19.

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

**Elena CERBARO**

CLAIMS

1. A method for manufacturing a nozzle plate (2) for a liquid ejection device (200), comprising the steps of:

- 5 - providing a first substrate (11; 111) of semiconductor material, having a first side (11a; 111a) and a second side (11b; 111b);
- forming a structural layer (16; 116) above the first side (11a; 111a) of the first substrate, the structural layer
- 10 having a first side and a second side, the second side of the structural layer facing the first side of the first substrate;
- removing a selective portion of the structural layer (16; 116) so as to form a first through hole (18; 118) having an internal wall (18'; 118'), said first through hole having an
- 15 inlet section at the first side of the structural layer and an outlet section at the second side of the structural layer;
- forming a narrowing element (20; 20'; 120') adjacent to the wall of the first through hole;
- tapering the narrowing element so that the inlet section of
- 20 the first through hole has an area larger than a respective area of the outlet section of the first through hole; and
- removing the first substrate so as to render the first through hole accessible.

- 25 2. The method according to claim 1, wherein the step of forming the narrowing element (20; 20'; 120') comprises depositing, in the first through hole (18; 118), a narrowing layer (20) of a material that can be etched selectively with respect to the material of the structural layer (16; 116), and
- 30 wherein the step of tapering the narrowing element (20'; 120') comprises executing a step of anisotropic etching of the narrowing layer (20) in a preferential etching direction substantially parallel to the wall (18') of the first through hole (18; 118).

35

3. The method according to claim 1 or claim 2, further comprising the step of forming a protective layer (9; 109) inside the first through hole and in such a way as to cover the narrowing element (20'; 120').

5

4. The method according to claim 3, wherein the step of forming the protective layer (9; 109) comprises depositing, on the narrowing element (20'; 120'), a material chosen from among silicon carbide, alumina, hafnium oxide, titanium, tantalum, tungsten, and alloys thereof.

10

5. The method according to any one of the preceding claims, further comprising the step of forming an intermediate layer (12; 112) above the first side (11a; 111a) of the first substrate, the step of forming the structural layer (16; 116) comprising forming said structural layer on the intermediate layer (12; 112), the method further comprising:

15

- etching the intermediate layer in a region corresponding to the inlet section of said first through hole (18; 118); and

20

- proceeding with etching of the intermediate layer (12; 112) so as to remove a portion of the intermediate layer extending between the narrowing element (20'; 120') and the first substrate (11; 111), and between a portion of the structural layer (16; 116) adjacent to the narrowing element (20'; 120')

25

and the first substrate (11; 111).

6. The method according to claim 5 when it depends upon claim 3, wherein the step of forming the protective layer (9; 109) comprises forming the protective layer on portions of the narrowing element (20'; 120') and of the structural layer (16; 116) facing the first substrate (11; 111).

30

7. The method according to any one of claims 1-4, further comprising the steps of:

35

- forming an intermediate layer (12; 112) above the first side

(11a; 111a) of the first substrate (11; 111); and  
- forming a sacrificial island (14') on the intermediate layer, the step of forming the structural layer (16; 116) comprising forming said structural layer above the  
5 intermediate layer and on the sacrificial island, and the step of forming the first through hole (18; 118) comprising forming said first through hole above the sacrificial island, and in such a way that the first through hole is completely contained by the sacrificial island, the method further comprising the  
10 step of selectively etching the sacrificial island (14') and a portion of the intermediate layer (12; 112) extending underneath the sacrificial island (14') so as to form a cavity (24) extending partially between the first substrate (11; 111) and the structural layer (16; 116), and between the first  
15 substrate (11; 111) and the narrowing element (20'; 120').

8. The method according to claim 7 when it depends upon claim 3, wherein the step of forming the protective layer (9; 109) comprises forming the protective layer in surface portions of  
20 the narrowing element (20'; 120') and of the structural layer (16; 116) facing said cavity (24).

9. The method according to any one of the preceding claims, further comprising the steps of:  
25 - providing a second substrate (30) made of semiconductor material;  
- etching said second substrate (30) so as to form a second through hole (31) through said second substrate (30); and  
- coupling the second substrate (30) to the structural layer  
30 (16; 116) in such a way that the second through hole (31) is aligned to the first through hole (18; 118) in one and the same direction (Z) orthogonal to respective planes of lie of the second substrate (30) and of the structural layer (16; 116).

35

10. A nozzle plate (2) for a liquid ejection device (200), comprising:

- a structural layer (16; 116) having a first side and a second side;

5 - at least one first through hole (18; 118), having an internal wall (18') extending through the structural layer, said first through hole having an inlet section at the first side of the structural layer and an outlet section at the second side of the structural layer;

10 - a narrowing element (20'; 120') adjacent to the wall of the first through hole, and including a tapered portion such that the inlet section of the first through hole has an area larger than a respective area of the outlet section of the first through hole, said through hole and said narrowing element  
15 forming an ejection nozzle (4; 104) of said nozzle plate (2).

11. The nozzle plate according to claim 10, further comprising a recess (2') formed in the structural layer (16; 116), the first through hole (18; 118) being formed in the recess (2').

20

12. The nozzle plate according to claim 11, wherein the recess (2') extends in the structural layer for a depth from approximately 0.1  $\mu\text{m}$  to approximately 10  $\mu\text{m}$ , forming a wall (3) around the ejection nozzle.

25

13. The nozzle plate according to claim 10, further comprising a covering layer (112) extending on the second side of the structural layer (116) and surrounding the ejection nozzle (104) so as to form a recess (112'), delimited by a wall of  
30 the covering layer (112), around the ejection nozzle.

14. The nozzle plate according to any one of claims 11-13, wherein said wall extends at a minimum distance ( $D_R$ ) from the recess comprised between approximately 3  $\mu\text{m}$  and approximately  
35 30  $\mu\text{m}$ , said distance being measured starting from an edge of

the ejection nozzle (4).

15. The nozzle plate according to any one of claims 10-14,  
further comprising a protective layer (9; 109) that covers the  
5 narrowing element (20'; 120'), said protective layer being of  
a material that cannot be damaged by said liquid.

16. The nozzle plate according to claim 15 when it depends  
upon any one of claims 11- 14, wherein the protective layer  
10 (9; 109) extends in the recess (2'; 112') in such a way as to  
cover the structural layer (2).

17. The nozzle plate according to any one of claims 10-16,  
wherein the narrowing element (20'; 120') further comprises a  
15 substantially cylindrical portion extending as a prolongation  
of said tapered portion between the tapered portion and the  
outlet section of the first through hole.

18. The nozzle plate according to any one of claims 10-17,  
20 further comprising a substrate (30) made of semiconductor  
material provided with a second through hole (31), the  
substrate (30) being coupled to the structural layer (16; 116)  
in such a way that the second through hole (31) is aligned to  
the first through hole (18, 118) in one and the same direction  
25 (Z) orthogonal to respective planes of lie of the substrate  
(30) and of the structural layer (26; 116).

19. A liquid ejection device (200), comprising:

- a reservoir (6) having an internal chamber (202) configured  
30 so as to contain a liquid substance (205); and  
- an actuator (204) connected to the reservoir (6) and  
configured so as to cause expulsion of the liquid substance  
from the reservoir,

said device being characterized in that it further comprises a  
35 nozzle plate (2) according to any one of claims 10-18,

fluidically coupled to the reservoir (6) to enable expulsion of the liquid substance through the nozzle (4).

20. A printing machine (300) comprising the liquid ejection  
5 device (200) according to claim 19.

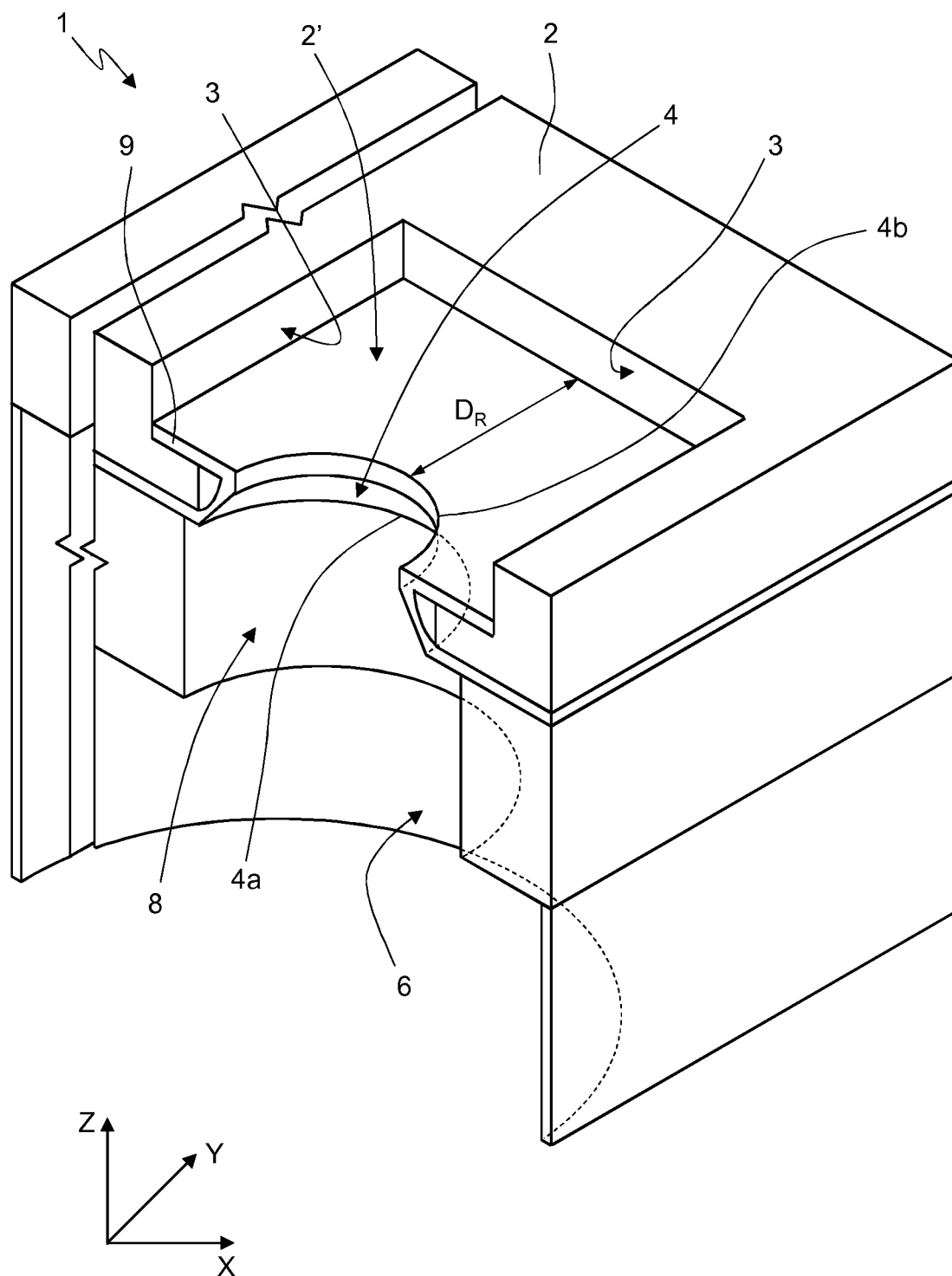


Fig.1

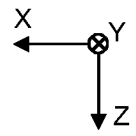
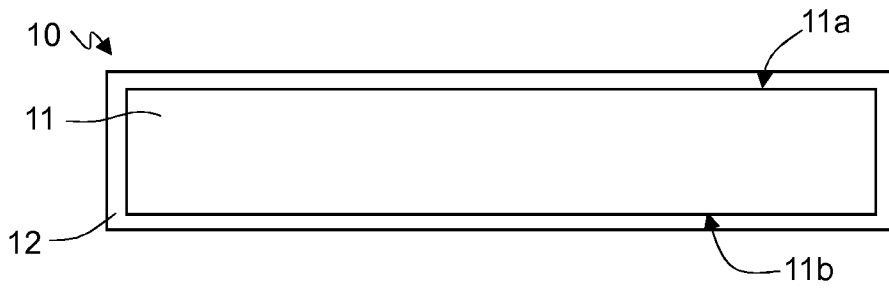


Fig.2

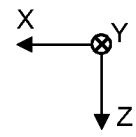
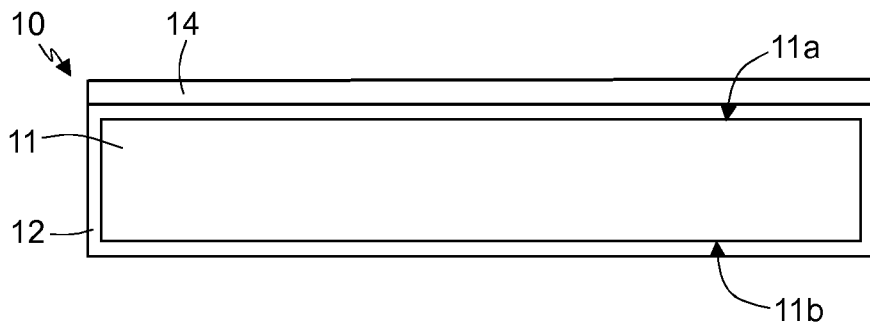


Fig.3

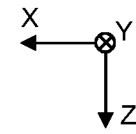
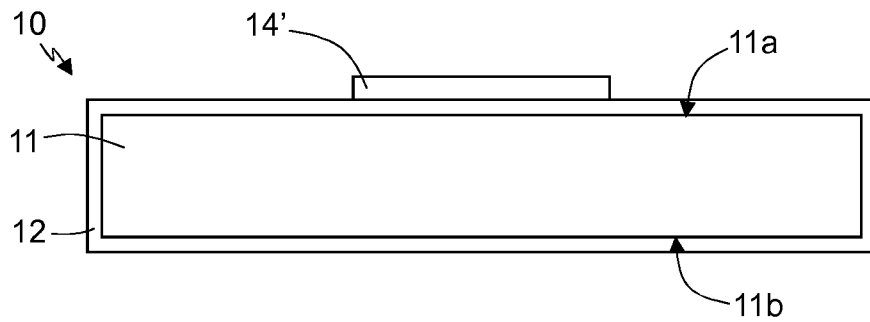


Fig.4

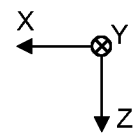
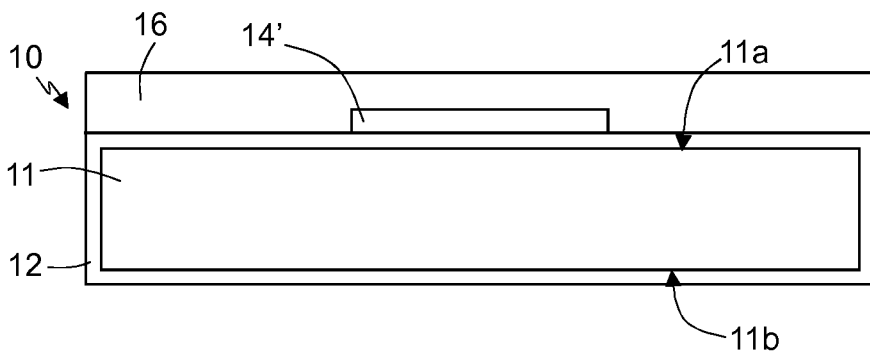


Fig.5

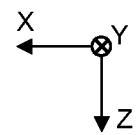
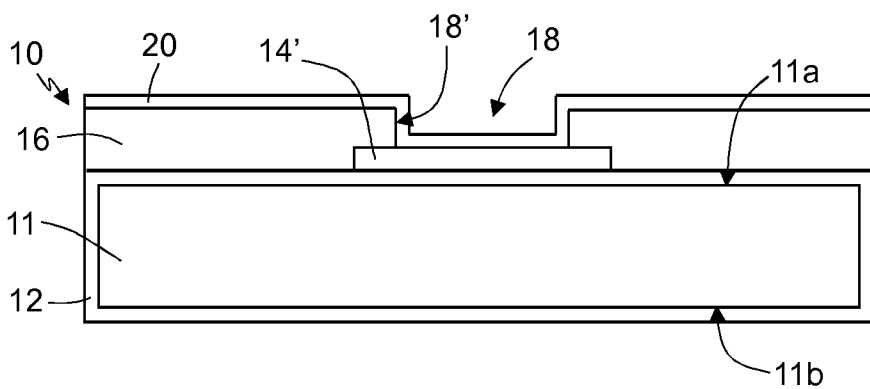


Fig.6a

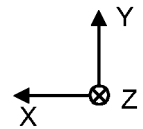
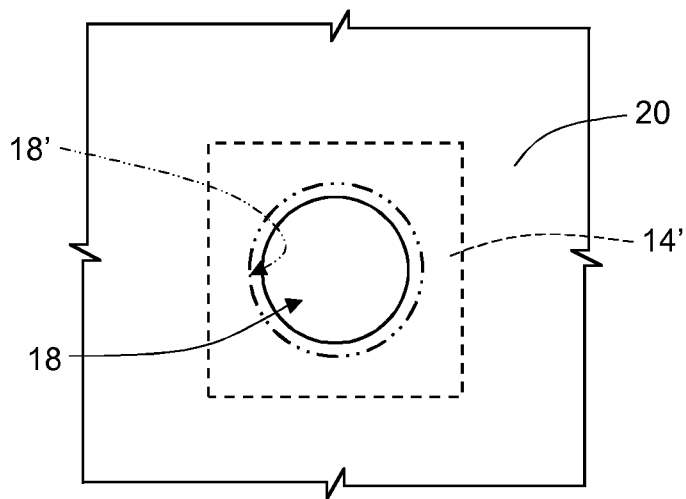


Fig.6b

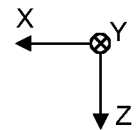
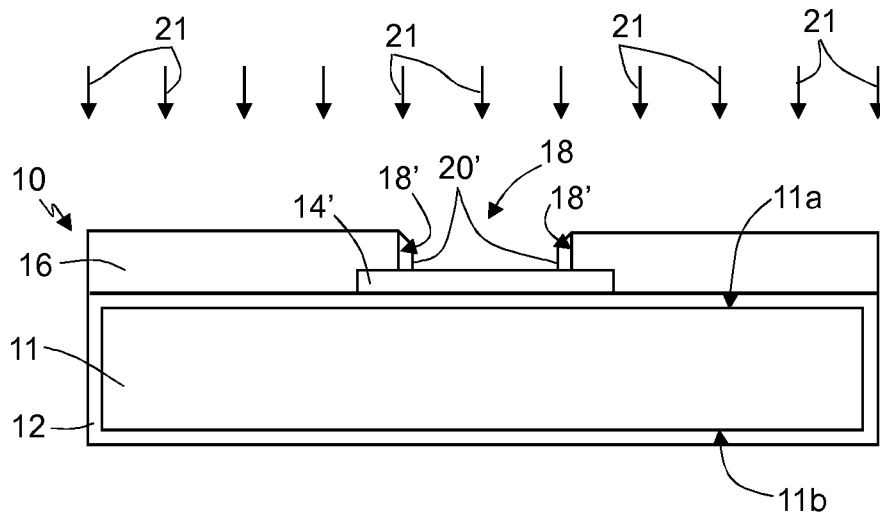


Fig.7

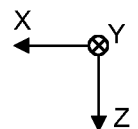
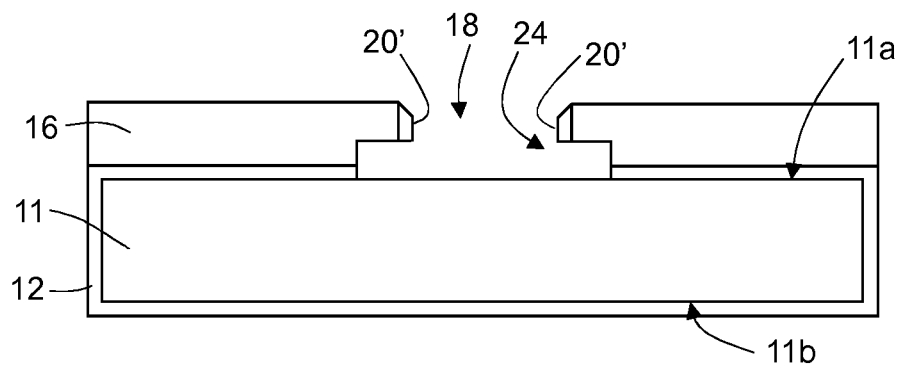


Fig.8

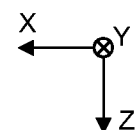
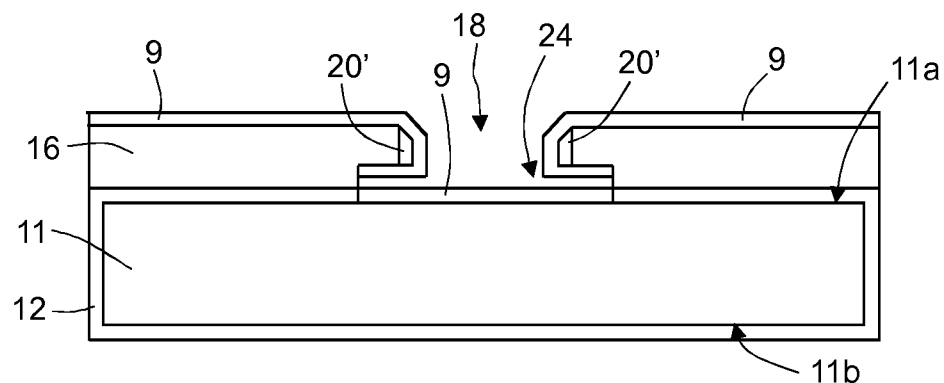


Fig.9

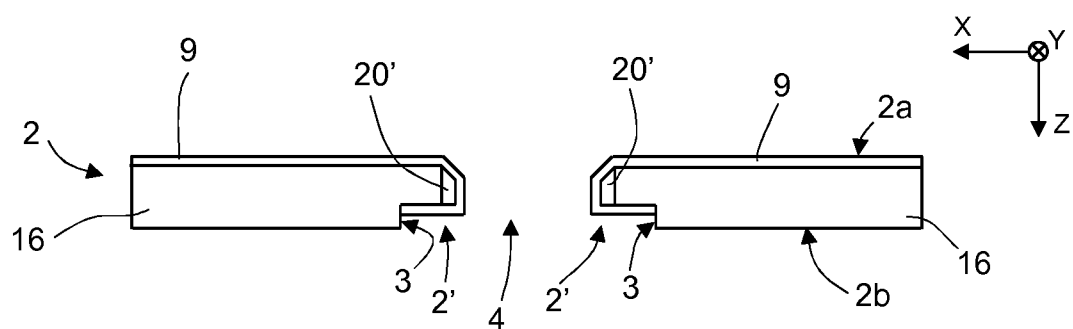


Fig.10

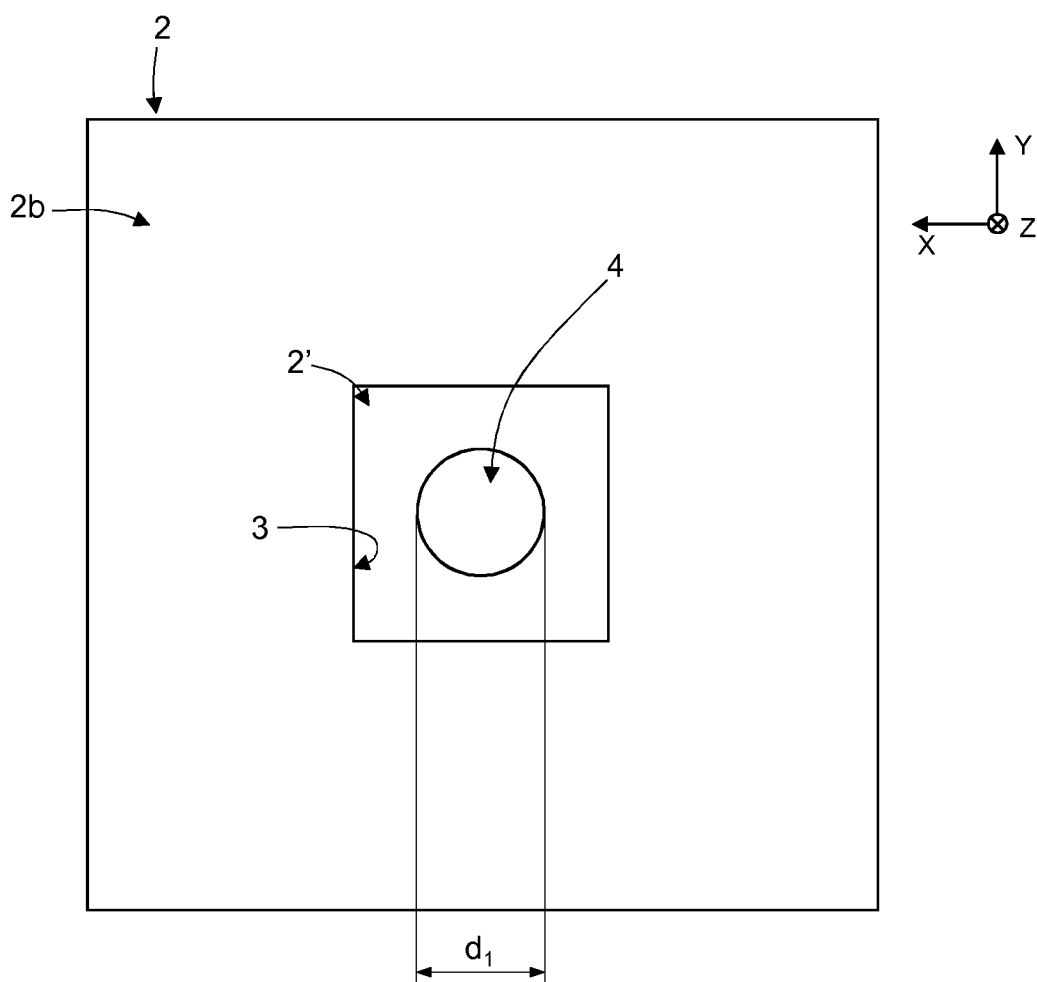


Fig.11a

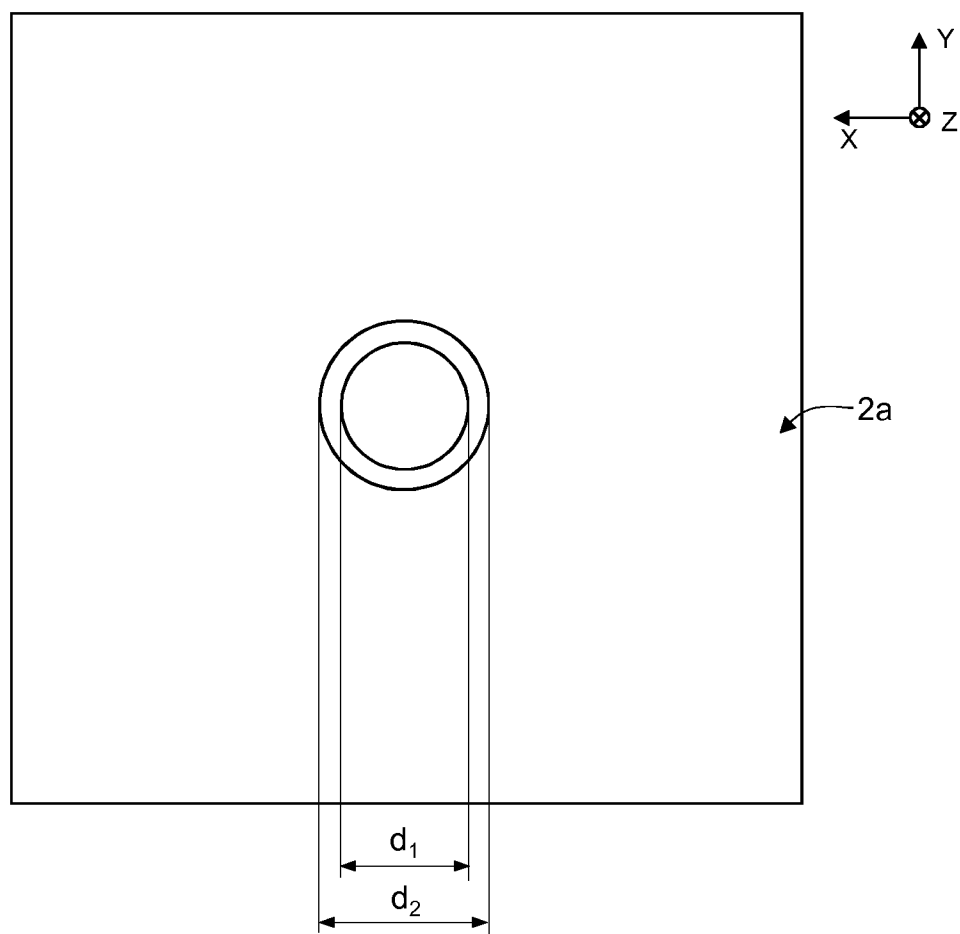


Fig.11b

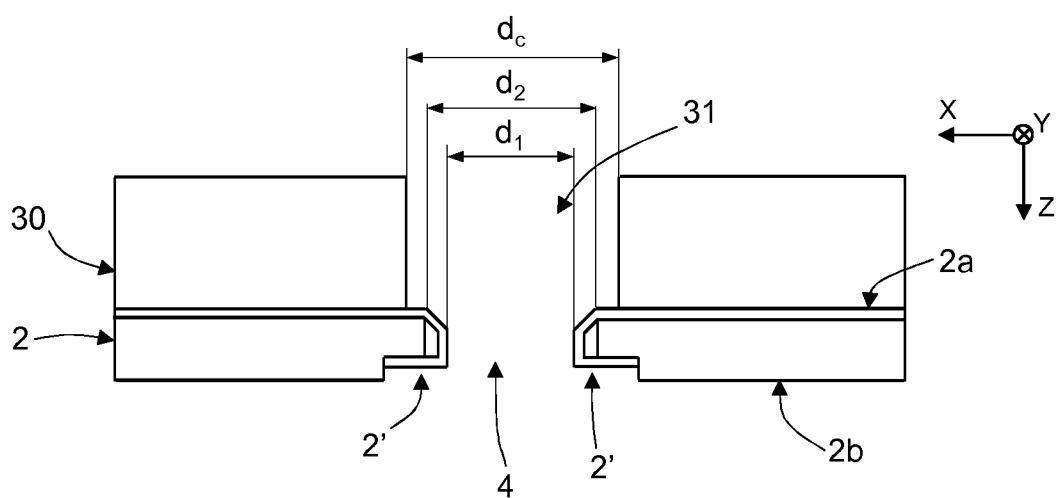


Fig.12

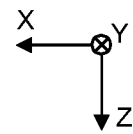
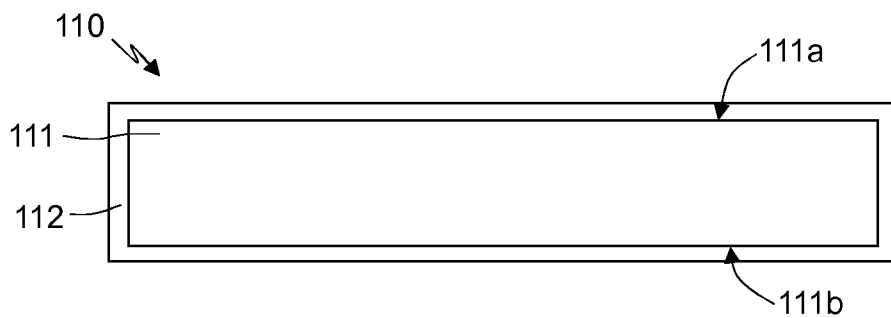


Fig.13

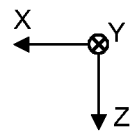
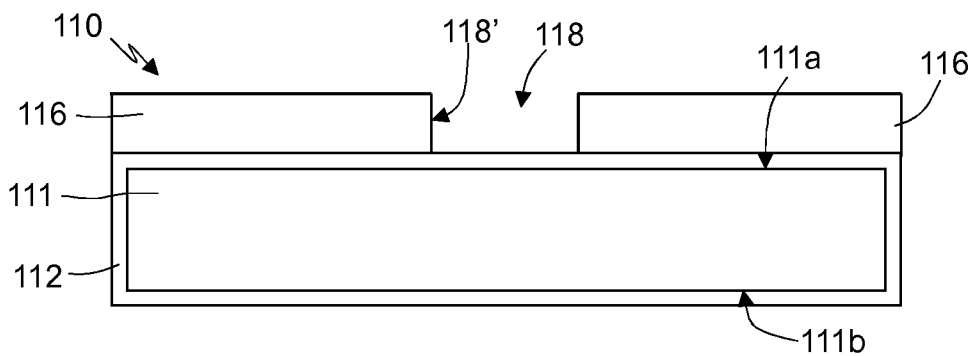


Fig.14

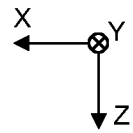
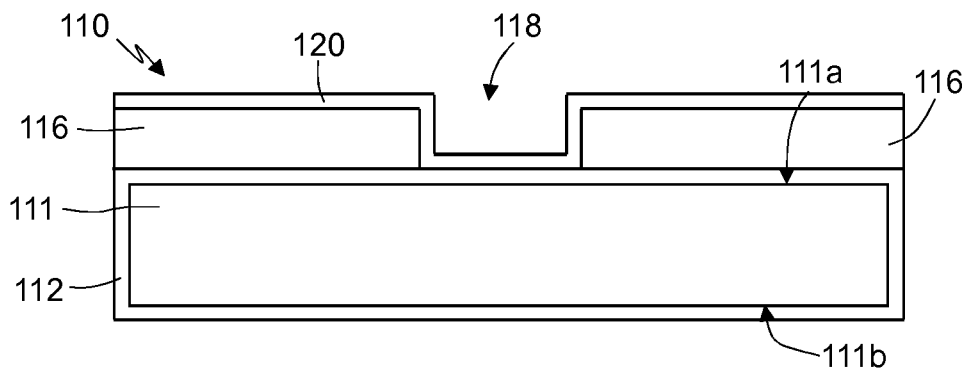


Fig.15

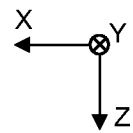
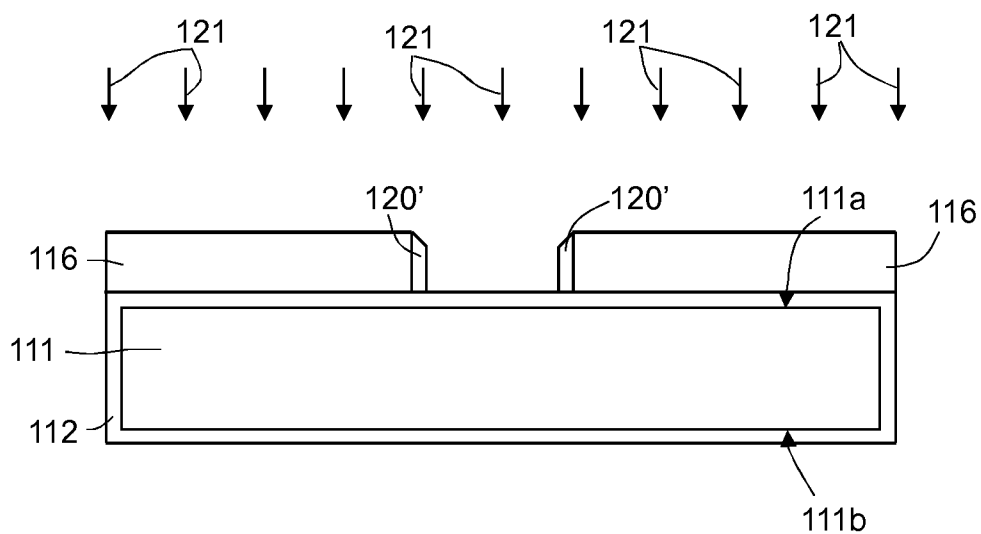


Fig.16

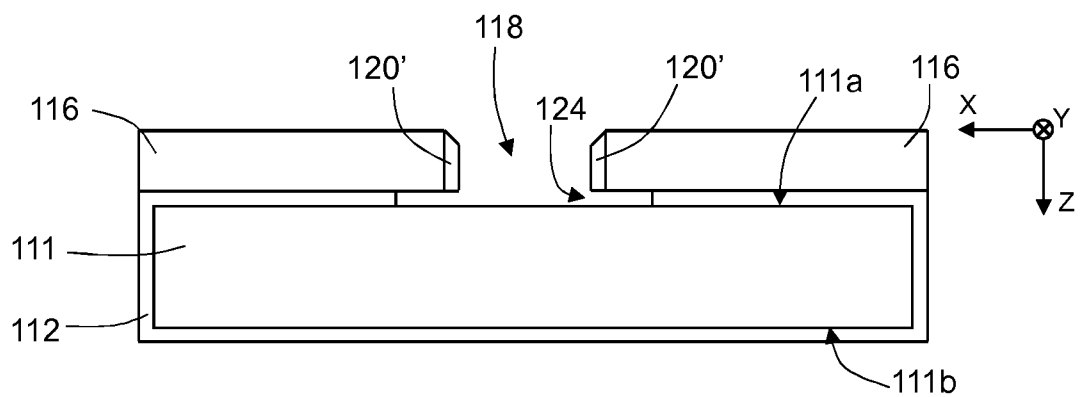


Fig.17

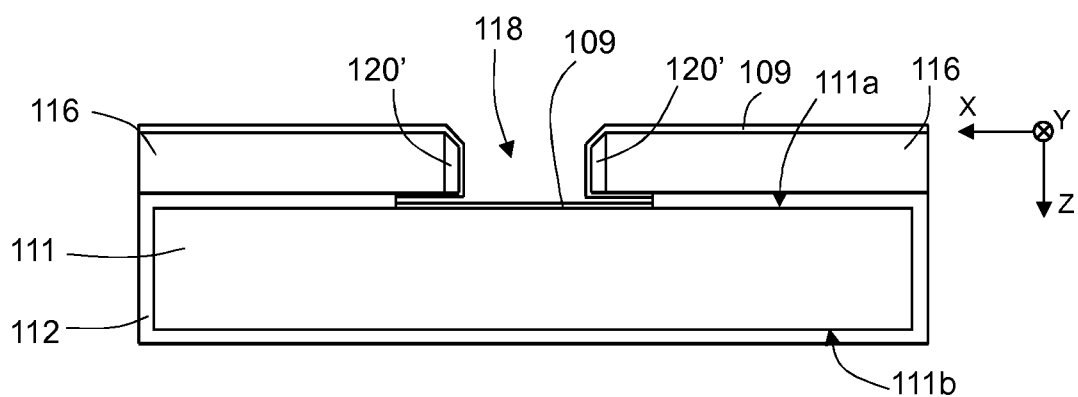


Fig.18

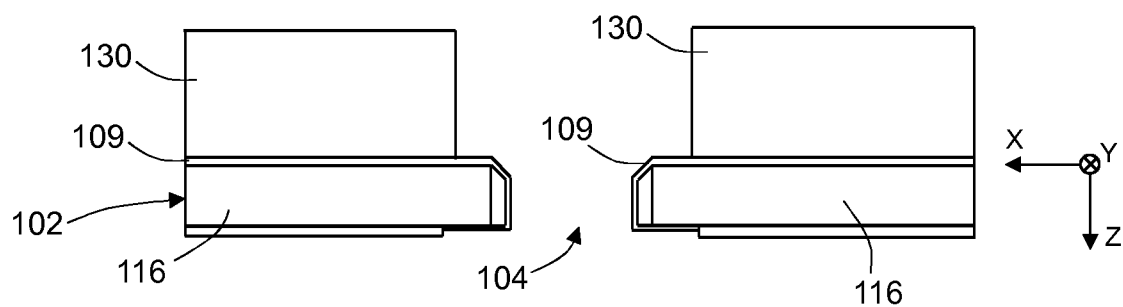


Fig.19

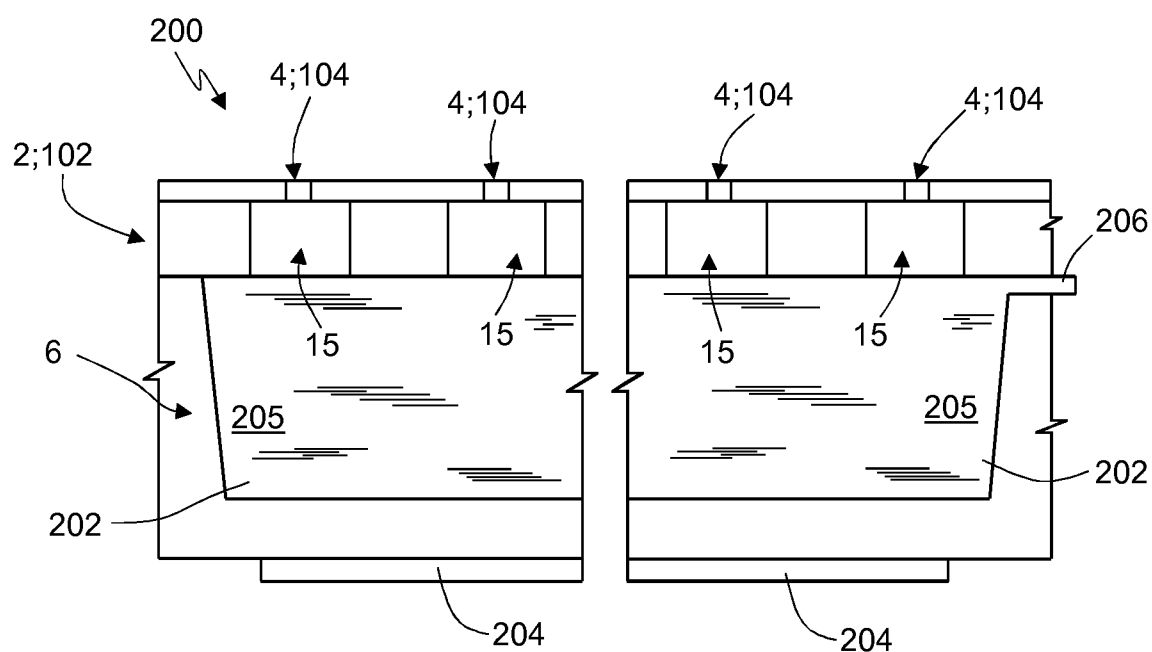


Fig.20

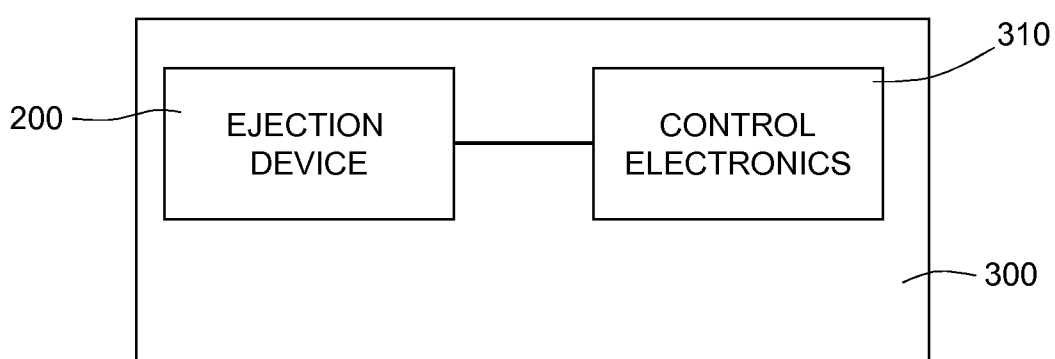


Fig.21