



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

DOMANDA DI INVENZIONE NUMERO	102008901690338
Data Deposito	23/12/2008
Data Pubblicazione	23/06/2010

Classifiche IPC

Titolo

PROCESSO DI FABBRICAZIONE DI UNA MEMBRANA DI UGELLI INTEGRATA IN
TECNOLOGIA MEMS PER UN DISPOSITIVO DI NEBULIZZAZIONE E DISPOSITIVO DI
NEBULIZZAZIONE CHE UTILIZZA TALE MEMBRANA

DESCRIZIONE

del brevetto per invenzione industriale dal titolo:

"PROCESSO DI FABBRICAZIONE DI UNA MEMBRANA DI UGELLI INTEGRATA IN TECNOLOGIA MEMS PER UN DISPOSITIVO DI NEBULIZZAZIONE E DISPOSITIVO DI NEBULIZZAZIONE CHE UTILIZZA TALE MEMBRANA"

di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana

con sede: VIA C. OLIVETTI, 2

AGRATE BRIANZA (MI)

Inventori: MERASSI Angelo Antonio, PESCI Angelo, VIGNA Benedetto, GALEAZZI Ernestino, MANTOVANI Marco

La presente invenzione è relativa ad un processo di fabbricazione di una membrana di ugelli integrata in tecnologia MEMS per un dispositivo di nebulizzazione e al dispositivo di nebulizzazione che utilizza tale membrana, in particolare un dispositivo di nebulizzazione o aerosol di un inalatore utilizzato per la somministrazione di farmaci, parafarmaci o profumi.

Ad esempio nelle applicazioni in campo medico, inalatori di tipo noto sono generalmente utilizzati per somministrare medicinali in dosi controllate o per un'ampia varietà di terapie basate su aerosol.

Un inalatore fornisce il medicinale, che è in forma

liquida, come una dispersione di gocce atomizzate. Preferibilmente, un inalatore è di dimensioni contenute e generalmente operato a batteria, così che il paziente sia in grado di portarlo con sé ed utilizzarlo in modo discreto.

Inalatori di tipo noto, ad esempio del tipo descritto in US 6,196,219, comprendono generalmente una membrana provvista di ugelli (o pori) e disposta affacciata ad un serbatoio contenente il liquido da nebulizzare. 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.

Come noto, l'efficacia di un trattamento medico dipende dall'attività del principio attivo, e tale efficacia dipende a sua volta dalla quantità di ciascuna dose di medicinale nebulizzata e dal punto di impatto della nebulizzazione. Pertanto, la quantità di liquido nebulizzato e la direzionalità di ciascuna nebulizzazione dovrebbero essere quanto più costanti per nebulizzazioni diverse, in modo da massimizzare l'efficacia della terapia medica.

Risulta chiaro che il tipo di membrana di ugelli e 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.

Sono state proposte varie membrane di ugelli per inalatori, tuttavia alcune di queste richiedono un processo di fabbricazione particolarmente complesso, altre non consentono un'elevata riproducibilità degli ugelli.

Scopo della presente invenzione è fornire un processo di fabbricazione di una membrana di ugelli integrata in tecnologia MEMS per un dispositivo di nebulizzazione ed il dispositivo di nebulizzazione che utilizza tale membrana privi degli inconvenienti dell'arte nota.

Secondo la presente invenzione vengono realizzati un processo di fabbricazione di una membrana di ugelli integrata in tecnologia MEMS per un dispositivo di nebulizzazione ed il dispositivo di nebulizzazione che utilizza tale membrana come definito nelle rivendicazioni 1 e 7.

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:

- le figure 1-4 mostrano una vista in sezione di una membrana di ugelli secondo una forma di realizzazione della presente invenzione;

- le figure 5-8 mostrano una vista in sezione di una membrana di ugelli secondo un'altra forma di realizzazione della presente invenzione;

- le figure 9-12 mostrano una vista in sezione di una membrana di ugelli secondo un'ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione;

- le figure 13-16 mostrano una vista in sezione di una membrana di ugelli secondo un'altra forma di realizzazione della presente invenzione;

- la figura 17 mostra un dispositivo di nebulizzazione che incorpora una membrana di ugelli secondo una qualsiasi delle forme di realizzazione della presente invenzione; e

- la figura 18 mostra un inalatore che incorpora il dispositivo di nebulizzazione di figura 17.

Come mostrato in figura 1, secondo una forma di realizzazione della presente invenzione, viene disposta una fetta 10 ("wafer"), comprendente un substrato 11, ad esempio di silicio di tipo N avente uno spessore compreso tra 400 μ m e, 725 μ m, preferibilmente pari a 400 μ m. Si depone quindi uno strato sacrificale 12, ad esempio di ossido di silicio, avente spessore compreso tra 0.6 μ m e 1.5 μ m, preferibilmente pari a 0.8 μ m.

In seguito, figura 2, si cresce sulla fetta 10 uno strato di membrana 13, preferibilmente di polisilicio

epitassiale non drogato. Lo strato di membrana 13 viene quindi planarizzato fino a raggiungere uno spessore finale compreso tra $1.5\mu\text{m}$ e $10\mu\text{m}$, preferibilmente pari a $5\mu\text{m}$, e definito, ad esempio mediante attacco secco, in modo da formare una pluralità di ugelli 14 (solo due ugelli 14 mostrati in figura). Ciascun ugello 14 ha preferibilmente, in vista dall'alto, forma circolare con diametro compreso tra $1\mu\text{m}$ e $5\mu\text{m}$, secondo il liquido che si intende utilizzare, e si estende in profondità per l'intero spessore dello strato di membrana 13.

Quindi, figura 3, una fase di molatura ("grinding") del retro del substrato 11 permette di ridurre lo spessore del substrato fino a circa $400\mu\text{m}$. Questa fase non è necessaria nel caso in cui il substrato 11 di partenza abbia già uno spessore pari a $400\mu\text{m}$ o inferiore.

In seguito, nel substrato 11 vengono formati, preferibilmente mediante un attacco secco, canali di alimentazione 15, ciascuno in corrispondenza di e sostanzialmente allineato verticalmente a un rispettivo ugello 14. I canali di alimentazione 15 possiedono preferibilmente, in vista dall'alto, forma circolare con diametro compreso tra $10\mu\text{m}$ e $100\mu\text{m}$, preferibilmente pari a $40\mu\text{m}$, e si estendono in profondità per l'intero spessore del substrato 11.

Infine, figura 4, lo strato sacrificale 12 viene

parzialmente rimosso, ad esempio mediante attacco umido con BOE ("Buffered Oxide Etching"), in modo da mettere in comunicazione diretta ciascun ugello 14 con il rispettivo canale di alimentazione 15 sottostante.

Si realizza così una membrana di ugelli 16 provvista di una pluralità di ugelli 14 (ad esempio 3200 ugelli distribuiti uniformemente su una membrana avente un'area di circa 25 mm²) che può essere utilizzata in un dispositivo di nebulizzazione.

Il processo descritto con riferimento alle figure 1-4 consente di formare ugelli 14 e canali di alimentazione 15 aventi rispettive dimensioni uniformi tra loro, garantendo quindi alta riproducibilità, facilità di processo e costi di fabbricazione estremamente contenuti.

La fase di rimozione dello strato sacrificale 12, in particolare se effettuata mediante attacco umido, può tuttavia essere considerata critica a causa di un possibile sovrattacco ("overetching") laterale delle porzioni di strato sacrificale 12, che potrebbe causare un indebolimento eccessivo di porzioni della membrana di ugelli 16 comprese tra ugelli contigui e conseguenti cedimenti della membrana di ugelli 16 stessa.

Per superare tale inconveniente, secondo un'ulteriore forma di realizzazione della presente invenzione, lo strato sacrificale 12, dopo essere stato deposto, viene definito

in modo da formare porzioni tra loro isolate di strato sacrificale 12 in corrispondenza delle zone in cui si prevede di formare gli ugelli 14. Più in dettaglio, come mostrato in figura 5, lo strato sacrificale 12, dopo essere stato deposto sul substrato 11, viene definito realizzando isole sacrificali 20 tra loro separate mediante trincee 21. Quindi, figura 6, analogamente a quanto descritto con riferimento alla figura 2, si cresce lo strato di membrana 13 e lo si definisce, realizzando un ugello 14 in corrispondenza di ciascuna isola sacrificale 20. In particolare, in questo caso, lo strato di membrana 13 viene formato anche all'interno delle trincee 21, realizzando ancoraggi di membrana 22 per ancorare direttamente lo strato di membrana 13 al substrato 11.

Dopo una fase opzionale di molatura del retro del substrato 11 per ridurne lo spessore fino a circa 400µm, il retro del substrato 11 viene attaccato per formare i canali di alimentazione 15.

Infine, figura 8, le isole sacrificali 20 vengono rimosse mediante un attacco umido, ad esempio con BOE, mettendo in contatto diretto ciascun ugello 14 con il rispettivo canale di alimentazione 15 realizzando una membrana di ugelli 25.

Secondo questa forma di realizzazione, un eventuale sovrattacco dell'ossido che forma le isole sacrificali 20

non compromette la stabilità meccanica della membrana 25, in quanto gli ancoraggi di membrana 22 non vengono danneggiati dalle fasi del processo descritte.

Per ridurre le dimensioni complessive del dispositivo di nebulizzazione in cui la membrana di ugelli viene utilizzata, può essere conveniente ridurre lo spessore del substrato 11 e la profondità dei canali di alimentazione 15 per essere accoppiati ad altri tipi di piezoelettrici. Le figure 9-12 mostrano le fasi del processo di realizzazione di una membrana di ugelli, secondo un'ulteriore forma di realizzazione.

Analogamente a quanto descritto precedentemente, con riferimento alle figure 1 e 2, viene disposta una fetta 10 avente un substrato 11 su cui viene depositato uno strato sacrificale 12 e viene cresciuto uno strato di membrana 13, nel quale si ricavano, ad esempio mediante attacco secco, ugelli 14.

Dopo la formazione degli ugelli 14, figura 9, la fetta 10 viene protetta mediante uno strato protettivo 30, di spessore compreso tra $0.5\mu\text{m}$ e $2\mu\text{m}$, preferibilmente pari a $1\mu\text{m}$ ad esempio ossido di silicio cresciuto termicamente. In particolare, lo strato protettivo 30 ricopre anche le pareti interne e il fondo degli ugelli 14.

Quindi, figura 10, lo strato protettivo 30 viene rimosso dal retro del substrato 11, in modo da creare una

finestra di forma quadrangolare al di sotto della pluralità di ugelli 14. Una successiva fase di attacco, ad esempio attacco umido utilizzando TMAH ("Tetramethylammonium hydroxide"), consente di rimuovere selettivamente il substrato 11 dove non protetto dallo strato di protezione 30 in modo da realizzare una camera 31, avente profondità compresa tra 100µm e 400µm. Ad esempio, nel caso in cui il substrato 11 possiede uno spessore pari a 400µm è preferibile realizzare una camera 31 con profondità pari a 300µm. Durante questa fase di attacco, lo strato protettivo 30 svolge la doppia funzione di maschera per la definizione della forma della camera 31 e di protezione per evitare un attacco indesiderato dello strato di membrana 13.

In seguito, figura 11, viene formato un canale di alimentazione 15 al di sotto di ciascun ugello 14, scavando il substrato 11 ad esempio mediante un attacco secco, fino ad esporre porzioni dello strato sacrificale 12. Ciascun canale di alimentazione 15 ha una profondità compresa tra 50µm e 300µm. Ad esempio, nel caso in cui il substrato 11 possiede uno spessore pari a 400µm e la camera 31 una profondità pari a 300µm, ciascun canale di alimentazione 15 avrà profondità pari a 100µm.

Infine, figura 12, lo strato di protezione 30 e le porzioni di strato sacrificale 12 esposte vengono rimossi, ad esempio mediante attacco umido con BOE, realizzando

contemporaneamente una membrana di ugelli 35 comprendente una porzione di un serbatoio (la camera 31).

In alcuni casi può essere preferibile realizzare membrane di ugelli provviste di elementi di guida di getti in uscita, durante l'uso, da ciascun ugello 14 in modo da incrementare la direzionalità del getto stesso eliminando porzioni di esso aventi un angolo di uscita dall'ugello 14 superiore ad un certo angolo di uscita massimo (supponendo che ciascun getto abbia una forma sostanzialmente conica). Membrane di ugelli di questo tipo risultano inoltre essere anche più rigide.

A tal fine, può essere prevista la formazione di un canale di guida, realizzato in forma integrata alla membrana di ugelli, disposto al di sopra di ciascun ugello 14, secondo un'ulteriore forma di realizzazione.

Tale ulteriore forma di realizzazione viene descritta nel seguito con riferimento alle figure 13-16.

In modo analogo a quanto descritto con riferimento alla forma di realizzazione delle figure 5 e 6, viene disposta una fetta 10, comprendente un substrato 11, su cui viene deposto e definito uno strato sacrificale 12 e cresciuto uno strato di membrana 13, ancorato al substrato 11 mediante ancoraggi di membrana 22. Vengono quindi formati gli ugelli 14 rimuovendo selettivamente porzioni dello strato di membrana 13.

In seguito, figura 13, viene deposto uno strato sagomatore 40, avente una funzione sacrificale, in modo da riempire gli ugelli 14 e formare uno strato al di sopra dello strato di membrana 13. Lo strato sagomatore 40 può essere, ad esempio, di ossido di silicio, avente spessore compreso tra $0.2\mu\text{m}$ e $1\mu\text{m}$, preferibilmente pari a $0.5\mu\text{m}$. Lo strato sagomatore 40 viene definito in modo da rimuovere porzioni dello strato sagomatore 40 lateralmente sfalsate rispetto a ciascun ugello 14, e mantenuto in porzioni sostanzialmente allineate verticalmente a ciascun ugello 14.

Quindi, figura 14, viene formato uno strato di canale di guida 41 al di sopra della fetta 10, ad esempio crescendo silicio epitassiale avente uno spessore compreso tra $2\mu\text{m}$ e $6\mu\text{m}$, preferibilmente pari a $5\mu\text{m}$.

In seguito, figura 15, lo strato di canale di guida 41 viene definito in modo da formare un canale di guida 42 al di sopra e sostanzialmente allineato verticalmente a ciascun ugello 14, avente forma preferibilmente circolare, diametro pari a $5\mu\text{m}$ e profondità pari allo spessore dello strato di canale di guida 41. In particolare, lo strato di canale di guida 41 viene selettivamente rimosso, ad esempio mediante attacco secco, fino ad esporre almeno parzialmente le porzioni del secondo strato sacrificale 40 disposte al di sopra degli ugelli 14.

Quindi, figura 16, il substrato 11 viene scavato dal retro per formare un canale di alimentazione 15 per ciascun ugello 14, in modo analogo a quanto descritto con riferimento alle altre forme di realizzazione illustrate. Una fase di attacco umido, ad esempio con BOE, permette di rimuovere le porzioni di strato sacrificale 12 e di strato sagomatore 40 esposte per mettere in comunicazione diretta ciascun canale di alimentazione 15 con il rispettivo ugello 14 e ciascun canale di guida 42 con il rispettivo ugello 14. In questo modo, il canale di alimentazione 15 ed il canale di guida 42 sono comunicanti tramite l'ugello 14. Viene così realizzata una membrana di ugelli 45.

Risulta chiaro che variando la dimensione e la profondità del canale di guida 42, l'angolo solido del getto in uscita dal canale di guida 42 varierà di conseguenza. È quindi possibile fabbricare membrane di ugelli dotate di canali di guida 42 aventi dimensioni differenti a seconda della direzionalità e ampiezza del getto desiderate, dipendenti dall'impiego che ne verrà fatto.

Inoltre, per semplicità, tale forma di realizzazione è stata descritta con riferimento preferito alla forma di realizzazione delle figure 5-8, in cui la membrana è ancorata al substrato mediante gli ancoraggi di membrana 22. Tuttavia, il processo descritto per la formazione dei

canali di guida 42 è applicabile, mediante ovvie modifiche, anche alle altre forme di realizzazione.

La figura 17 mostra un dispositivo di nebulizzazione 50 comprendente una membrana di ugelli 16, 25, 35, o 45, realizzata secondo una delle forme di realizzazione della presente invenzione.

Il dispositivo di nebulizzazione 50 comprende inoltre un serbatoio 51, disposto al di sotto della membrana di ugelli 16, 25, 35, o 45 e atto a contenere in un proprio alloggiamento 52 interno una sostanza liquida 55 (ad esempio un medicinale) che, in uso, deve essere fatta fuoriuscire dagli ugelli 14 attraverso i canali di alimentazione 15. L'attuazione del dispositivo di nebulizzazione 50 può essere effettuata in vari modi, ad esempio mediante un attuatore 53 di tipo piezoelettrico, solidale ad una faccia inferiore del serbatoio 51 opposta alla membrana di ugelli 16, 25, 35 o 45. Quando attivato mediante un'opportuna elettronica di comando (non mostrata), tale attuatore 53 induce una vibrazione che si trasmette attraverso il serbatoio 51 al liquido contenuto nell'alloggiamento 52, causandone la fuoriuscita attraverso gli ugelli 14.

Vantaggiosamente, può essere prevista una bocca di entrata 54 per ricaricare il serbatoio 51 con ulteriore sostanza liquida 55 quando questa, in seguito all'utilizzo

del dispositivo di nebulizzazione 50, si esaurisce.

Il dispositivo di nebulizzazione 50 può essere incorporato in un inalatore 100, per il rilascio controllato di medicinali o anestetici.

L'inalatore 100 può comprendere un'elettronica di comando 110, comprendente a sua volta una scheda di comando 101, per comandare il rilascio controllato di una precisa quantità di medicinale liquido da espellere. I mezzi di comando 101 possono comprendere un oscillatore di frequenza (non mostrato), per controllare la frequenza di oscillazione dell'attuatore 53, nel caso in cui quest'ultimo sia di tipo piezoelettrico.

Vantaggiosamente, l'elettronica di comando 110 è alimentata da una batteria 104, integrata nell'inalatore 100.

L'inalatore 100 può essere attivato mediante la pressione di un pulsante 105, che attiva l'elettronica di comando 110 per generare l'espulsione del medicinale liquido.

L'inalatore 100 può inoltre comprendere un modulo fluidico 107, costituito da una pluralità di canali e/o contenitori 108, collegati alla bocca di entrata 54 del dispositivo di nebulizzazione 50 e atti a contenere una certa quantità di medicinale per consentire una ricarica del dispositivo di nebulizzazione 50 quando, a seguito

dell'utilizzo, il medicinale si esaurisce. A loro volta, i canali e/o contenitori 108 possono essere ricaricati di medicinale dall'utilizzatore, quando necessario.

L'inalatore 100 può infine opzionalmente comprendere un misuratore di flusso (non mostrato), disposto internamente o esternamente al dispositivo di nebulizzazione 50, per valutare la quantità di liquido rilasciata e/o un sensore di pressione (non mostrato), per valutare il livello di liquido rimanente all'interno del serbatoio 51 del dispositivo di nebulizzazione 50.

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

In particolare il processo di fabbricazione descritto, secondo una qualsiasi delle forme di realizzazione, ha un costo ridotto, in quanto è richiesto un numero limitato di maschere di processo e la membrana di ugelli è fabbricata in modo monolitico a partire da una fetta di tipo standard, senza necessità di utilizzare processi di tipo SOI ("Silicon Over Insulator") o processi di saldatura fetta-fetta ("wafer to wafer bonding").

Risulta infine chiaro che al processo qui descritto ed illustrato possono essere apportate modifiche e varianti senza per questo uscire dall'ambito protettivo della presente invenzione, come definito nelle rivendicazioni

allegate.

Ad esempio, gli ugelli 14 possono essere formati in un momento diverso da quello descritto, ad esempio dopo la formazione dei canali di alimentazione 15.

RIVENDICAZIONI

1. Processo di fabbricazione di una membrana di ugelli di un dispositivo di nebulizzazione, comprendente le fasi di:

disporre un substrato (11);

formare uno strato di membrana (13) al di sopra del substrato (11);

formare una pluralità di ugelli (14) nello strato di membrana (13);

formare una pluralità di canali di alimentazione (15) nel substrato (10), ciascun canale di alimentazione essendo sostanzialmente allineato in direzione verticale ad un rispettivo ugello (14) di detta pluralità di ugelli e in comunicazione diretta con il rispettivo ugello.

2. Processo secondo la rivendicazione 1, comprendente inoltre le fasi di formare un primo strato sacrificale (12) tra il substrato (11) e lo strato di membrana (13), rimuovere selettivamente detto primo strato sacrificale e mettere in comunicazione diretta ciascun canale di alimentazione (15) con il rispettivo ugello (14).

3. Processo secondo la rivendicazione 2, in cui la fase di formare un primo strato sacrificale (12) viene eseguita prima di formare uno strato di membrana (13), il processo comprendendo inoltre, prima di formare uno strato di membrana (13), la fase di rimuovere porzioni selettive

di detto primo strato sacrificale (12) e formare trincee (21), detta fase di formare lo strato di membrana (13) comprendendo la fase di formare ancoraggi di membrana (22) ancorati al substrato attraverso dette trincee (21).

4. Processo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente inoltre, prima di formare i canali di alimentazione (15), scavare il retro del substrato (11) e formare un serbatoio (31) in detto substrato (11) al di sotto di detta pluralità di ugelli (14).

5. Processo secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, comprendente inoltre la fase di formare una pluralità di canali di guida (42), ciascun canale di guida estendendosi al di sopra di un rispettivo ugello (14) di detta pluralità di ugelli.

6. Processo secondo la rivendicazione 5, in cui la fase di formare una pluralità di canali di guida (42) comprende le fasi di:

dopo la fase di formare una pluralità di ugelli, depositare un secondo strato sacrificale (40) al di sopra dello strato di membrana (13);

rimuovere selettivamente il secondo strato sacrificale in zone lateralmente sfalsate rispetto agli ugelli;

crescere uno strato di canale di guida (41) al di sopra del secondo strato sacrificale (40);

rimuovere porzioni selettive dello strato di canale di

guida (41); e

rimuovere il secondo strato sacrificale (40) e collegare direttamente ciascun canale di guida (42) con il rispettivo ugello (14).

7. Dispositivo di nebulizzazione (50) comprendente:

un serbatoio (51) avente una camera interna (52) configurata in modo da contenere una sostanza liquida;

una bocca di entrata (54);

una struttura di emissione (16; 25; 35; 45) della sostanza liquida;

un attuatore (53) connesso al serbatoio (51) e configurato in modo da causare l'espulsione della sostanza liquida dal serbatoio,

caratterizzato dal fatto che

detta struttura di emissione è una membrana di ugelli (16; 25; 35; 45) realizzata secondo il processo di fabbricazione di una qualsiasi delle rivendicazioni 1-6.

8. Inalatore (100) comprendente il dispositivo di nebulizzazione (50) secondo la rivendicazione 7.

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

Elena CERBARO

Elena CERBARO

(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

FIG. 1

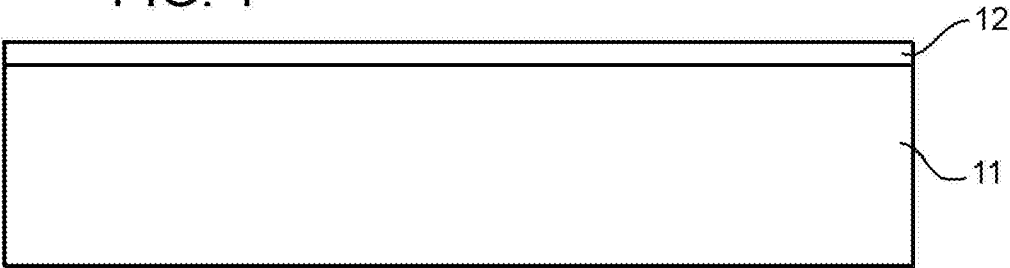


FIG. 2

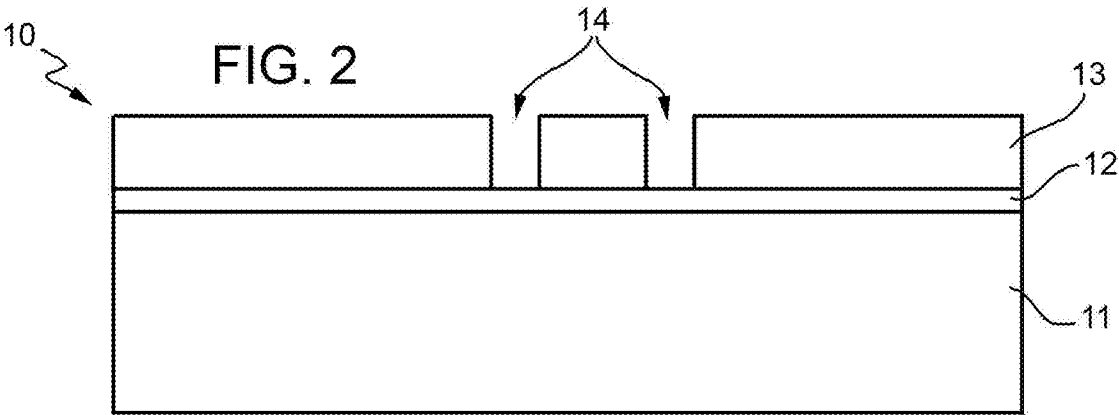


FIG. 3

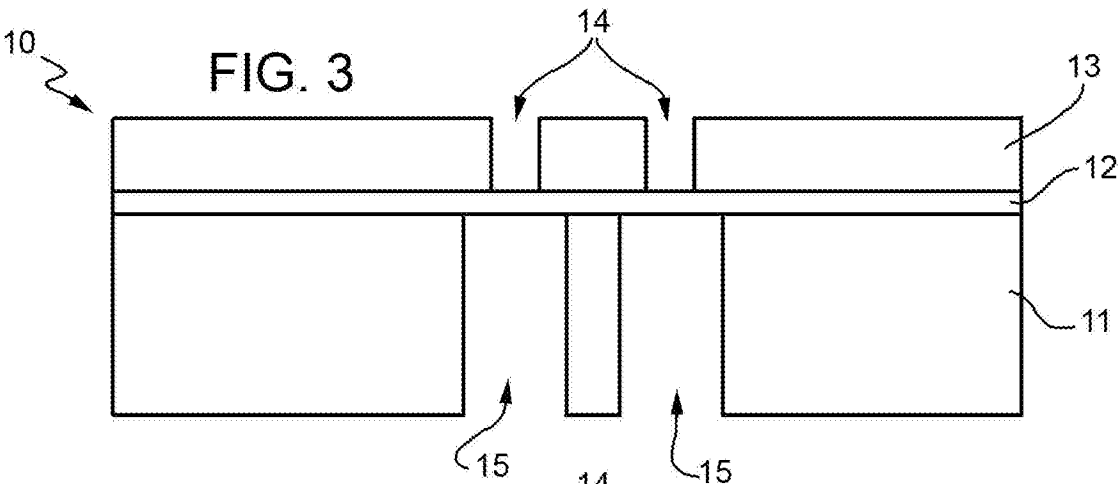


FIG. 4

