



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

DOMANDA NUMERO	101999900773470
Data Deposito	12/07/1999
Data Pubblicazione	12/01/2001

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
B	41	J		

Titolo

TESTINA DI STAMPA MONOLITICA E RELATIVO PROCESSO DI FABBRICAZIONE.
--

1

Classe internazionale: B41J - 2/05

Descrizione dell'invenzione industriale avente per titolo:

"Testina di stampa monolitica e relativo processo di fabbricazione",

a nome: OLIVETTI LEXIKON S.p.A. di nazionalità italiana e con sede
in via Jervis, 77 - 10015 IVREA (TO).

Inventori designati: CONTA Renato, PIANO Mara.

Depositata il:

2 LUG. 1999

10 99A 000610

TESTO DELLA DESCRIZIONE

Area tecnologica dell'invenzione - L'invenzione è relativa ad una testina di stampa utilizzata in una apparecchiatura per formare, attraverso successive scansioni, immagini in nero o a colori su un supporto di stampa, normalmente ma non esclusivamente un foglio di carta, mediante la tecnologia a getto di inchiostro del tipo termico, ed in particolare al gruppo attuatore della testina, ed al relativo processo di fabbricazione.

Presupposti tecnici - Nella Fig. 1 è rappresentata una stampante a getto di inchiostro con l'indicazione delle parti rilevanti ai fini della presente invenzione. Nella figura sono visibili una struttura fissa 41, un carrello di scansione 42, quattro testine di stampa 40 ed un encoder 44.

La stampante può costituire un prodotto a sé stante, oppure essere parte di una fotocopiatrice, di un "plotter", di una macchina fac-simile, di una macchina per la riproduzione di fotografie e simili. La stampa viene effettuata su un supporto fisico 46, costituito normalmente da un foglio di carta, oppure da un foglio di plastica, da tessuto o simili.

Nella stessa Fig. 1 sono riportati gli assi di riferimento:

Carlo Casuccio

asse x, orizzontale, cioè parallelo alla direzione di scansione del carrello 42; asse y, verticale, cioè parallelo alla direzione di interlinea; asse z, perpendicolare agli assi x e y.

La costituzione ed il modo di funzionamento generale di una testina di stampa secondo la tecnologia del tipo termico, ed in particolare del tipo cosiddetto "top shooter", cioè che emette le gocce di inchiostro in direzione perpendicolare al gruppo attuatore, sono già ampiamente noti nella tecnica, e pertanto non se ne darà qui una descrizione dettagliata, limitandosi a descrivere più in particolare solo alcune caratteristiche delle testine e del loro processo di fabbricazione rilevanti ai fini della comprensione della presente invenzione.

In Fig. 2 viene rappresentata la vista prospettica esplosa di un gruppo attuatore 80 di una testina di stampa a getto di inchiostro monocromatica, composto da un die 51 di materiale semiconduttore (solitamente Silicio) sulla cui faccia superiore sono ricavati dei resistori 52 per l'emissione delle gocce di inchiostro, dei circuiti di pilotaggio 53 per comandare i resistori 52, delle piazzole 54 per collegare la testina ad un governo elettronico non mostrato in figura, un sensore resistivo di temperatura 65, delle marche di riferimento 69, e che porta un'asola passante 55 attraverso la quale fluisce l'inchiostro da un serbatoio non mostrato in figura. Sulla faccia superiore del die 51 è fissato uno strato 60 di fotopolimero avente uno spessore minore o uguale a $25\ \mu\text{m}$ in cui sono ricavate, mediante tecniche fotolitografiche note, una pluralità di condotti 57 e una pluralità di camere 64 posizionate in corrispondenza dei resistori 52. Sopra il fotopolimero 60 è incollata una piastrina ugelli

61, costituita solitamente da una lamina di Nickel dorato o di "kapton", di spessore minore o uguale a $50\text{ }\mu\text{m}$, che reca una pluralità di ugelli 62, ogni ugello 62 essendo in corrispondenza di una camera 64. Nella tecnologia corrente gli ugelli hanno diametro compreso tra 10 e $60\text{ }\mu\text{m}$, mentre i loro centri sono spaziati solitamente di un passo A di $1/150$ o di $1/300$ di pollice ($169\text{ }\mu\text{m}$ o $84,5\text{ }\mu\text{m}$). Solitamente, ma non esclusivamente, gli ugelli 62 sono disposti su due file parallele, sfalsate tra loro di una distanza $B = A/2$, allo scopo di raddoppiare la risoluzione dell'immagine nella direzione della scansione della testina, che diventa in tal modo $1/300$ o $1/600$ di pollice.

Nella stessa Fig. 2 sono riportati gli assi x, y e z già definiti con riferimento alla Fig. 1.

L'insieme dei circuiti di pilotaggio 53, detto nel seguito microelettronica, è realizzato tipicamente per mezzo di una tecnologia C-MOS/LD-MOS semplificata, che presenta una bassa potenza dissipata e permette di realizzare una soluzione specifica per ogni modello di testina.

Viene ora sommariamente descritto il processo convenzionale di fabbricazione del gruppo attuatore, con riferimento al diagramma di flusso di Fig. 4, a partire da un primo passo 70 dove è reso disponibile un "wafer" 66 su cui sono realizzati i die 51 (Fig. 3). In un successivo passo 71 viene eseguito il collaudo del "wafer" 66. In un passo 72 sul "wafer" 66 viene steso uno strato di fotopolimero, generalmente del tipo "dry film".

In un passo 73 viene effettuata l'esposizione del fotopolimero e in un successivo passo 74 vengono ricavati, per mezzo dello sviluppo con tecniche note, nello strato di fotopolimero 60, le camere 64, allineate con i resistori 52, e i condotti 57 (Fig. 2). In un passo 75 viene applicata una protezione all'intero "wafer", e in un successivo passo 76 vengono realizzate per mezzo di un'operazione di sabbiatura le asole 55, che adducono l'inchiostro ai condotti 57. In un passo 77 si procede all'asportazione della protezione mediante lavaggio ed al controllo visivo dell'integrità del componente.

In un successivo passo 100 le piastrine ugelli 61 vengono posizionate in modo che gli ugelli 62 risultino allineati con le camere 64, e incollate sui die 51 appartenenti al "wafer" 66. Successivamente (passo 101) il "wafer" 66 viene applicato su un foglio adesivo 113 (Fig. 5), montato su una cornice 114. I singoli die 51 vengono separati in un passo 102 per mezzo del taglio con una mola diamantata 115 di spessore $50 \div 100 \mu\text{m}$ (Fig. 6), e vengono tenuti aggregati nelle posizioni originali per mezzo del foglio adesivo 113 a cui aderiscono. Si procede quindi ad un lavaggio e ad un'asciugatura (passo 103), ad esempio con macchina Ultratech.

In un passo 105 un dispositivo "pick and place" di tecnologia nota preleva ciascun die 51 dal foglio adesivo 113 e lo deposita con precisione (errore inferiore a $\pm 10 \mu\text{m}$ lungo l'asse x) su una base di allineamento. In un passo 104 viene fornita separatamente, sotto forma di una bobina continua, una molteplicità di "flat cable" 117 (Fig. 2) che recano una finestra 122 con dei "finger" 123 che verranno saldati alle

piazzole di collegamento 54 dei die 51, delle piazzole di contatto di macchina 121 e delle piste di interconnessione 120 che collegano le piazzole 121 ai finger 123. In un passo 107 il flat 117 viene allineato con il die 51, con tolleranza $\pm 5 \mu\text{m}$ lungo gli assi x e y.

In un passo 110 una testa saldante a ultrasuoni si posiziona al di sopra delle piazzole di collegamento 54 del die 51, sulle quali salda ad uno ad uno tutti i finger 123 del flat 117 per mezzo di una tecnica nota come "Tape Automatic Bonding (TAB) point to point".

In un successivo passo 111 i singoli flat 117 vengono separati in gruppi attuatori 80 distinti.

Nelle testine di stampa a getto di inchiostro la tecnologia attuale tende verso la realizzazione di un numero di ugelli per testina elevato (≥ 300), un'alta definizione ($\geq 600 \text{ dpi}$), una frequenza di lavoro elevata ($\geq 10 \text{ kHz}$) e verso una produzione di gocce più piccole ($\leq 10 \text{ pl}$) rispetto a quelle delle tecnologie precedenti.

Queste esigenze richiedono di realizzare gli attuatori ed i circuiti idraulici con dimensioni sempre minori, precisioni maggiori, tolleranze di montaggio ristrette, ed aggravano i problemi generati dai diversi coefficienti di dilatazione termica fra i diversi materiali della testina.

Alle stesse testine viene richiesta inoltre un'elevata affidabilità, specialmente quando si prevede l'intercambiabilità del serbatoio dell'inchiostro: la vita utile di queste testine, dette testine refill semifisse, è prossima alla vita delle stampanti.

Nasce pertanto la necessità di sviluppare e produrre testine monolitiche completamente integrate, nelle quali i condotti

dell'inchiostro, la microelettronica di selezione, i resistori e gli ugelli sono integrati a livello del "wafer".

L'ottenimento di questo risultato è favorito dalle piccole dimensioni delle gocce, che sono scese a volumi minori di 10 pl, e che richiedono energie di attuazione inferiori a 3 μ j per attuatore.

Sono state proposte diverse soluzioni per realizzare testine con attuatore monolitico, come ad esempio quelle descritte nei brevetti seguenti:

US 5850241 "Monolithic print head structure and a manufacturing process therefor using anisotropic wet etching": la struttura idraulica di una testina è ottenuta incidendo anisotropicamente il Silicio; gli ugelli vengono ricavati mediante un'incisione RIE su una membrana di SiO₂ dello spessore di alcuni micrometri, e contengono a loro volta resistori anulari per l'emissione dell'inchiostro;

US 5211806 "Monolithic inkjet printhead": la struttura idraulica di una testina è realizzata direttamente sul "wafer" utilizzando come strato sacrificale un film di Alluminio spesso da 25 a 60 μ m depositato per "sputtering", ed è costituita da Nichel accresciuto per mezzo di un processo "electroless"; gli ugelli vengono incisi in un secondo tempo per mezzo di un processo chimico su detta struttura; l'asola nel Silicio per l'adduzione dell'inchiostro viene tagliata per mezzo di un laser;

US 4894664 "Monolithic thermal ink jet printhead with integral nozzle and ink feed" e US 4438191 "Monolithic ink jet printhead": gli ugelli vengono realizzati per mezzo di Nichel elettrolitico accresciuto

sul "wafer" a partire da uno strato metallico, e per mezzo di uno strato sacrificale di fotoresist.

Tuttavia le soluzioni rivelate da questi brevetti presentano una realizzazione molto complessa, ed inoltre le tecniche rivelate dai primi due brevetti hanno una resa produttiva scarsa ed incerta.

Sommario dell'invenzione - Scopo della presente invenzione è quello di realizzare una testina integrata nella quale i canali e i condotti dell'inchiostro, le camere e i resistori vengono realizzati su una lamina composta di strati di materiale inorganico, e vengono ricavati in parte per mezzo degli stessi passi di processo necessari alla realizzazione della microelettronica, ed in parte per mezzo di ulteriori passi di processo compatibili con il processo di integrazione della microelettronica. L'alimentazione dell'inchiostro viene effettuata dal serbatoio attraverso fori realizzati nella lamina stessa in corrispondenza di ciascun attuatore. I condotti dell'inchiostro, le camere e gli ugelli eiettori, detti complessivamente "microidraulica", vengono realizzati per mezzo di strati sacrificali metallici spessi accresciuti elettroliticamente e per mezzo di strati strutturali di materiale organico, con una tecnologia MEMS/strutture 3D (MEMS: Micro Electro Mechanical System).

Un altro scopo è quello di realizzare gli attuatori ed i circuiti idraulici con dimensioni minori e precisioni maggiori.

Un ulteriore scopo è quello di realizzare gli ugelli direttamente sul "wafer", ottenendo un allineamento più preciso tra detti ugelli, le camere e i resistori.

Un ulteriore scopo è quello di ridurre i problemi generati dai diversi coefficienti di dilatazione termica fra i diversi materiali del gruppo attuatore della testina.

Un ulteriore scopo è quello di evitare la saldatura a caldo delle diverse parti del gruppo attuatore, e di evitare conseguentemente i disallineamenti tra la piastrina ugelli e gli attuatori, dovuti alle diverse dilatazioni termiche.

Un ulteriore scopo è quello di evitare il montaggio individuale delle piastrine ugelli sul "wafer", o di un "reel" di "kapton" con ugelli già forati.

Un ulteriore scopo è quello di poter realizzare le due file di ugelli ravvicinate, ottenendo in tal modo una maggior precisione di stampa ed una minore area di ingombro del gruppo attuatore.

Un ulteriore scopo è quello di ridurre i costi di fabbricazione del gruppo attuatore della testina, eliminando le operazioni di sabbiatura, di fotopolimerizzazione, di allineamento e di saldatura della piastrina ugelli. L'eliminazione della fotopolimerizzazione è ulteriormente vantaggiosa, poiché, con la riduzione delle dimensioni del gruppo attuatore, lo strato di fotopolimero dovrebbe presentare spessore molto ridotto, e diverrebbe quindi difficile da approvvigionare e da realizzare.

Un ulteriore scopo è quello di realizzare un'ulteriore funzione di filtro dell'inchiostro per mezzo dei fori ricavati nella lamina. Il filtro ottenuto in tal modo lavora in serie al filtro già presente nella cartuccia, rispetto al quale risulta più fine, a causa della piccola dimensione dei fori.

Un ulteriore scopo è quello di aumentare la resa del processo di produzione del gruppo attuatore, poiché tale processo viene realizzato interamente in camera bianca, e presenta perciò un rischio minore di contaminazione da particelle estranee.

I suddetti scopi sono ottenuti per mezzo di una testina di stampa monolitica e relativo processo di fabbricazione, caratterizzata come definito nelle rivendicazioni principali.

Questi ed altri scopi, caratteristiche e vantaggi dell'invenzione risulteranno evidenti sulla base della seguente descrizione di una sua forma preferita di realizzazione, fatta a titolo esemplificativo e non limitativo, con riferimento agli annessi disegni.

Carlo Casuccio

ELENCO DELLE FIGURE

- Fig. 1 - Rappresenta una vista assonometrica di una stampante a getto di inchiostro;
- Fig. 2 - rappresenta una vista esplosa di un gruppo attuatore realizzato secondo l'arte nota;
- Fig. 3 - rappresenta un "wafer" di materiale semiconduttore, che contiene dei die non ancora separati;
- Fig. 4 - illustra il diagramma di flusso del processo convenzionale di fabbricazione del gruppo attuatore di Fig. 2;
- Fig. 5 - rappresenta il "wafer" di Fig. 3 montato su un foglio adesivo;
- Fig. 6 - rappresenta schematicamente l'operazione di separare i die di Fig. 3 per mezzo di una mola diamantata;
- Fig. 7 - rappresenta schematicamente un attuatore secondo l'invenzione;
- Fig. 8 - rappresenta schematicamente un "wafer" e l'ingrandimento di un die secondo l'invenzione;
- Fig. 9 - rappresenta una sezione della microelettronica;
- Fig. 10a e 10b - riportano il diagramma di flusso di una prima parte del processo di fabbricazione dell'attuatore secondo l'invenzione, che corrisponde alla fabbricazione della microelettronica;
- Fig. 11 - rappresenta un'assonometria dell'attuatore secondo l'invenzione, con l'indicazione di due sezioni AA e BB della microidraulica;
- Fig. 12 - riporta le sezioni AA e BB della microidraulica;

Fig. 13 - rappresenta la vista in sezione di una variante della microidraulica;

Fig. 14a e 14b - riportano il diagramma di flusso di una seconda parte del processo di fabbricazione dell'attuatore secondo l'invenzione, che corrisponde alla fabbricazione della microidraulica;

Figg. da 15 a 29 - rappresentano l'attuatore secondo l'invenzione nei successivi passi di fabbricazione appartenenti a detta seconda parte del processo;

Fig. 30 - riporta il diagramma di flusso di una variante del processo di fabbricazione relativa ad una seconda forma di realizzazione dell'attuatore;

Figg. da 31 a 34 - rappresentano l'attuatore nella seconda forma di realizzazione, nei successivi passi di fabbricazione secondo detta variante del processo;

Fig. 35 - riporta il diagramma di flusso di un'ulteriore variante del processo di fabbricazione relativa ad una terza forma di realizzazione dell'attuatore;

Fig. 36 - rappresentano l'attuatore come risulta dalla terza forma di realizzazione.

DESCRIZIONE DELLA FORMA PREFERITA

Una testina di stampa 40 a getto d'inchiostro secondo l'invenzione comprende un attuatore 81, illustrato in Fig. 7, che a sua volta comprende una struttura 175 e un die 161. La struttura 175 contiene due file di ugelli 156 parallele all'asse y. Il die 161 comprende una microelettronica 162 e dei pad di saldatura 177, che permettono la connessione elettrica della microelettronica 162 con i circuiti di governo della stampante. Una microidraulica 163 appartiene in parte alla struttura 175 ed in parte al die 161.

Il processo di fabbricazione dell'attuatore 81 per testina di stampa a getto d'inchiostro secondo l'invenzione comprende la realizzazione di un "wafer" 160, come indicato in Fig. 8, composto da una pluralità di die 161.

In una prima parte di detto processo viene realizzata e completata la microelettronica 162 e contemporaneamente, sfruttando gli stessi passi di processo e le stesse maschere, viene parzialmente realizzata la microidraulica 163.

In una seconda parte di detto processo viene completata la microidraulica 163 per mezzo di operazioni compatibili con la prima parte del processo.

Prima parte del processo - Viene ora descritta la prima parte di detto processo con l'ausilio della Fig. 9, che rappresenta una vista in sezione della microelettronica 162, realizzata e completata durante detta prima parte, costituita da:

- un substrato 140 di Silicio P, avente resistività preferibilmente compresa tra 0,1 e 0,2 $\Omega\cdot\text{m}$ e orientato con assi cristallografici {100};
- uno strato diffuso N-well 136, avente spessore preferibilmente compreso tra 5 e 20 μm ; questo strato non è presente se la microelettronica 162 è realizzata esclusivamente in tecnologia N-MOS;
- uno strato 165 di Si_3N_4 , realizzato con tecnologia LPCVD, avente spessore preferibilmente compreso tra 1000 e 2000 Å.
- uno strato 135 di SiO_2 avente spessore preferibilmente compreso tra 0,8 e 1,5 μm , realizzato ad esempio per mezzo della tecnologia Locos, nota agli esperti del settore, che svolge la funzione di isolamento elettrico tra i dispositivi elettronici della microelettronica 162;
- uno strato 134, realizzato in Silicio policristallino, avente spessore preferibilmente compreso tra 0,4 e 0,6 μm , usato come elettrodo di gate e di interconnessione dei circuiti elettronici C-mos e LD-mos;
- uno strato 180, "P-body";
- uno strato diffuso 137 di Silicio N+, avente spessore preferibilmente compreso tra 0,2 e 0,4 μm , che svolge la funzione di "source" e di "drain" nei transistor N-mos e LD-mos;
- uno strato 183 P+, necessario per realizzare i transistor P-mos e per collegare il "P-body" di ciascun LD-mos alla relativa "source";
- un "interlayer" 133 di BPSG (Boron Phosphorus Silicon Glass, cioè SiO_2 drogato con Boro e Fosforo) avente spessore preferibilmente

compreso tra 0,4 e 0,7 μm , realizzato mezzo di una tecnologia LPCVD (Low Pressure Chemical Vapour Deposition) nota agli esperti del settore;

- una prima metal 125 di Alluminio/Silicio, avente spessore preferibilmente compreso tra 0,5 e 0,7 μm , per l'interconnessione dei dispositivi attivi (C-MOS e LD-MOS);
- una seconda metal 131 di Alluminio/Rame, avente spessore preferibilmente compreso tra 0,5 e 0,7 μm , che realizza l'interconnessione dei resistori con i driver e l'interconnessione con gli ingressi e le uscite;
- un "interlayer" 132 fra la prima metal 125 e la seconda metal 131. L'"interlayer" 132 è costituito da uno strato di SiO_2 avente spessore preferibilmente compreso tra 0,8 e 1,2 μm , realizzato ad esempio per mezzo della tecnologia TEOS, nota agli esperti del settore;
- un resistore 127 di Tantalio/Alluminio avente spessore preferibilmente compreso tra 800 e 1200 Å, non rappresentato in questa figura, ma visibile nelle illustrazioni della microidraulica 163, a partire dalla Fig. 12;
- uno strato 130 di protezione dei resistori, costituito da uno strato di Nitrato di Silicio (Si_3N_4) al quale viene successivamente sovrapposto uno strato di Carburo di Silicio (SiC), avente spessore complessivo preferibilmente compreso tra 0,4 e 0,6 μm ; e
- uno strato anticavitazione 126, costituita da uno strato di Tantalio avente spessore preferibilmente compreso tra 0,4 e 0,6 μm ,

Carlo Casuccio

ricoperto da uno strato 172 di Oro avente spessore preferibilmente compreso tra 100 e 200 Å;

Nella stessa Fig. 9 vengono identificate una faccia superiore 170 ed una faccia inferiore 171, e vengono indicate le direzioni degli assi x e z.

La prima parte del processo di fabbricazione dell'attuatore 81 secondo l'invenzione comprende i passi indicati nel diagramma di flusso delle Figg. 10a e 10b. Le successive maschere utilizzate non vengono rappresentate nei disegni, poiché non necessarie alla comprensione del processo.

Nel passo 201 viene reso disponibile il substrato 140 di Silicio P.

Nel passo 202, per mezzo di una prima maschera, viene eseguita l'impiantazione del Fosforo e la sua successiva diffusione per realizzare lo strato 136 N-well. Nel caso in cui la microelettronica 162 sia realizzata esclusivamente in tecnologia N-MOS, e non possenga quindi lo strato 136 N-well, questo deve essere realizzato comunque, poiché è necessario per la fabbricazione della microidraulica 163, come verrà descritto a proposito della seconda parte del processo.

Nel passo 203 viene effettuata la deposizione dello strato inferiore 165 di Si_3N_4 per mezzo della tecnologia LPCVD (Low Pressure Chemical Vapour Deposition). Contemporaneamente viene depositato uno strato di Si_3N_4 anche sulla faccia superiore, che non è indicato in figura poiché verrà eliminato in un passo successivo.

Nel passo 204, per mezzo di una seconda maschera, viene inciso detto strato di Si_3N_4 sulla faccia superiore, il quale viene

successivamente utilizzato come maschera per effettuare l'impiantazione del Boro, per mezzo di una tecnologia nota come "channel stop".

Nel passo 205 viene effettuata la crescita dello strato 135 di field oxide (LOCOS), utilizzando ancora come maschera lo strato inciso di Si_3N_4 sulla faccia superiore.

Nel passo 206 viene effettuato il "dry etching" di detto strato di Si_3N_4 sulla faccia superiore, il quale viene in tal modo eliminato.

Nel passo 207 viene effettuata l'impiantazione del Boro negli spazi lasciati scoperti dallo strato 135 di field oxide (LOCOS), cioè nelle zone attive, allo scopo di regolare la tensione di soglia dei C-MOS.

Nel passo 210 viene realizzata la crescita del "gate oxide", non rappresentato in alcuna figura, non essendo rilevante per la presente invenzione.

Nel passo 211 viene effettuata la deposizione del Silicio policristallino che costituisce gli elettrodi di "gate" 134, e che può costituire inoltre eventuali interconnessioni ed eventuali dissipatori disposti sotto i resistori 127.

Nel passo 212 viene effettuata l'incisione del Silicio policristallino per mezzo di una terza maschera.

Nel passo 213 vengono effettuate l'impiantazione del Boro per mezzo di una quarta maschera e la successiva diffusione del Boro per realizzare lo strato "P-body" 180.

Nel passo 214 viene realizzato, per mezzo di una impiantazione del Boro e l'uso di una quinta maschera, lo strato 183 P+, che

costituisce la "source" e il "drain" dei transistori P-mos e che realizza il collegamento tra il "P-body" degli LD-mos e le relative "source".

Nel passo 215 viene effettuata l'impiantazione dell'Arsenico per mezzo di una sesta maschera, allo scopo di realizzare le giunzioni 137 N+ delle "source" e dei "drain" dei transistori N-mos e LD-mos.

Nel passo 216 viene effettuata la deposizione dell'"interlayer" 133 di BPSG.

Nel passo 217 viene effettuata l'incisione dell'"interlayer" 133 di BPSG per mezzo di una settima maschera, allo scopo di realizzare l'apertura dei contatti.

Nel passo 220 viene depositata la prima metal 125 di Alluminio/Silicio.

Nel passo 221 vengono effettuate la fotolitografia e l'incisione della prima metal 25 per mezzo di una ottava maschera.

Nel passo 222 viene effettuata la deposizione dell'"interlayer" 132 (SiO_2 TEOS) fra la prima metal 125 e la seconda metal 131.

Nel passo 223, per mezzo di una nona maschera, vengono effettuate la fotolitografia e l'incisione dell'"interlayer" 132, allo scopo di realizzare le "vias" di collegamento fra la prima metal 125 e la seconda metal 131.

Nel passo 224 vengono depositati lo strato di Tantalio/Alluminio che costituisce i resistori 127 e lo strato di Alluminio/Rame, che costituisce la seconda metal 131.

Nel passo 225, per mezzo di una decima maschera, viene effettuata la fotolitografia della seconda metal 131.

Nel passo 226, per mezzo di una undicesima maschera, vengono effettuate la fotolitografia dello strato di Tantalio/Alluminio, allo scopo di realizzare i resistori 127, e l'incisione della seconda metal 131.

Nel passo 227 viene condotto un test intermedio su eventuali dispositivi predisposti per il controllo del processo.

Nel passo 230 viene depositato lo strato di 130 di Si_3N_4 e di SiC , di protezione dei resistori 127.

Nel passo 231 vengono depositati lo strato anticavitazione 126 di Tantalio ricoperto dallo strato 172 di Oro.

Nel passo 232 vengono effettuate la fotolitografia e l'incisione dello strato di Tantalio 126 e dello strato 172 di Oro per mezzo di una dodicesima maschera.

Seconda parte del processo - La seconda parte del processo di fabbricazione del gruppo attuatore 81 di una testina di stampa a getto di inchiostro monolitica, secondo la presente invenzione, è specifica per l'ottenimento della microidraulica 163.

In Fig. 11 sono rappresentati due generici die 161, appartenenti al "wafer" 160, come risultano al termine di detta seconda parte del processo. In questa figura sono visibili anche le strutture 175 e gli ugelli 156. Vengono messe in evidenza due sezioni della microidraulica 163: una sezione AA, parallela al piano z-x, ed una sezione BB, parallela al piano x-y.

In Fig. 12 vengono ingrandite dette sezioni AA e BB.

Carlo Casuccio

Nella sezione AA è visibile la struttura 175, realizzata con uno strato ad esempio di resina polyimidica o epossidica, avente spessore preferibilmente compreso tra 30 e 50 μm e contenente:

- gli ugelli 156, disposti su due file parallele all'asse y;
- delle camere 157, disposte su due file parallele all'asse y; e
- dei condotti 153.

Nella sezione AA è visibile uno solo degli ugelli 156 ed una sola delle camere 157, poiché le due file su cui sono disposti sono sfalsate tra loro. Sono inoltre visibili:

- Il substrato 140 di Silicio P;
- una scanalatura 145, avente la dimensione maggiore parallela all'asse y, e quindi alle file degli ugelli 156.

Nella stessa figura 12 è rappresentata una lamina 164, composta da tutti gli strati ottenibili senza aggiungere passi a quelli necessari per la realizzazione della microelettronica 162 descritta nella prima parte del processo. Tuttavia, durante detta prima parte del processo, si può scegliere di non realizzare alcuni degli strati nella lamina 164, allo scopo di ottimizzare alcune caratteristiche, come ad esempio:

la robustezza meccanica della lamina 164; la compensazione degli sforzi residui di compressione o di trazione tra i diversi strati; la rigidità meccanica della lamina 164; e la dissipazione termica della lamina 164.

In particolare la lamina 164 comprende:

- lo strato diffuso 136 di Silicio N-well, che, nell'area della microidraulica 163, ha lo scopo di ottimizzare alcune caratteristiche

meccaniche della lamina 164, come ad esempio: una maggiore robustezza meccanica della lamina 164; una minor sensibilità ad una eventuale non compensazione degli sforzi residui di compressione o di trazione tra i diversi strati; una maggiore libertà nel progetto della lamina 164; una maggiore rigidità meccanica della lamina 164, che riduce l'ampiezza dei modi di vibrazione eccitati dall'emissione delle gocce 184 di inchiostro; e una maggiore dissipazione termica della lamina 164. Lo stesso strato 136 ha inoltre lo scopo di effettuare un blocco del processo di incisione della scalfatura 145 in bagno di KOH ("electrochemical etch stop"), come verrà descritto nel passo 244;

- lo strato di isolamento 135 di SiO_2 Locos ;
- il resistore 127 di Tantalio/Alluminio avente spessore di $800 \div 1200$ Å;
- lo strato 134 di Silicio policristallino, che, nell'area della microidraulica 163, realizzato sotto forma di aree localizzate, migliora la rigidità della lamina 164, e, sotto il resistore 127, permette un raffreddamento più rapido del resistore 127 tra un impulso di comando e il successivo;
- il contatto 137 di Silicio N^+ ;
- l'"interlayer" 133 di BPSG;
- l'"interlayer" 132, costituito da uno strato di SiO_2 ;
- la seconda metal 131 di Alluminio/Rame;
- lo strato 130 di Si_3N_4 e di SiC per la protezione dei resistori;
- dei canali 167; e

Carlo Casuccio,

-lo strato anticavitazione 126, costituito da uno strato di Tantalio ricoperto dallo strato 172 di Au, che nella presente invenzione svolge anche la funzione di "seed layer"; a questo strato appartengono i segmenti 124 che ricoprono interamente il fondo di ciascuna camera 157.

In Fig. 13 è riportata, a titolo di esempio, una variante dell'invenzione, secondo la quale ciascuna delle camere 157 è alimentata da un numero di canali 167 e di condotti 153 maggiore di due, ad esempio quattro.

Verrà ora descritta detta seconda parte del processo mediante il quale viene realizzata la microidraulica 163 dell'attuatore 81, con l'ausilio del diagramma di flusso di Fig. 14.

Nel passo 241 si dispone del "wafer" 160 come risulta al termine della prima parte del processo (passo 232 del diagramma di flusso di Fig. 10b) finito nelle aree di microelettronica 162, protetto dallo strato continuo 130 di Si_3N_4 e di SiC, e predisposto per le operazioni successive nelle aree di microidraulica 163, come è visibile in Fig. 15, limitata ad una zona intorno ad un solo resistore 127. La microidraulica 163 non comprende necessariamente tutti gli strati realizzati nella microelettronica 162: nell'esempio non limitativo di figura comprende solamente il substrato 140 di Silicio P, lo strato 136 N-well, lo strato 135 di SiO_2 LOCOS, l'"interlayer" 132 di SiO_2 TEOS, il resistore 127 di Tantalio/Alluminio, lo strato 130 di Si_3N_4 e di SiC per la protezione dei resistori, lo strato 126 di Tantalio, ricoperto dallo strato 172 di Oro, inciso secondo la tecnologia nota, e lo strato 165 di Si_3N_4 LPCVD.

Nella microidraulica 163 sono presenti delle zone 146, predisposte per una successiva foratura, dove mancano lo strato 136 N-well e lo strato 135 di SiO_2 Locos. Per ottenere la mancanza dello strato 136 N-well, è stata utilizzata la prima maschera nel passo 202, che ha evitato l'impiantazione del Fosforo nelle zone 146, mentre per ottenere la mancanza dello strato 135 di SiO_2 Locos è stato utilizzato lo strato di Si_3N_4 sulla faccia superiore con funzione di maschera nel passo 204, che ha evitato l'accrescimento del SiO_2 . Nelle stesse zone 146 lo strato 126 di Tantalio, ricoperto dallo strato 172 di Oro, presenta dei fori che sono stati ricavati per mezzo dell'incisione descritta al passo 232.

Nel passo 242 viene steso, sullo strato 165, uno strato inferiore 143 di fotoresist, avente spessore preferibilmente compreso tra 8 e 10 μm ; vengono effettuati l'esposizione con una tredicesima maschera e lo sviluppo. Al termine di questa operazione viene ricavata nello strato inferiore 143 di fotoresist una finestra inferiore 144 avente larghezza L, attraverso la quale viene effettuata l'asportazione, per mezzo della tecnologia nota come "plasma dry etching", dello strato 165 di Si_3N_4 LPCVD.

Nel passo 243 viene incisa una scanalatura 145 attraverso la finestra inferiore 144, per mezzo della tecnologia ICP ("Inductively Coupled Plasma"), di tipo "dry", nota agli esperti nell'arte, come illustrato in Fig. 16. La scanalatura 145 ha la stessa larghezza L della finestra inferiore 144, ha pareti sostanzialmente parallele all'asse z ed

una profondità T di circa $500\text{ }\mu\text{m}$. Con una velocità compresa tra 10 e $20\text{ }\mu\text{m/min}$, il tempo di incisione risulta compreso tra 25 e 50 minuti.

Il fotoresist dello strato inferiore 143 ha una selettività di circa 75:1 rispetto al Silicio. Questo significa che la velocità di asportazione del fotoresist è solamente $1/75$ di quella del Silicio: nel tempo in cui il Silicio viene inciso fino ad una profondità T , ad esempio di $500\text{ }\mu\text{m}$, lo spessore del fotoresist viene ridotto di circa $500\text{ }\mu\text{m}/75 = 6,7\text{ }\mu\text{m}$.

Viene infine asportato il residuo dello strato inferiore 143 di fotoresist, mentre rimane la parte dello strato 165 di Si_3N_4 LPCVD esterna alla finestra inferiore 144.

Nel passo 244 viene continuata l'incisione della scanalatura 145 attraverso la finestra inferiore 144, per mezzo di una tecnologia di tipo "wet" che fa uso ad esempio di KOH o di TMAH, come è noto agli esperti nel settore. L'incisione della scanalatura 145 avanza secondo piani geometrici definiti dagli assi cristallografici del Silicio, come illustrato in Fig. 17, e forma perciò un angolo $\alpha = 54,7^\circ$.

Al termine di questa operazione è identificabile una lamina 164 che comprende, nell'esempio non limitativo di figura, il resistore 127 e gli strati compresi tra il 136, N-well, ed il 126, di Tantalio ricoperto dallo strato 172 di Oro.

Viene ora riportato un calcolo esemplificativo delle dimensioni, delle tolleranze e dei tempi di lavorazione relativi alle varie incisioni. Dati ad esempio i seguenti valori nominali:

- lo spessore del "wafer" 160 prima della crescita dei diversi strati, W
 $= 625\text{ }\mu\text{m}$;

- lo spessore complessivo dello strato 136 N-well più metà dello strato di isolamento 135, $G = 9 \mu\text{m} + 1 \mu\text{m} = 10 \mu\text{m}$;
 - la profondità dell'incisione dry, $T = 500 \mu\text{m}$; e
 - la larghezza al termine dell'incisione wet, $F = 220 \mu\text{m}$,
- risulta necessaria una profondità dell'incisione wet

$$E = W - G - T = 115 \mu\text{m}$$

Con una velocità di circa $1 \mu\text{m}/\text{min}$, il tempo necessario per l'incisione wet risulta di circa 115 minuti. La larghezza L della finestra inferiore 144 risulta:

$$L = F + 2 E / \tan \alpha = 220 \mu\text{m} + 2 \cdot 115 \mu\text{m} / 1,412 = 383 \mu\text{m}.$$

Includendo nel calcolo le seguenti tolleranze, ipotizzate a titolo di esempio:

- larghezza L della finestra inferiore 144: tolleranza $\pm 2 \mu\text{m}$;
- spessore W del "wafer" 160: tolleranza $\pm 15 \mu\text{m}$;
- spessore G : tolleranza $\pm 1 \mu\text{m}$;
- profondità T dell'incisione dry: tolleranza $\pm 10 \mu\text{m}$;

si ottengono i seguenti valori minimo e massimo della profondità dell'incisione wet:

$$E_{\min} = W_{\min} - G_{\max} - T_{\max} = (610 - 11 - 510) \mu\text{m} = 89 \mu\text{m}$$

$$E_{\max} = W_{\max} - G_{\min} - T_{\min} = (640 - 9 - 490) \mu\text{m} = 141 \mu\text{m}$$

e si ottengono infine i seguenti valori nominale, minimo e massimo della larghezza F al termine dell'incisione wet:

$$F_{\text{nom}} = L - 2 E / \tan \alpha = 383 \mu\text{m} - 2 \cdot 115 \mu\text{m} / 1,412 = 220 \mu\text{m}.$$

$$F_{\min} = L_{\min} - 2 E_{\max} / \tan \alpha = 381 \mu\text{m} - 2 \cdot 141 \mu\text{m} / 1,412 = 181 \mu\text{m}.$$

$$F_{\max} = L_{\max} - 2 E_{\min} / \tan \alpha = 385 \mu\text{m} - 2 \cdot 89 \mu\text{m} / 1,412 = 259 \mu\text{m}.$$

Durante questa operazione lo strato N-well 136 viene polarizzato elettricamente con polarità positiva; un contro elettrodo di Platino, immerso nel bagno di KOH, viene polarizzato negativamente; questo processo appartiene all'arte nota, e comprende l'uso di un terzo elettrodo di riferimento. La superficie di separazione tra lo strato 136 N-well ed il substrato 140 di Silicio P costituisce una giunzione polarizzata inversamente che blocca il transito di corrente: in tal modo l'incisione procede come un normale "etching" chimico in bagno di KOH. Quando l'incisione raggiunge detta superficie, distrugge la giunzione e permette il transito di una corrente dallo strato 136 N-well al contro elettrodo di Platino, immerso nel bagno di KOH. Tale corrente, per effetto elettrolitico, genera uno strato di ossido SiO_2 , isolante ed inattaccabile dal bagno di KOH, che arresta il procedere dell'incisione. Questo metodo, detto "electrochemical etch stop", è noto agli esperti nell'arte e permette di bloccare il procedere dell'incisione quando questa raggiunge la superficie predeterminata che separa lo strato 136 N-well dal substrato 140 di Silicio P.

Il passo 244 viene prolungato nel tempo affinché tutte le superfici dello strato 136 N-well presenti sul "wafer" 160 vengano certamente raggiunte dall'incisione.

Nelle aree poste in corrispondenza delle predisposizioni 146 manca lo strato 136 N-well, e viene perciò a mancare l'"electrochemical etch stop". In tali aree l'incisione prosegue fino ad incontrare lo strato 132 di SiO_2 TEOS, inattaccabile dal bagno di KOH.

Nel passo 245, descritto con l'ausilio della Fig. 18, viene steso uno strato di mascheratura 147 di fotoresist positivo, avente spessore preferibilmente compreso tra 1 e 3 μm , sopra la faccia superiore 170. Vengono effettuati l'esposizione e lo sviluppo per ricavare le finestre 150 nello strato di mascheratura 147 di fotoresist, in corrispondenza delle predisposizioni 146.

Nel passo 246, per mezzo della tecnologia "dry etching" nota agli esperti nell'arte, vengono incisi i diversi strati in corrispondenza delle finestre 150, in modo da ricavare i canali 167 visibili in Fig. 19, aventi diametro preferibilmente compreso tra 5 e 12 μm . In questa operazione lo strato 126 di Tantalio svolge la funzione di maschera di incisione. Infine viene asportato lo strato di mascheratura 147 di fotoresist.

Il contenitore dell'inchiostro, non visibile in alcuna figura poiché non essenziale per la comprensione dell'invenzione, è normalmente dotato di un filtro atto a trattenere impurità presenti nell'inchiostro 142. I canali 167 possono essere realizzati con un diametro minore rispetto alla dimensione caratteristica dei pori di detto filtro, affinché possano trattenere eventuali impurità sfuggite al filtro stesso. L'alimentazione alle camere 157 rimane assicurata poiché i canali 167 sono più di uno per ogni camera, e la probabilità che uno di essi venga ostruito è molto bassa nella vita della testina.

Nel passo 247, descritto con l'ausilio della Fig. 20, viene steso uno strato superiore 151 di fotoresist, avente spessore preferibilmente compreso tra 10 e 25 μm , sopra la faccia superiore 170. Detto fotoresist può essere positivo, ad esempio del tipo AZ 4500 (Hoechst)

o STR 1000 (Shipley), oppure negativo, ad esempio del tipo EPON SU-8 epoxy type (Shell Chemical) o Probimide 7020 (CIBA). Vengono effettuati l'esposizione con una quattordicesima maschera ed il successivo sviluppo per ricavare una finestra superiore 152 che si estende al di sopra dei canali 167, come si vede in Fig. 21.

Nel passo 250 vengono effettuati il "post bake" dello strato superiore 151, per renderlo resistente alle operazioni successive, e la pulizia della finestra superiore 152 per mezzo di un "plasma etching" in Ossigeno, che brucia i residui organici e attiva chimicamente l'Oro dello strato 172 che ricopre il Tantalio nello strato 126, allo scopo di favorire l'operazione descritta nel passo seguente.

Nel passo 251, descritto con l'ausilio della Fig. 22, viene effettuata l'elettrodeposizione di Rame elettrolitico nella finestra superiore 152, in modo da formare lo strato sacrificale 154, avente spessore sostanzialmente uguale a quello dello strato superiore 151 di fotoresist. L'attivazione chimica della superficie di Oro, menzionata nel passo precedente, permette l'avvio di una deposizione uniforme del Rame su tutta la superficie che costituisce il fondo della finestra superiore 152, e contemporanea su tutti i die 161 appartenenti al "wafer" 160.

Il Rame elettrolitico si deposita solamente in corrispondenza della finestra superiore 152 poiché questa è in comunicazione con lo strato 126, che forma una superficie conduttrice ed equipotenziale elettricamente connessa ad una tensione il cui valore è funzione dei

parametri del bagno, mentre tutte le superfici rimanenti sono ricoperte dallo strato superiore 151 di fotoresist.

La composizione del bagno elettrolitico e i relativi additivi sono scelti in modo da ottenere un fattore di accrescimento orizzontale, cioè parallelo agli assi x e y , sostanzialmente uguale al fattore di accrescimento verticale, cioè parallelo all'asse z , in modo che, dopo un accrescimento verticale sostanzialmente uguale allo spessore dello strato superiore 151 di fotoresist, l'area sovrastante i canali 167 risulti interamente coperta dal Rame. La superficie superiore del Rame accresciuto in corrispondenza dei canali 167 risulta planarizzata solamente in parte; la planarizzazione risulta migliore quando si adotta un maggiore spessore del Rame.

Lo strato sacrificale 154 può essere realizzato con un metallo diverso dal Rame, come ad esempio Nichel oppure Oro. Il bagno elettrolitico può contenere, ad esempio, Cu sulfonate pentahydrate, per depositare il Rame, oppure Ni sulfonate tetrahydrate, per depositare il Nichel, oppure non-cyanide pure gold (Neutronex 309), per depositare l'Oro.

Il processo elettrolitico di deposito del metallo, come quello descritto, viene preferito rispetto ai processi di deposito di tipo chimico, detti comunemente "electroless", poiché presenta una maggiore velocità di deposizione, una migliore uniformità del deposito, la possibilità di realizzare spessori di alcune decine di μm , anziché alcuni μm , ed è inoltre più facile da gestire.

Talvolta può essere necessario realizzare uno strato sacrificale 154', di forma più complessa, come ad esempio quella illustrata in Fig. 23. In questo caso è necessario ripetere i passi 247, 250 e 251, che vengono qui indicati come 247', 250' e 251'.

Nel passo 247' viene steso un ulteriore strato 151' di fotoresist sopra gli strati 151 e 154. Vengono effettuati l'esposizione con una quindicesima maschera ed il successivo sviluppo per ricavare una ulteriore finestra 152', non indicata in figura, che si estende almeno in parte al di sopra dello strato sacrificale 154.

Nel passo 250' vengono effettuati il "post bake" dello strato 151' e la pulizia della finestra superiore 152' per mezzo del "plasma etching" in Ossigeno.

Nel passo 251' viene effettuata l'elettrodeposizione di ulteriore Rame elettrolitico nella finestra 152', in modo da completare lo strato sacrificale 154'.

Se lo strato sacrificale 154' presenta una forma ancora più complessa di quella indicata in Fig. 23, i passi 247', 250' e 251' possono essere ripetuti più volte, utilizzando ogni volta una diversa maschera.

Vengono ora esposte alcune considerazioni relative al seed layer 172 costituito dal sottile strato di Oro che ricopre lo strato 126 di Tantalio e avente lo scopo di favorire l'accrescimento elettrolitico del Rame.

In generale, un seed layer deve avere una buona conducibilità elettrica ($\leq 1 \Omega/\square$), deve garantire una discreta adesione verso lo strato

sottostante, e non deve ossidarsi per facilitare la deposizione dello strato sovrastante in accrescimento. Deve inoltre essere asportabile facilmente.

Si potrebbe usare a tale scopo un film di Cr/Au (di spessore $100 \text{ \AA} + 200 \div 300 \text{ \AA}$) o simile, ma questo richiederebbe un ulteriore passo di evaporazione, e l'installazione di un relativo impianto di "sputtering". Inoltre questo tipo di "seed layer" dovrebbe essere asportato a fine processo.

Nella presente invenzione si propone invece, a titolo di esempio non limitativo, di usare come "seed layer" la ricopertura 172 di Oro, come già descritto. Questa soluzione presenta il vantaggio di non richiedere l'aggiunta di passi di processo. Inoltre, il "seed layer" così ottenuto possiede una conducibilità elettrica dell'ordine di $1 \text{ } \Omega/\square$ (compreso il contributo dello strato 126 di Tantalio in parallelo), non è facilmente ossidabile ed è facilmente asportabile, se necessario.

Nel passo 252 viene asportato lo strato superiore 151 di fotoresist, ed eventualmente lo strato ulteriore 151', come è illustrato nella Fig. 24.

Nel passo 253 viene applicato uno strato strutturale 155 sulla faccia superiore 170 del die 161, come illustrato nella Fig. 25, per mezzo di una centrifuga, con un processo noto denominato "spinner coating". Lo strato strutturale 155 ha spessore preferibilmente compreso tra $25 \text{ e } 60 \text{ }\mu\text{m}$, ed è composto di fotoresist negativo di tipo epossidico (ad esempio EPON SU-8 della Micro Chemical Corporation) o polyimidico (ad esempio Probimide 7020 della Olin Hunt).

Nel passo 254, illustrato con l'ausilio della Fig. 26, lo strato strutturale 155 viene sottoposto ad un "prebake" a 100 °C, e successivamente ad un'esposizione con una sedicesima maschera che copre le aree 156a, corrispondenti ai futuri ugelli 156, le aree 177a, che contengono i pad 177, e le testate 181 dei die 161. La stessa maschera lascia invece scoperta l'area 175a.

Nel passo 255, illustrato con l'ausilio della Fig. 27, viene effettuato lo sviluppo dell'area 175a, durante il quale vengono aperti gli ugelli 156, aventi diametro preferibilmente compreso tra 15 e 30 μm , e vengono liberate dal fotoresist le aree 177a e le testate 181. In tal modo, dello strato strutturale 155 rimane solamente la struttura 175. Nella Fig. 27 viene evidenziata ed ingrandita una sezione CC della struttura 175, della lamina 164 e della scanalatura 145, come risulta a questo stadio della lavorazione.

Con questa operazione gli ugelli 156 possono, con grande precisione, essere allineati rispetto ai resistori 127 e risultare paralleli all'asse z. Tale precisione viene mantenuta anche durante le successive operazioni.

Inoltre, l'adesione tra la struttura 175 e lo strato 130 di SiC è assicurata da un legame chimico molto forte, difficilmente deteriorabile nel tempo e a contatto con l'inchiostro.

A questo proposito si ricorda che la tecnologia dell'arte nota prevede la saldatura della piastrina ugelli 61 sullo strato di fotopolimero 60, con conseguenti difficoltà di allineamento e con il rischio di deformazione della piastrina 61 a causa del riscaldamento e della

pressione applicati durante la saldatura stessa. Inoltre la tecnologia nota presenta almeno due interfacce di saldatura che risultano maggiormente permeabili all'inchiostro, poiché sono effettuate tra materiali aventi diversi coefficienti di dilatazione termica e saldabili tra loro con difficoltà.

La struttura 175 viene disegnata in modo da presentare la minor ricopertura possibile sui singoli die 161, allo scopo di ridurre la tensione meccanica e l'inarcamento del "wafer" 160 dopo la polimerizzazione completa, descritta nel passo seguente. Inoltre la struttura 175 deve aderire, su entrambi i lati, ad una zona dove il die 161 presenti uno spessore sufficiente ad assicurare la necessaria robustezza meccanica all'insieme, e quindi deve sporgere oltre i lati della lamina 164 per un intervallo J, che in pratica può assumere un valore, ad esempio, di 500 μm .

La struttura 175 presenta perciò una larghezza K pari a

$$K = F + 2 J$$

dove F è la larghezza della lamina 164, già definita con l'ausilio di Fig. 17.

Nel passo 256 viene effettuato lo "hard bake" della struttura 175 allo scopo di ottenerne la completa polimerizzazione.

Si utilizza una temperatura, ad esempio, di 200 °C, se la struttura 175 è composta di EPON, oppure di 300 + 400 °C in azoto, se la struttura è composta di Probimide, che viene trasformata in Polymide.

Con questa operazione la struttura 175 acquista un'elevata durezza insieme con una grande resistenza meccanica e chimica.

Carlo Casuccio

Inoltre diventa impermeabile all'inchiostro, evitando un successivo fenomeno di rigonfiamento, detto "swelling" dagli esperti nell'arte.

Al termine dello "hard bake" si procede ad un raffreddamento molto lento.

Nel passo 257 viene infine effettuata la pulizia della struttura 175 e degli ugelli 156 per mezzo di un "plasma etching" in una miscela di Ossigeno e CF_4 , che brucia i residui organici e prepara chimicamente il Rame dello strato sacrificale 154, allo scopo di favorire l'operazione descritta nel passo seguente.

Nel passo 260 viene asportato lo strato sacrificale 154 con un attacco chimico effettuato per mezzo di un bagno commerciale già formulato, come ad esempio una soluzione di HCl e di HNO_3 , il cui ricambio è favorito dai canali 167 e dagli ugelli 156, ed eventualmente da una agitazione a ultrasuoni o da un getto a spruzzo. Al termine di questa operazione si ottengono i condotti 153 e la camera 157, la forma dei quali ricalca esattamente lo strato sacrificale 154, come si vede nella Fig. 28.

Durante l'asportazione dello strato sacrificale 154 il "wafer" 160 è protetto in parte dalla struttura 175, e, dove questa non esiste, dallo strato di protezione 130 di Si_3N_4 e di SiC .

Nel passo 261 viene effettuata l'incisione dello strato 130 di Si_3N_4 e di SiC in corrispondenza dei pad di saldatura 177, affinché questi ultimi possano essere successivamente saldati ai finger 123 per mezzo della tecnologia nota come TAB. Per incidere selettivamente lo strato 130 sarebbe necessaria una maschera specifica, ma viene qui

illustrata, in modo non limitativo, una tecnica più semplice, che consiste nell'utilizzo dello strato 126 di Tantalio ricoperto dallo strato 172 di Oro con funzione di maschera. A tale scopo, per mezzo della dodicesima maschera utilizzata nel passo 232, allo strato anticavitazione 126 viene attribuita la forma indicata dall'area puntinata in Fig. 29, che lascia scoperti i pad 177.

Lo strato 126 è suddiviso nei segmenti 124, ognuno dei quali deve avere dimensioni tali da ricoprire con certezza l'intero fondo di una corrispondente camera 157, ma deve sporgere il meno possibile all'esterno della camera, allo scopo di lasciare la massima area disponibile per l'adesione tra la struttura 175 ed il sottostante strato 130 di SiC: in pratica ogni segmento 124 si estende oltre il bordo della corrispondente camera 157 per alcuni micrometri, sufficienti a compensare le tolleranze di fabbricazione.

Nel passo 262 vengono infine eseguite le operazioni seguenti, note a chi è esperto nel settore:

- taglio del "wafer" 160 nei singoli die 161;
- saldatura del flat cable 117 sul die 161 mediante il processo TAB, allo scopo di formare un sottogruppo;
- montaggio di detto sottogruppo sul contenitore della testina;
- riempimento dell'inchiostro 142;
- testing della testina 40 finita.

2^a forma di esecuzione - Questa forma di esecuzione viene descritta con l'ausilio del diagramma di flusso di Fig. 30 e delle Figg. 31, 32, 33 e 34. Dopo aver eseguito il passo 252, già descritto e

illustrato nel diagramma di flusso di Fig. 14, il processo continua al passo 270, nel quale viene steso sulla faccia superiore 170 del die 161 un fotoresist complementare di tipo positivo, avente spessore preferibilmente compreso tra 25 e 60 μm .

Nel passo 271 si eseguono nell'ordine una esposizione per mezzo di una diciassettesima maschera, complementare alla sedicesima, uno sviluppo ed un "soft bake" a 80°C del fotoresist complementare. Al termine di queste operazioni, come si vede nella assonometria sezionata di Fig. 31, si ottiene una cornice 173 che copre le aree dei pad di saldatura 177 e le testate 181 dei die 161 contigui, e che racchiude i vani 174. In figura sono visibili le scanalature 145 e gli strati sacrificali 154, che in questa fase della lavorazione risultano scoperti.

Nel passo 272 viene deposta, nei vani 174, una resina trasparente semiflessibile, ad esempio epossidica, del tipo Stycast prodotta dalla Emerson Cuning, o polimidica, del tipo EPO-TEK 600 prodotta dalla Epoxy. Per questa operazione si può usare ad esempio un dosatore volumetrico multiplo, oppure un processo di serigrafia con pompa reometrica, come ad esempio la Rheometric Pump Print Head della MPM, oppure un processo di estrusione per mezzo, ad esempio, dell'Extrusion Coater modello FAS-COAT della FAS Technology Corp., in modo che i vani 174 vengano riempiti fino al piano superiore della cornice 173.

Nel passo 273 viene effettuata una prepolimerizzazione termica della resina semiflessibile epossidica o polimidica che riempie i vani

174, ad una temperatura ≤ 80 °C per non indurire eccessivamente il fotoresist che costituisce la cornice 173.

Nel passo 274 viene asportata la cornice 173 per mezzo di un solvente relativo al fotoresist prescelto, con un processo noto di "lift off". Rimane invece inalterata la resina semiflessibile che riempie i vani 174; si ottengono in tal modo le strutture in resina 178 visibili in Fig. 32. Nella Fig. 33 viene ingrandita una sezione DD corrispondente alla lamina 164, come risulta al termine di questo passo.

Nel passo 275 viene effettuata una polimerizzazione completa della resina semiflessibile che costituisce le strutture 175.

Nel passo 276 (Fig. 34) viene effettuata una foratura per mezzo di un laser a eccimeri per ricavare, attraverso una diciottesima maschera, gli ugelli 156. La foratura si blocca spontaneamente quando raggiunge lo strato sacrificale 154 di Rame.

Nel passo 277 viene effettuata una pulitura degli ugelli 156 in plasma di Ossigeno + CF_4 , come già descritto, durante la quale vengono eliminati gli sfridi lasciati dalla foratura laser, sia sul bordo di entrata degli ugelli, sia sulle superfici degli strati sacrificali 154. Durante la stessa operazione viene anche effettuata la pulitura delle aree 176 rimaste scoperte dopo il lift off della cornice 173.

Al termine di questa operazione la sezione corrispondente alla lamina 164 si presenta come illustrato in Fig. 34, con lo strato sacrificale 154 ispezionabile poiché la struttura in resina 178 è trasparente.

Con una opportuna focalizzazione del fascio laser è possibile realizzare l'ugello 156 con forma cilindrica oppure tronco-conica avente la base maggiore in contatto con lo strato sacrificale 154.

Le operazioni proseguono secondo il diagramma di flusso di Fig. 14, con la asportazione dello strato sacrificale 154 (passo 260).

3^a forma di esecuzione - Questa forma di esecuzione viene descritta con l'ausilio del diagramma di flusso di Fig. 35 e della Fig. 36.

Dopo aver eseguito il passo 246, già descritto e illustrato nel diagramma di flusso di Fig. 14, il processo continua al passo 280, nel quale viene steso un fotoresist negativo, ad esempio Waycoat SC 900 (Olin Hunt), oppure un fotoresist positivo, ad esempio di tipo PMMA, avente spessore preferibilmente compreso tra 3 e 4 μm , sullo strato 130 di SiC, verso il quale presenta una forte adesione.

Nel passo 281 viene preparata una piastra eiettori 141 costituita da un foglio di "kapton" avente spessore preferibilmente di 50 μm e dotato di eiettori 158, che includono le funzioni che, nella forma preferita, erano svolte dalle camere 157, dai condotti 153 e ugelli 156. La piastra eiettori 141 può presentare uno strato di "inorganic adhesion promoter", costituito ad esempio da SiC di spessore preferibilmente compreso tra 200 e 800 Å, oppure uno strato di adesivo dello spessore preferibilmente compreso tra 5 e 15 μm , sulla faccia che verrà incollata al fotoresist depositato sullo strato 130, allo scopo di migliorare l'adesione.

Nel passo 282, per mezzo di una diciannovesima maschera, viene effettuata l'esposizione del fotoresist negativo. Successivamente

viene effettuato lo sviluppo, al termine del quale rimangono coperte da fotoresist solamente le aree dove verrà incollata la piastra ugelli. Rimangono invece scoperti i resistori 127, i canali 167 e i pad di saldatura 177.

Nel passo 283 la piastra eiettori 141 viene allineata e saldata al fotoresist depositato sullo strato 130, ottenendo il gruppo attuatore 81' visibile in sezione nella Fig. 36.

Con questo metodo la piastra eiettori 141 rimane incollata su una superficie piana, e conseguentemente l'asse dei dingoli ugelli rimane perpendicolare alla faccia superiore 170 del die 161. A questo proposito si ricorda che nell'arte nota, a causa della discontinuità del piano di appoggio, al termine dell'operazione di incollaggio gli assi degli ugelli risultano non perpendicolari a detta faccia 170.

In breve, fermo restando il principio della presente invenzione, i particolari realizzativi e le forme di attuazione potranno essere ampiamente variati rispetto a quanto descritto ed illustrato, senza per questo uscire dall'ambito dell'invenzione stessa.

Carlo Casuccio.

RIVENDICAZIONI

1. Testina di stampa termica (40) a getto di inchiostro per l'emissione di gocce di inchiostro su un supporto di stampa (46) attraverso una pluralità di ugelli (156), comprendente un serbatoio d'inchiostro (142) e un gruppo attuatore (81) provvisto di un die (161) con una faccia superiore (170) ed una faccia inferiore (171), detto die (161) comprendendo a sua volta un substrato (140),

caratterizzata dal fatto che detto die (161) ha una costruzione monolitica comprendente:

- una scanalatura (145) fluidicamente in comunicazione con detto inchiostro (142) e ricavata in detto substrato (140) in corrispondenza di detta faccia inferiore (171);
- una pluralità di canali (167) fluidicamente in comunicazione con detta scanalatura (145);
- una pluralità di resistori (127).

2. Testina di stampa secondo la rivendicazione 1, **caratterizzata dal fatto che** detto die (161) comprende una lamina (164), ricavata monoliticamente su detto die (161), posta in contatto con detta scanalatura (145) e comprendente a sua volta detti canali (167) e detti resistori (127).

3. Testina di stampa secondo la rivendicazione 2, **caratterizzata dal fatto che** detta lamina (164) è composta di strati di materiale inorganico.

4. Testina di stampa secondo la rivendicazione 2, **caratterizzata dal fatto che** detta lamina (164) ha spessore compreso tra 1 e 50 μm .

5. Testina di stampa secondo la rivendicazione 2, **caratterizzata dal fatto che** detti canali (167) hanno diametro compreso tra 5 e 12 μm .
6. Testina di stampa secondo la rivendicazione 2, **caratterizzata dal fatto che** detta lamina (164) comprende uno strato 134 di Silicio policristallino in contatto termico con almeno uno di detti resistori (127).
7. Testina di stampa secondo la rivendicazione 1, **caratterizzata dal fatto che** detta lamina (164) comprende uno strato N-well (136).
8. Testina di stampa secondo la rivendicazione 1, **caratterizzata dal fatto che** detto gruppo attuatore (81) comprende una struttura (175) composta di fotoresist, comprendente a sua volta:
 - detta pluralità di ugelli (156);
 - una pluralità di camere (157), ciascuna in contatto termico con ognuno di detti resistori (127) e fluidicamente in comunicazione con almeno uno di detti canali (167) e con almeno uno di detti ugelli (156).
9. Testina di stampa secondo la rivendicazione 8, **caratterizzata dal fatto che** detta struttura (175) è composta di fotoresist negativo epossidico.
10. Testina di stampa secondo la rivendicazione 8, **caratterizzata dal fatto che** detta struttura (175) ha una larghezza K, che detta lamina (164) ha una larghezza F, e che il valore della differenza K - F è compreso tra 1 e 10 μm .

Carlo Casuccio

11. Testina di stampa secondo la rivendicazione 1, **caratterizzata dal fatto che** detto gruppo attuatore (81) comprende una struttura in resina (178), comprendente a sua volta:

- detta pluralità di ugelli (156);
- una pluralità di camere (157), ciascuna in contatto termico con ognuno di detti resistori (127) e fluidicamente in comunicazione con almeno uno di detti canali (167) e con almeno uno di detti ugelli (156).

12. Testina di stampa secondo la rivendicazione 11, **caratterizzata dal fatto che** detta struttura in resina (178) è composta di resina epossidica.

13. Testina di stampa secondo la rivendicazione 11, **caratterizzata dal fatto che** detta struttura in resina (178) è costituita di resina trasparente.

14. Testina di stampa secondo la rivendicazione 11, **caratterizzata dal fatto che** detta struttura in resina (178) è costituita di resina semiflessibile.

15. Testina di stampa secondo la rivendicazione 1, **caratterizzata dal fatto che** detto gruppo attuatore (81) comprende una piastra eiettori (141), comprendente a sua volta:

- una pluralità di eiettori (158), ciascuno fluidicamente in comunicazione con almeno uno di detti canali (167) e termicamente in contatto con ognuno di detti resistori (127).

16. Testina di stampa secondo la rivendicazione 15, **caratterizzata dal fatto che** detta piastra eiettori (141) è costituita di "kapton".

Carlo Casuccio

17. Processo per la fabbricazione di un gruppo attuatore (81) per testina di stampa termica (40) a getto di inchiostro, comprendente la fase di:

- disporre di un "wafer" (160) contenente una pluralità di die (161), ciascuno dei quali contiene un substrato (140), almeno una microelettronica (162), una pluralità di resistori (127), una pluralità di pad di saldatura (177), uno strato anticavitazione (126), ed uno strato di protezione (130), detti die (161) avendo una faccia superiore (170) ed una faccia inferiore (171),

caratterizzato dal fatto che comprende inoltre le fasi di:

- (243, 244) eseguire una scanalatura (145) in detto substrato (140) su detta faccia inferiore (171) di ciascuno di detti die (161);
- (245) stendere uno strato di mascheratura (147) di fotoresist su detta faccia superiore (170) di ciascuno di detti die (161) e ricavare, mediante operazioni di esposizione e sviluppo, una pluralità di finestre (150);
- (246) eseguire una foratura di canali (167) attraverso ciascuna di dette finestre (150) ed asportare detto strato di mascheratura (147) di fotoresist;
- (247) stendere uno strato di fotoresist superiore (151) su detta faccia superiore (170) di ciascuno di detti die (161), e ricavare, mediante operazioni di esposizione e sviluppo, una pluralità di finestre superiori (152), ciascuna di dette finestre superiori (152) essendo in corrispondenza di ciascuno di detti resistori (127) ed

- avendo forma tale da ricoprire il corrispondente resistore (127) ed almeno uno di detti canali (167);
- (251) depositare una pluralità di strati sacrificali (154) all'interno di ciascuna di dette finestre superiori (152);
 - (252) asportare detto strato superiore (151) di fotoresist;
 - (253) stendere uno strato strutturale (155) sopra detta faccia superiore (170) di ciascuno di detti die (161) e sopra detti strati sacrificali (154);
 - (255) ricavare una pluralità di ugelli (156) su detto strato strutturale (155), ciascuno di detti strati sacrificali (154) essendo in corrispondenza con almeno uno di detti ugelli (156);
 - (260) asportare detto strato sacrificale (154);
 - (261) incidere detto strato di protezione (130) in corrispondenza di detti pad di saldatura (177),

per cui le suddette fasi risultano compatibili con le fasi di fabbricazione di detta microelettronica (162).

18. Processo secondo la rivendicazione 17, **caratterizzato dal fatto** che detta scanalatura (145) è ricavata mediante una fase di dry etching ed una fase di wet etching.

19. Processo secondo la rivendicazione 17, **caratterizzato dal fatto** che detto strato strutturale (155) è costituito da fotoresist di tipo epossidico o polyimidico.

20. Processo secondo la rivendicazione 17, **caratterizzato dal fatto** che detta fase di (261) incidere detto strato di protezione (130) in

Carlo Casuccio

corrispondenza di detti pad di saldatura (177) viene effettuata utilizzando come maschera detto strato anticavitazione (126).

21. Processo secondo la rivendicazione 17, caratterizzato dal fatto che detta fase di:

- (251) depositare una pluralità di strati sacrificali (154) all'interno di ciascuna di dette finestre superiori (152);

è seguita almeno una volta da ulteriori fasi di:

- (247') stendere un ulteriore strato di fotoresist (151') su detto strato superiore (151) e su detti strati sacrificali (154), e ricavare, mediante operazioni di esposizione e sviluppo, una pluralità di ulteriori finestre (152'), ciascuna di dette ulteriori finestre (152') essendo sovrapposta almeno in parte con ciascuno di detti strati sacrificali (154);
- (251') depositare una ulteriore pluralità di strati sacrificali (154') all'interno di ciascuna di dette ulteriori finestre (152').

22. Processo secondo la rivendicazione 17, caratterizzato dal fatto che detti ugelli (156) sono ricavati mediante fotolitografia.

23. Processo secondo la rivendicazione 17, caratterizzato dal fatto che detto strato sacrificale (154) è composto di metallo.

24. Processo secondo la rivendicazione 23, caratterizzato dal fatto che detto strato sacrificale (154) è composto di Rame, o di Nichel o di Oro.

25. Processo secondo la rivendicazione 17, caratterizzato dal fatto che le fasi di:

Carlo Casuccio

- (253) stendere uno strato strutturale (155) sopra detta faccia superiore (170) di ciascuno di detti die (161) e sopra detti strati sacrificali (154);
- (255) ricavare una pluralità di ugelli (156) su detto strato strutturale (155), ciascuno di detti strati sacrificali (154) essendo in corrispondenza con almeno uno di detti ugelli (156);

sono sostituite dalle fasi di:

- (270, 271) stendere ed incidere una cornice complementare (173) sopra detta faccia superiore (170) di ciascuno di detti die (161), detta cornice complementare (173) avendo una forma tale che detti strati sacrificali (154) rimangano scoperti;
- (272, 273) stendere e prepolimerizzare una resina sopra detta faccia superiore (170) di ciascuno di detti die (161) e sopra detti strati sacrificali (154), nei vani (174) lasciati scoperti da detta cornice complementare (173);
- (274) asportare detta cornice complementare (173);
- (275) realizzare delle strutture in resina (178) per mezzo della polimerizzazione di detta resina;
- (276) realizzare una pluralità di ugelli (156) su ciascuna di dette strutture in resina (178) per mezzo di una foratura laser, ciascuno di detti strati sacrificali (154) essendo in corrispondenza con almeno uno di detti ugelli (156);

26. Processo secondo la rivendicazione 25, **caratterizzato dal fatto che** detta cornice complementare (173) viene asportata per mezzo di una operazione di "lift off".

Carlo Casuccio

27. Processo per la fabbricazione di un gruppo attuatore (81) per testina di stampa termica (40) a getto di inchiostro, comprendente la fase di:

- disporre di un "wafer" (160) contenente una pluralità di die (161), ciascuno dei quali contiene almeno una microelettronica (162) ed un substrato (140), detti die (161) avendo una faccia superiore (170) ed una faccia inferiore (171),

caratterizzato dal fatto che comprende inoltre le fasi di:

- (243, 244) eseguire una scanalatura (145) in detto substrato (140) su detta faccia inferiore (171) di ciascuno di detti die (161);
- (245) stendere uno strato di mascheratura (147) di fotoresist su detta faccia superiore (170) di ciascuno di detti die (161) e ricavare, mediante operazioni di esposizione e sviluppo, una pluralità di finestre (150);
- (280) stendere uno strato di fotoresist negativo sopra detta faccia superiore (170);
- (281) preparare una piastra eiettori (141) contenente una pluralità di eiettori (158);
- (282) esporre e sviluppare detto strato di fotoresist negativo;
- (283) saldare detta piastra eiettori (141) a detto strato di fotoresist negativo.

28. Processo secondo la rivendicazione 27, **caratterizzato dal fatto** che detta piastra eiettori (141) viene saldata su una superficie piana.

p. i. Olivetti Lexikon S.p.A.
(Carlo Casuccio)



Carlo Casuccio

FO 99A 0006 10

Fig. 1

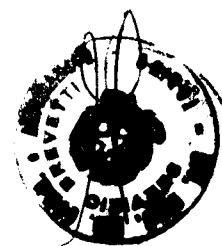
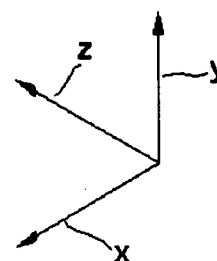
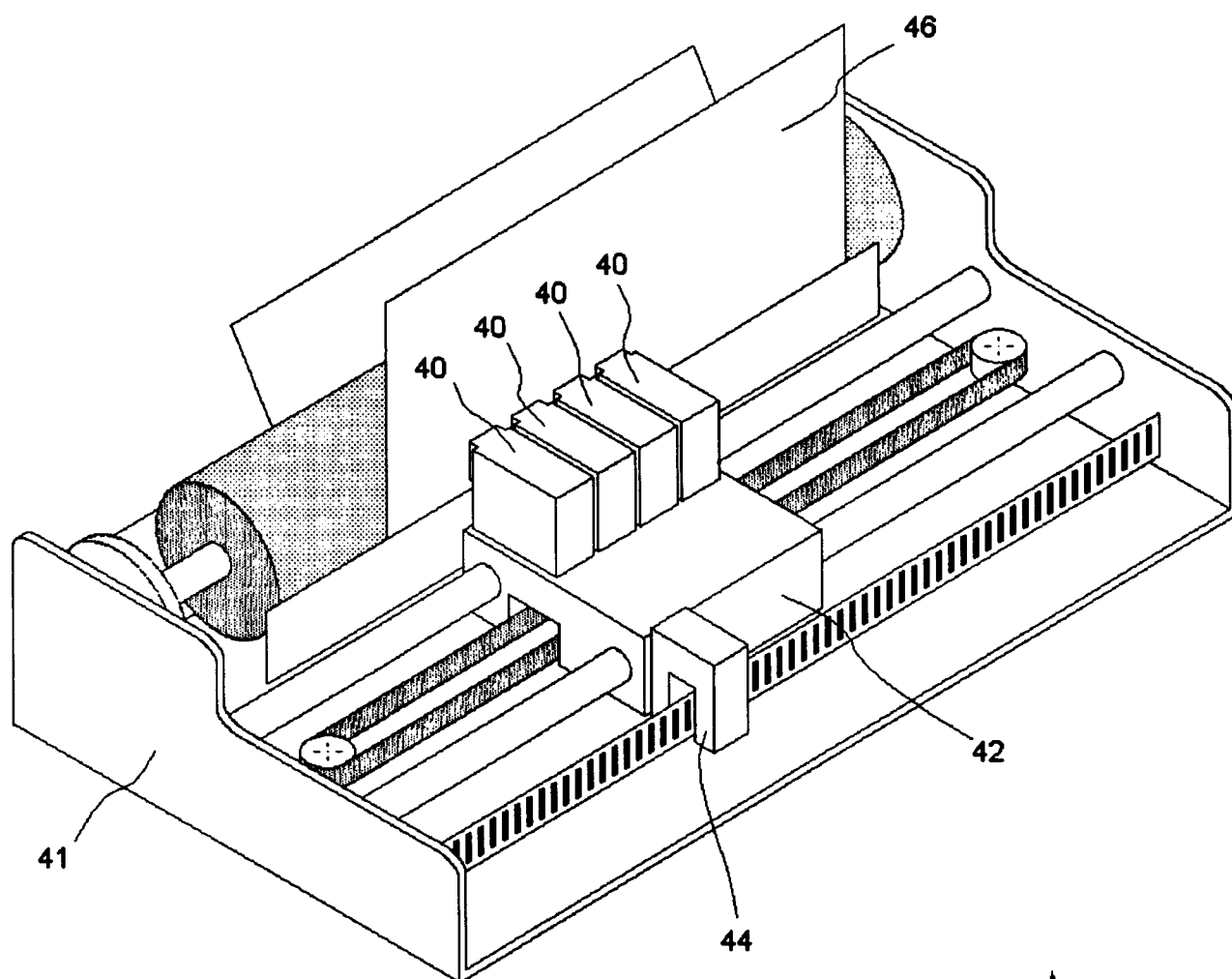


Fig. 2

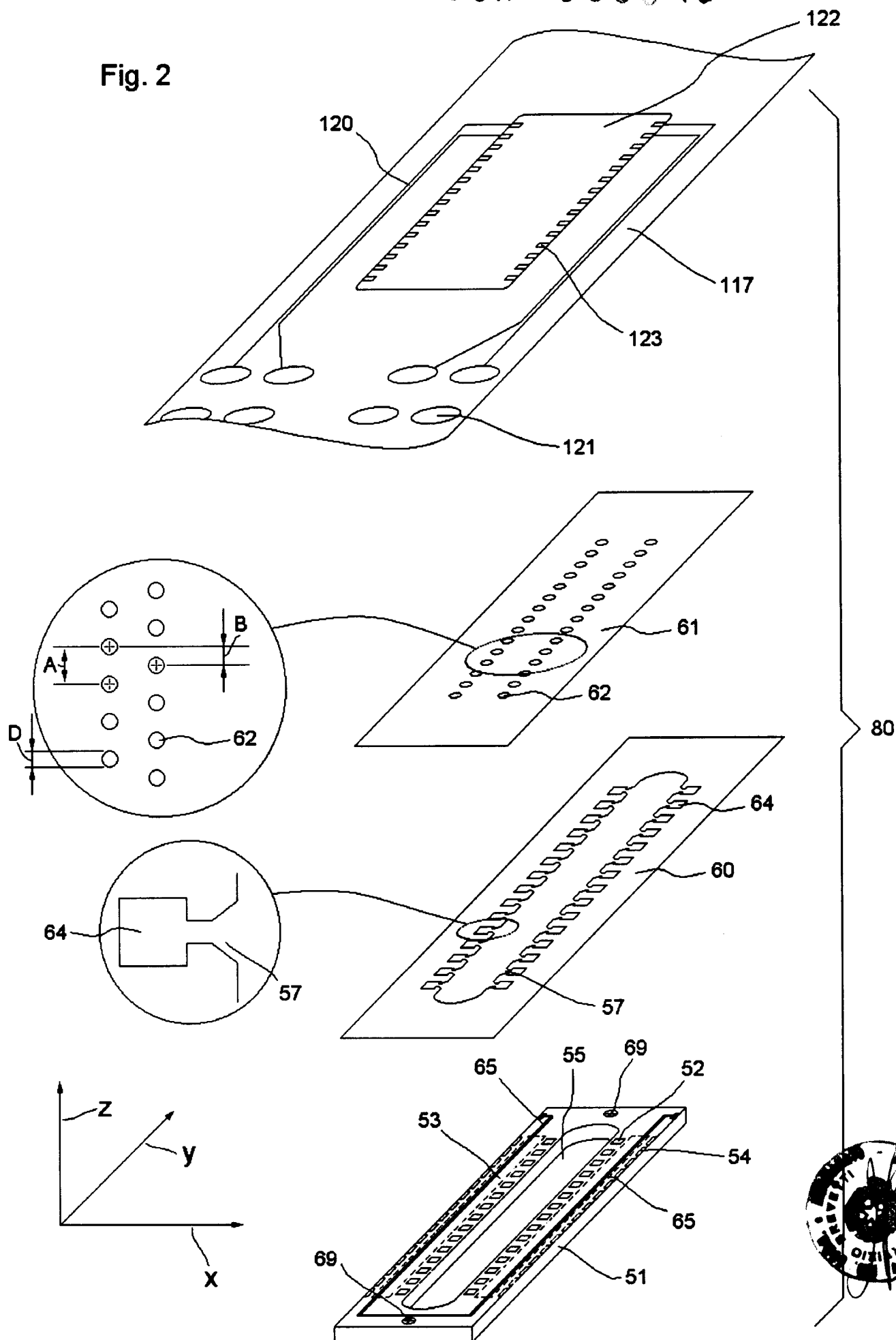


Fig. 3

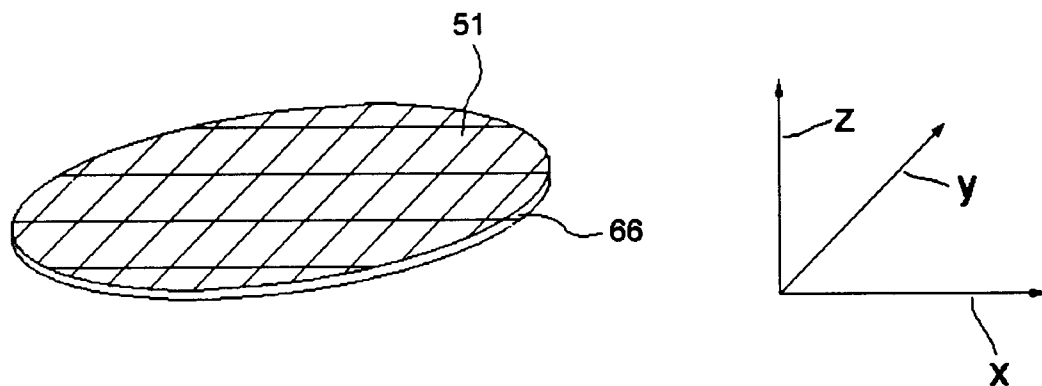


Fig. 5

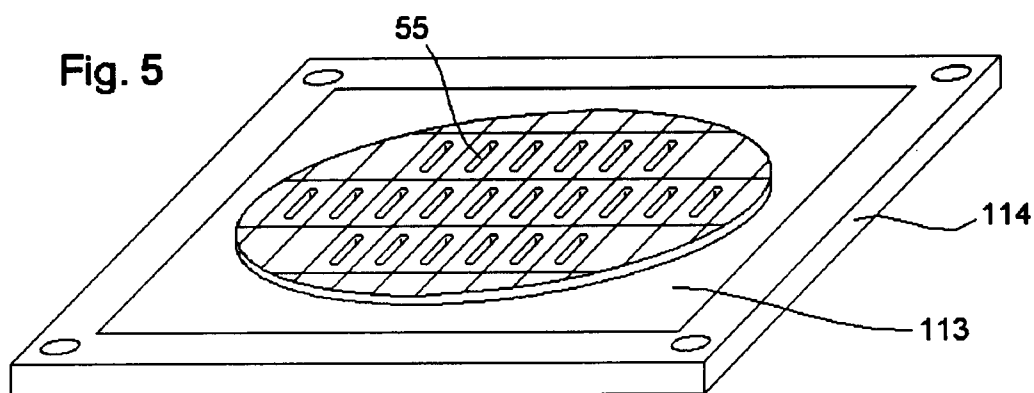


Fig. 6

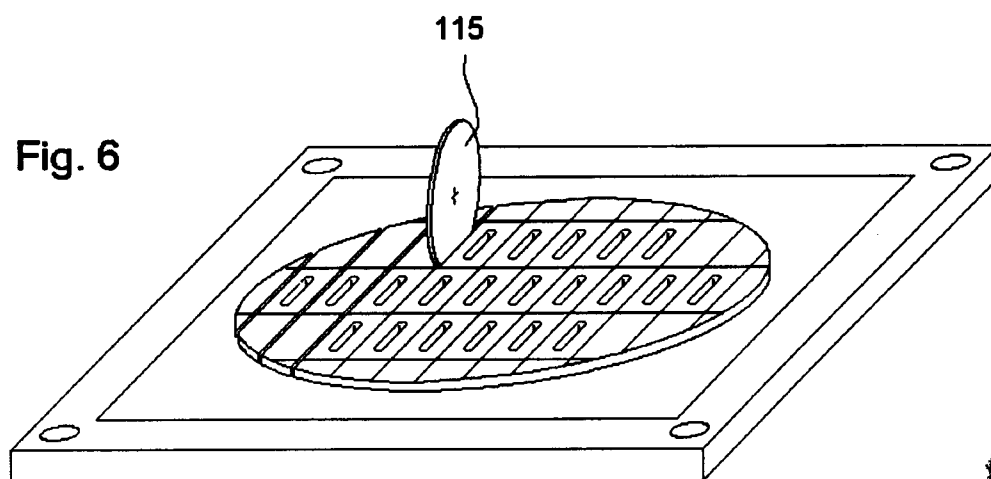


Fig. 4

T O 99A 0006 10

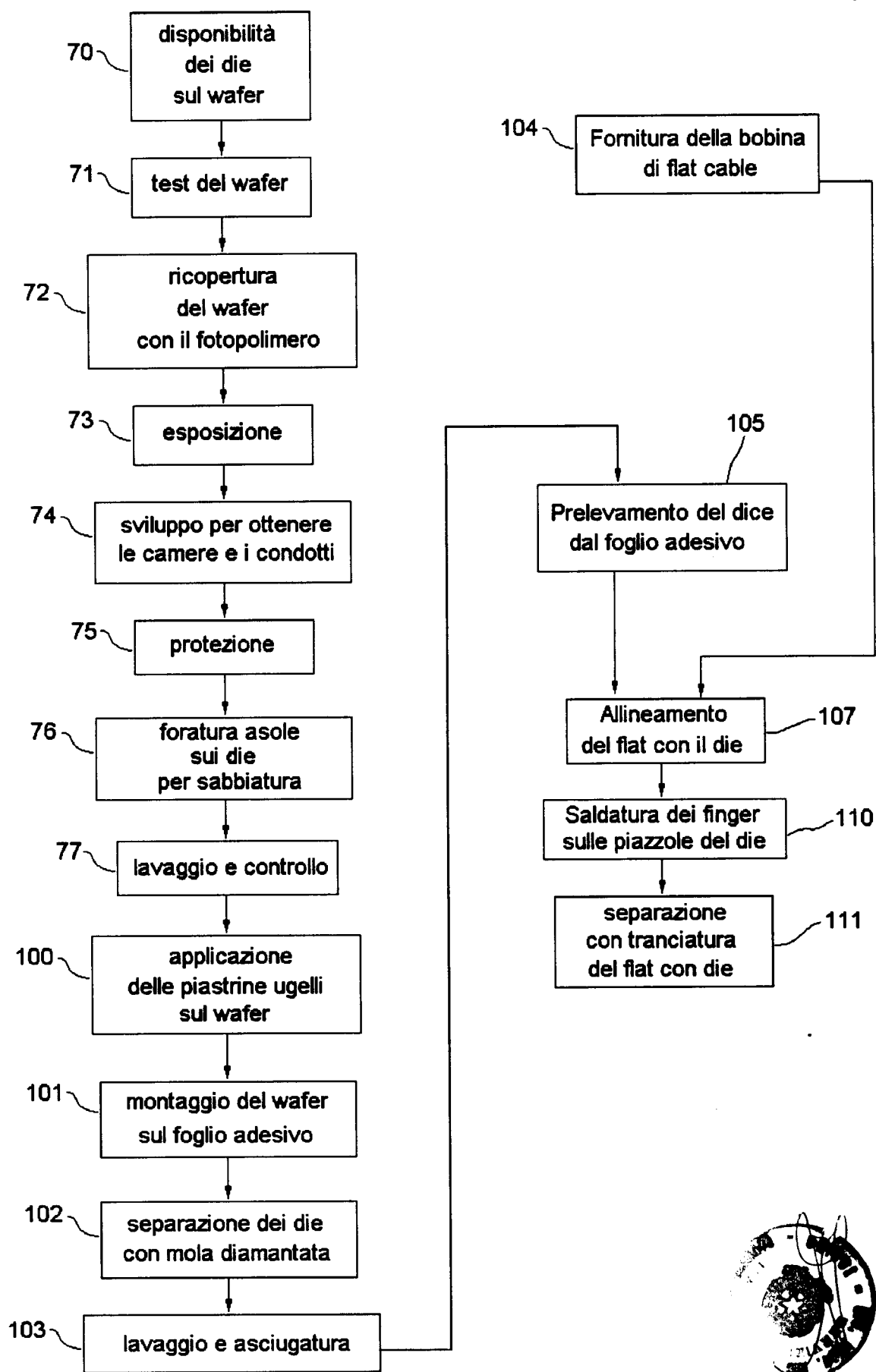


Fig. 7

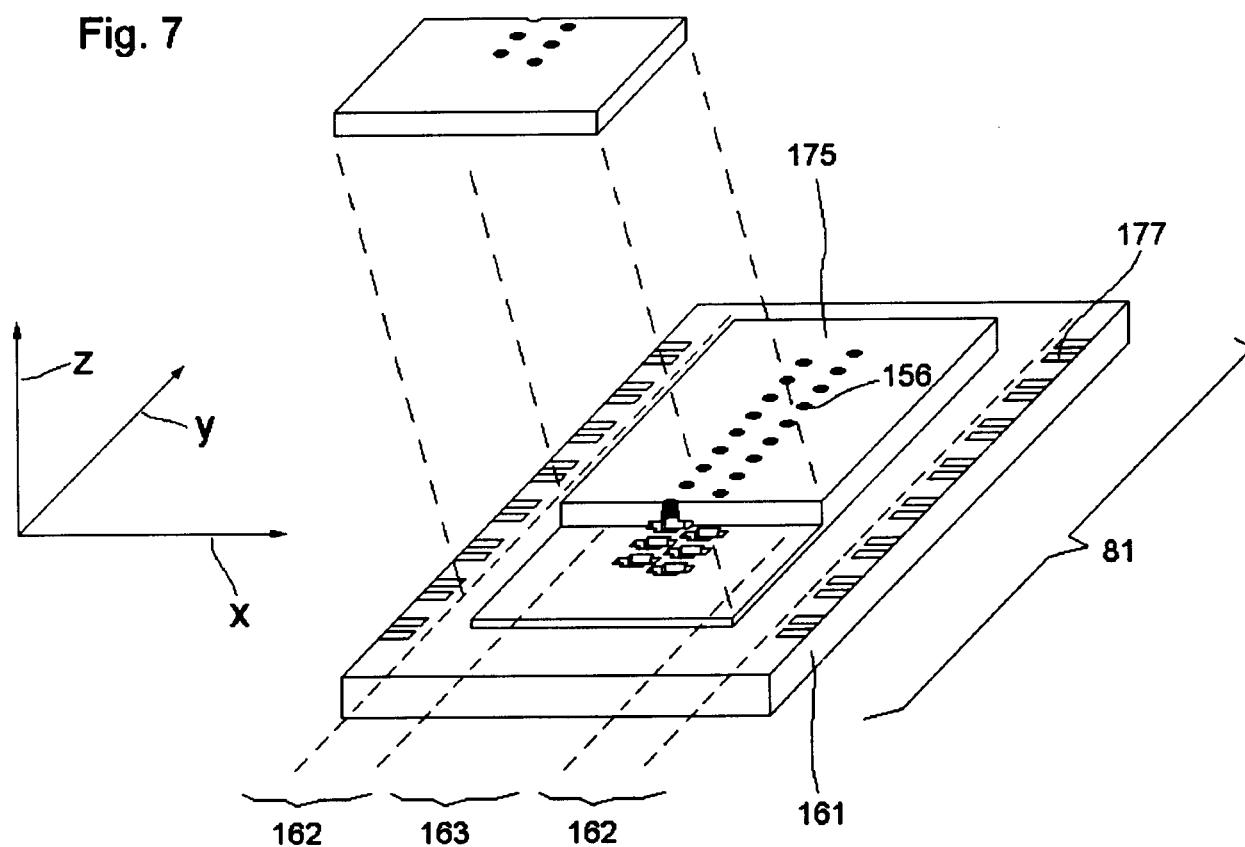
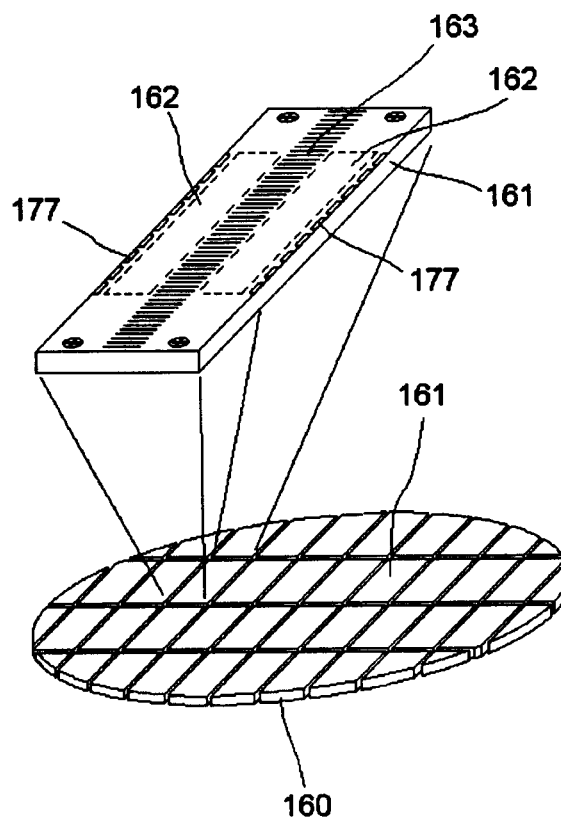


Fig. 8



10 0006 10

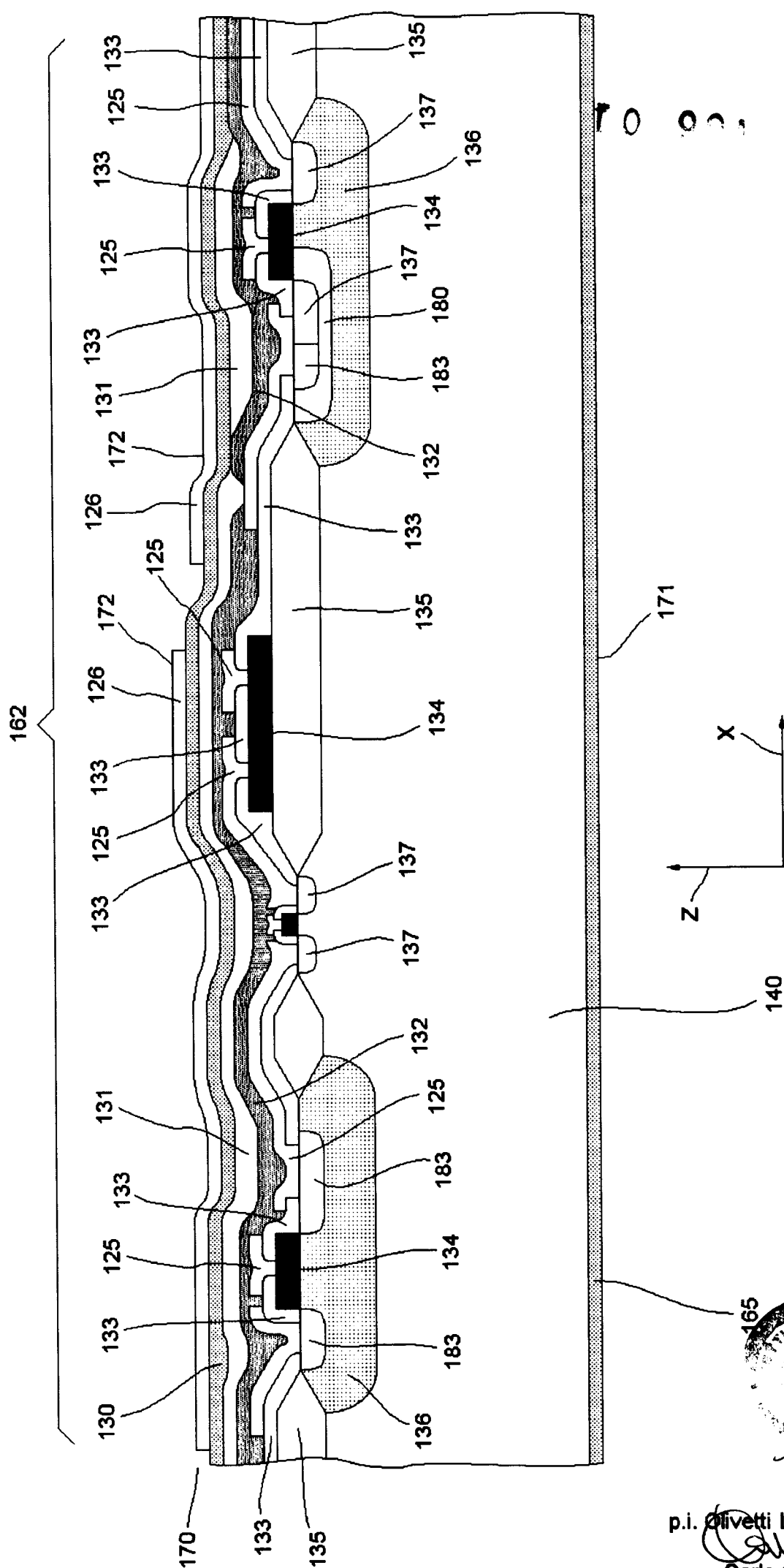


Fig. 9



Fig. 10 a

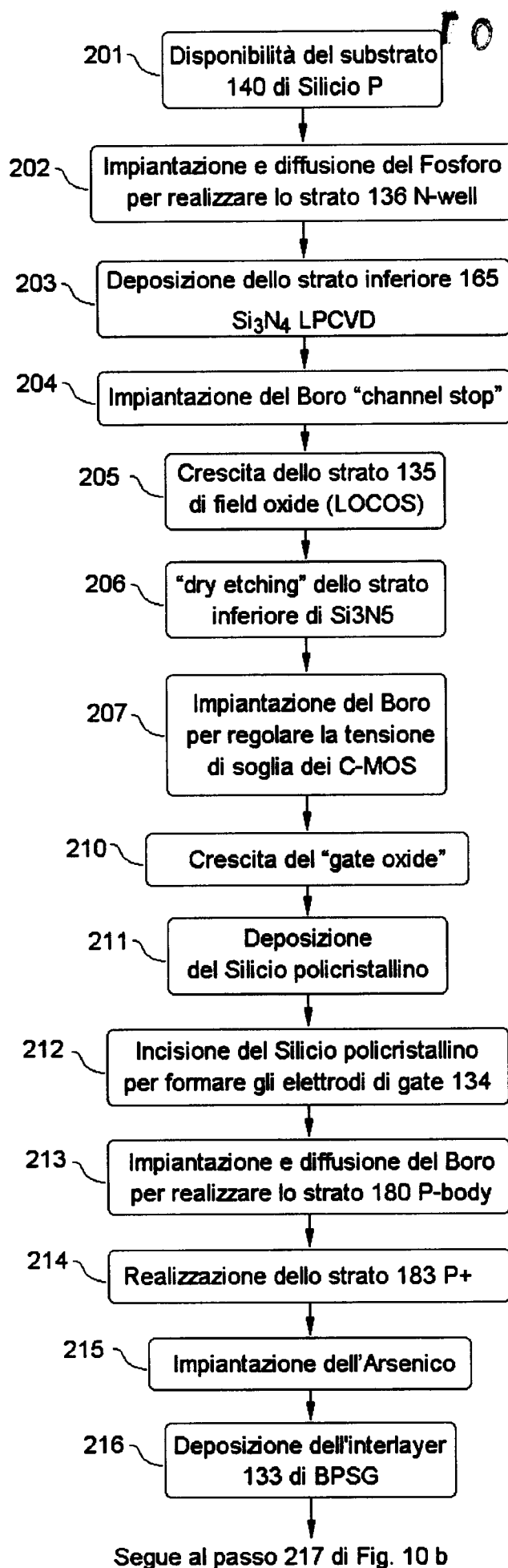


Fig. 10

10 a

10 b

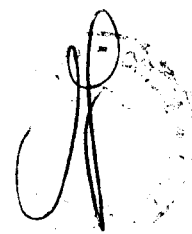
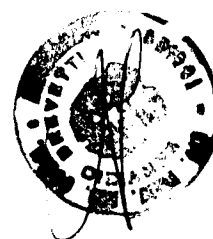
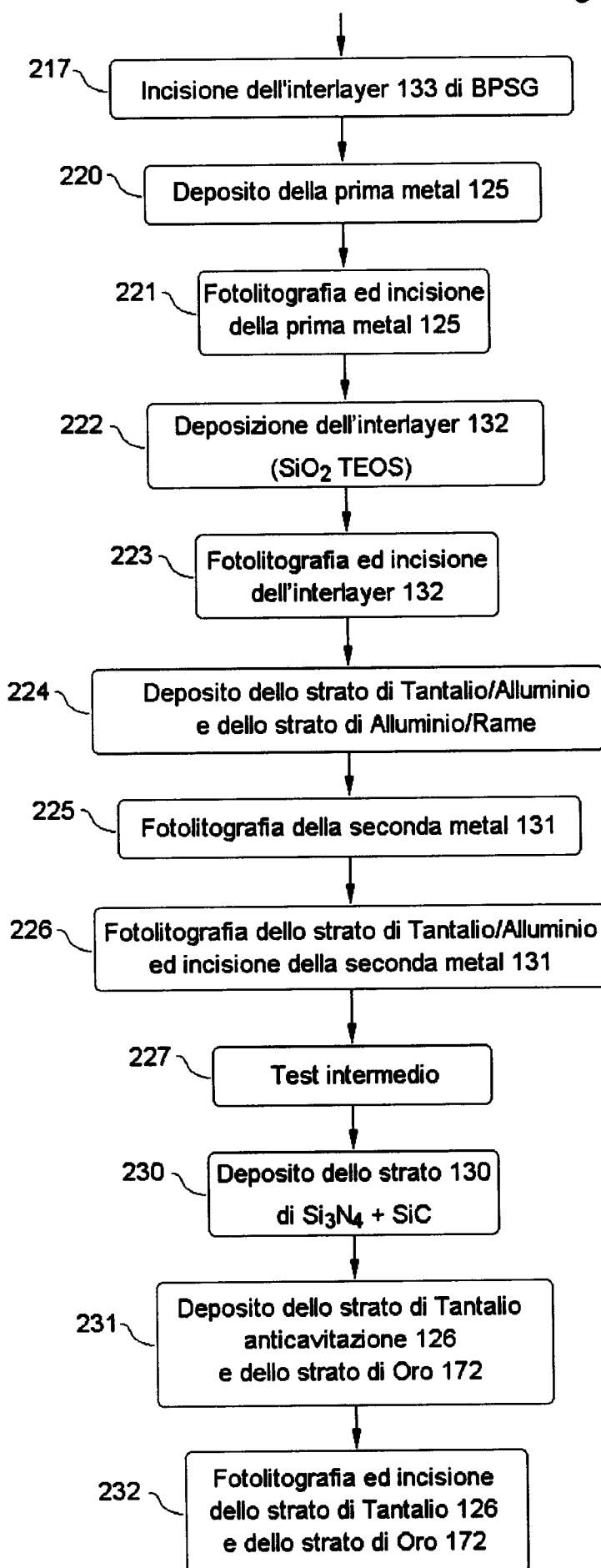


Fig. 10 b

Segue dal passo 216 di Fig. 10 a

T O 99A 0006 10



p.i. Olivetti Lexikon S.p.A.

Carlo Casuccio

Fig. 11

TO 99A 0006 10

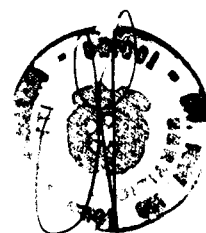
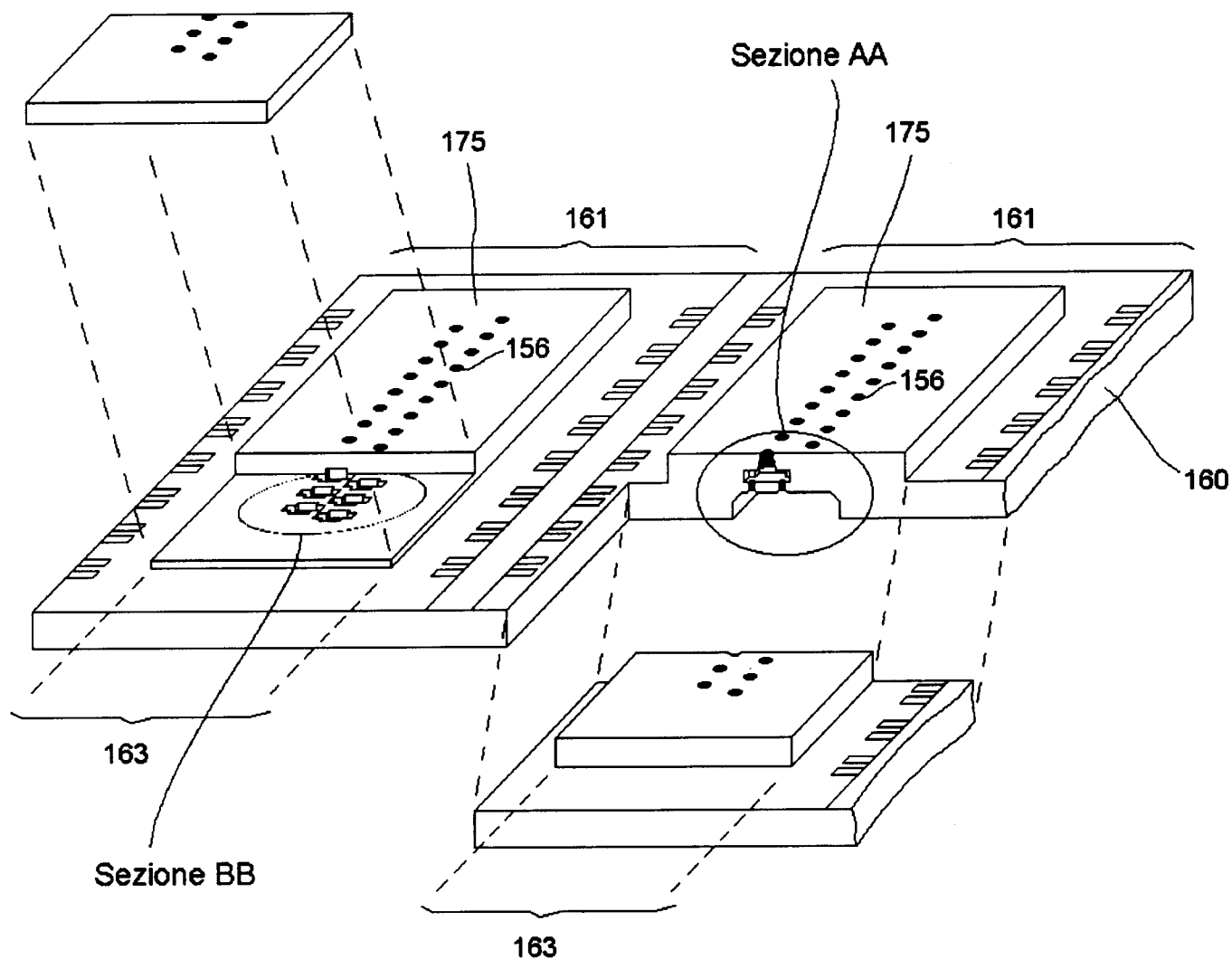
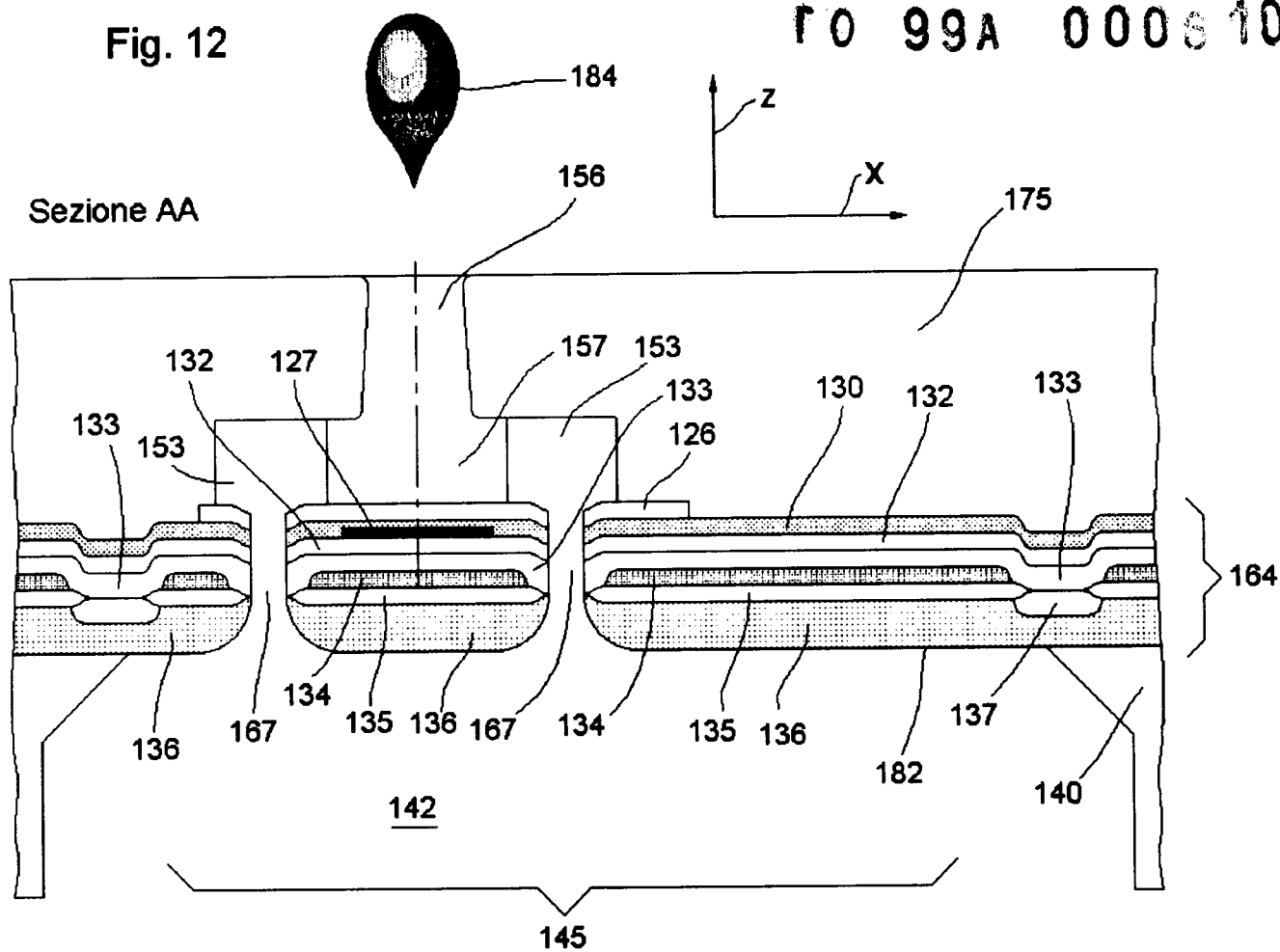


Fig. 12



sezione BB

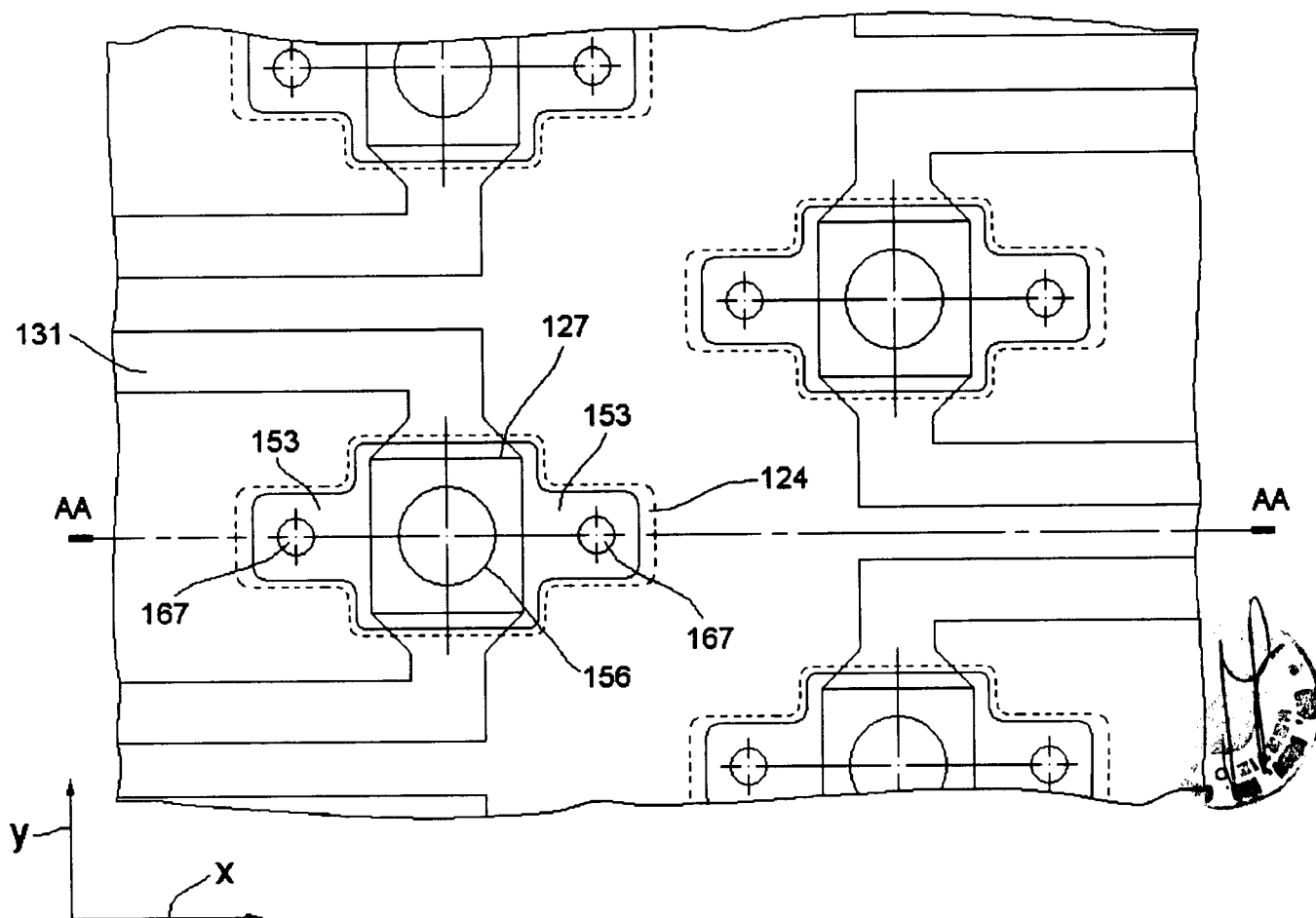
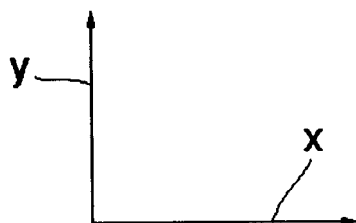
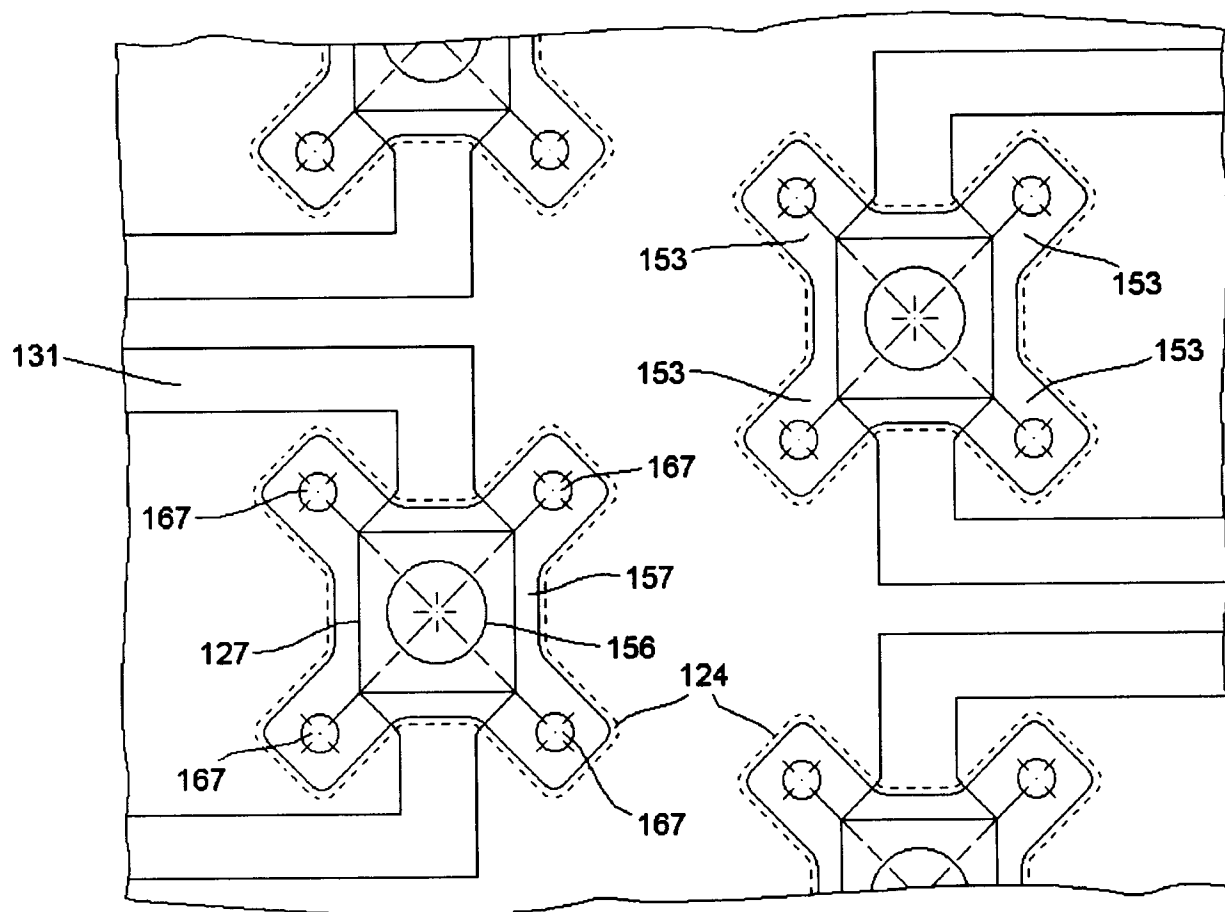


Fig. 13

10 99A 0006 10

sezione BB'



10 99A 0006 10

Fig. 14 a

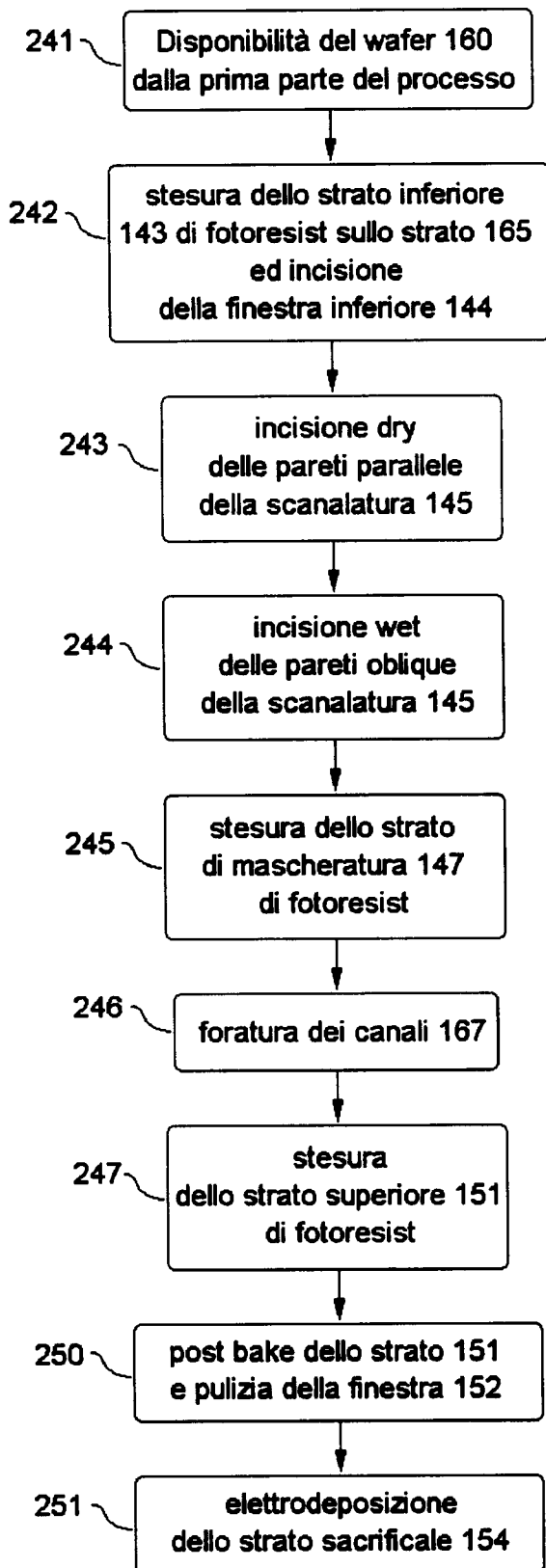
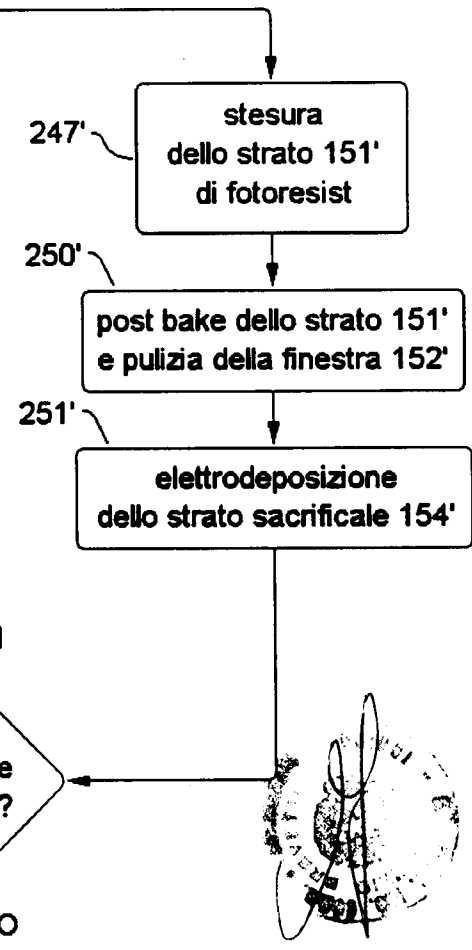


Fig. 14

14 a

14 b

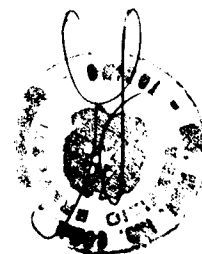
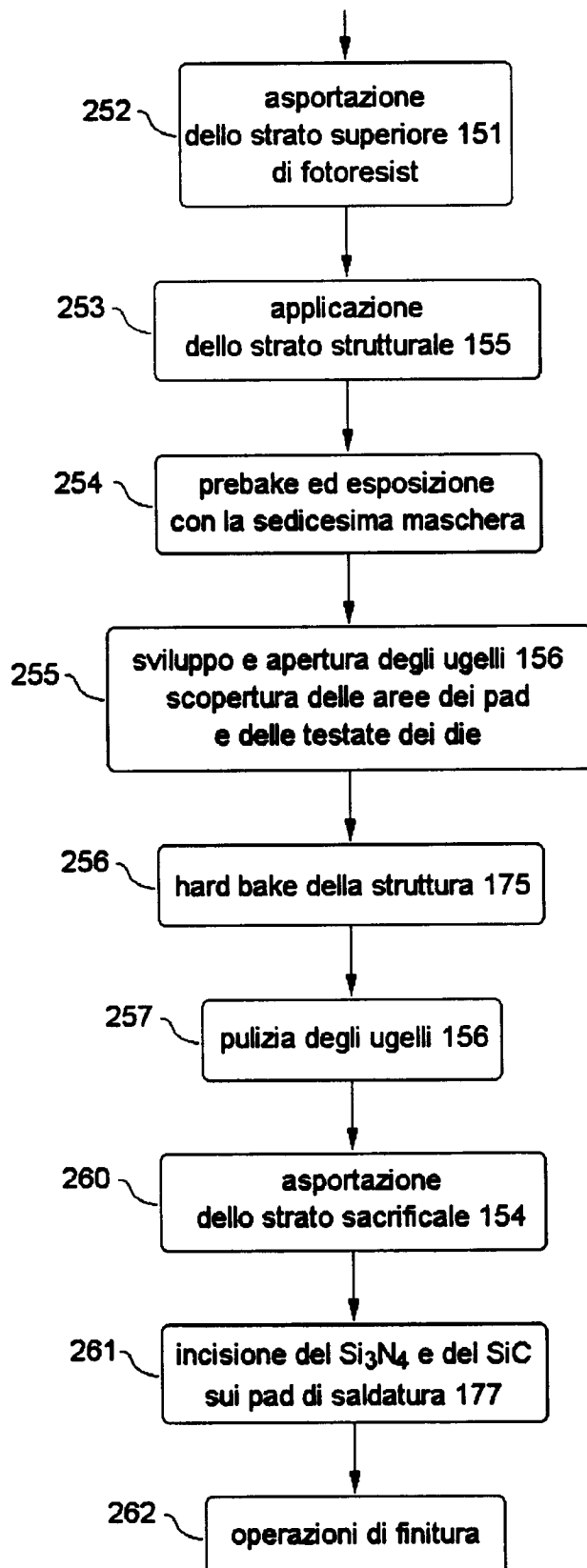


segue al passo 252 di Fig. 14 b

Fig. 14 b

T O 99A 0006 10

segue dal passo 251 di Fig. 14 a



FO 99A 0006 10

Fig. 15

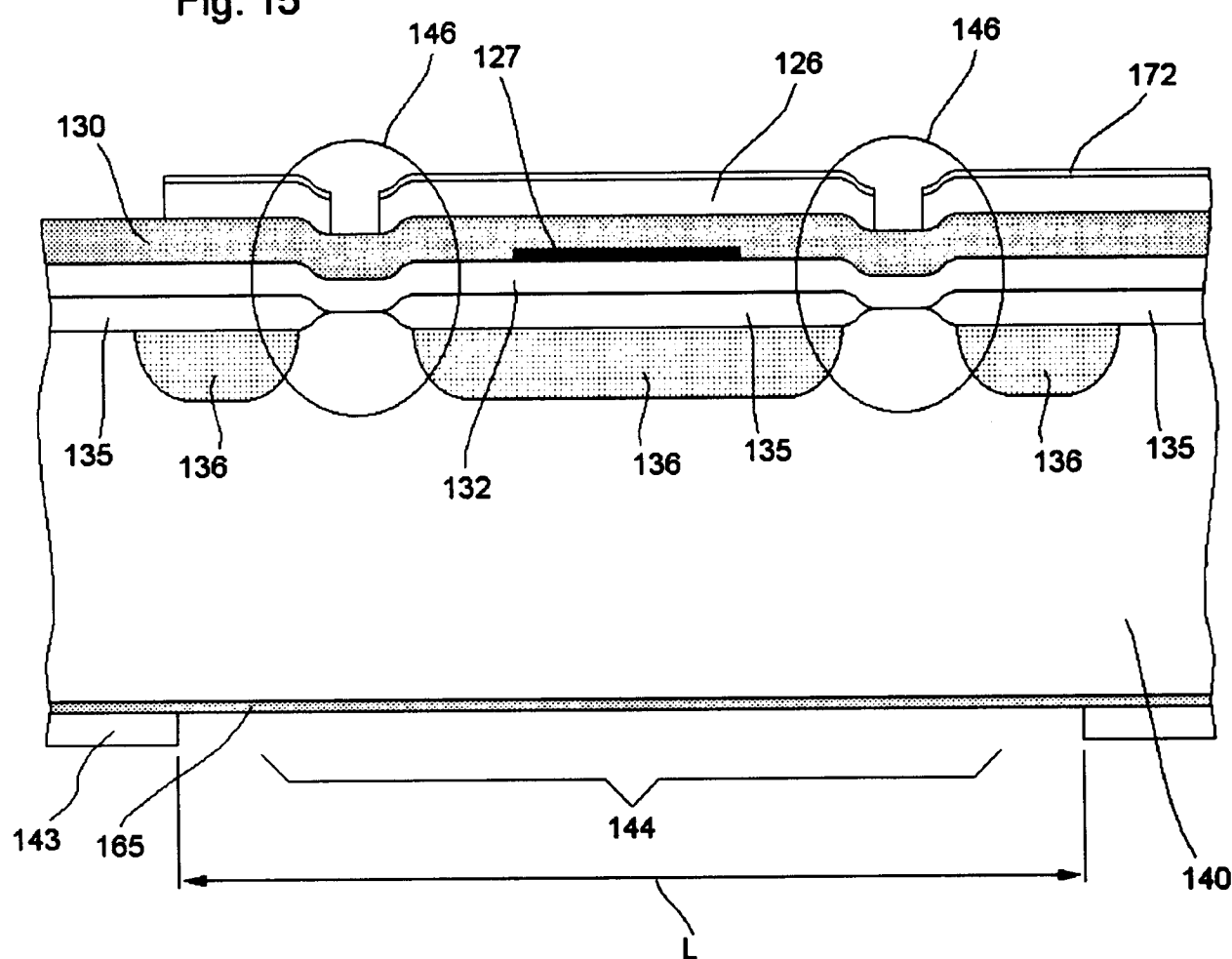


Fig. 16

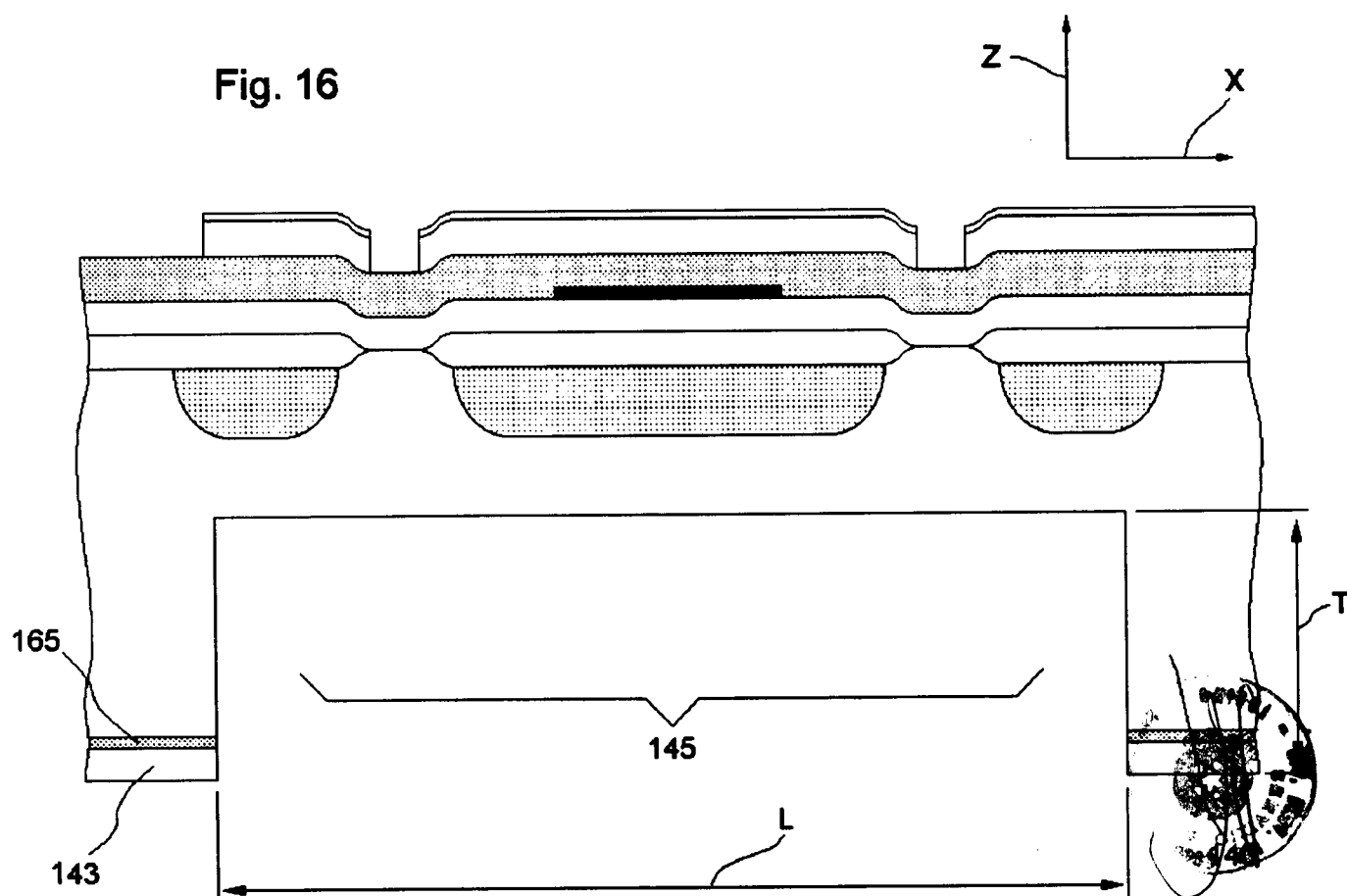


Fig. 17

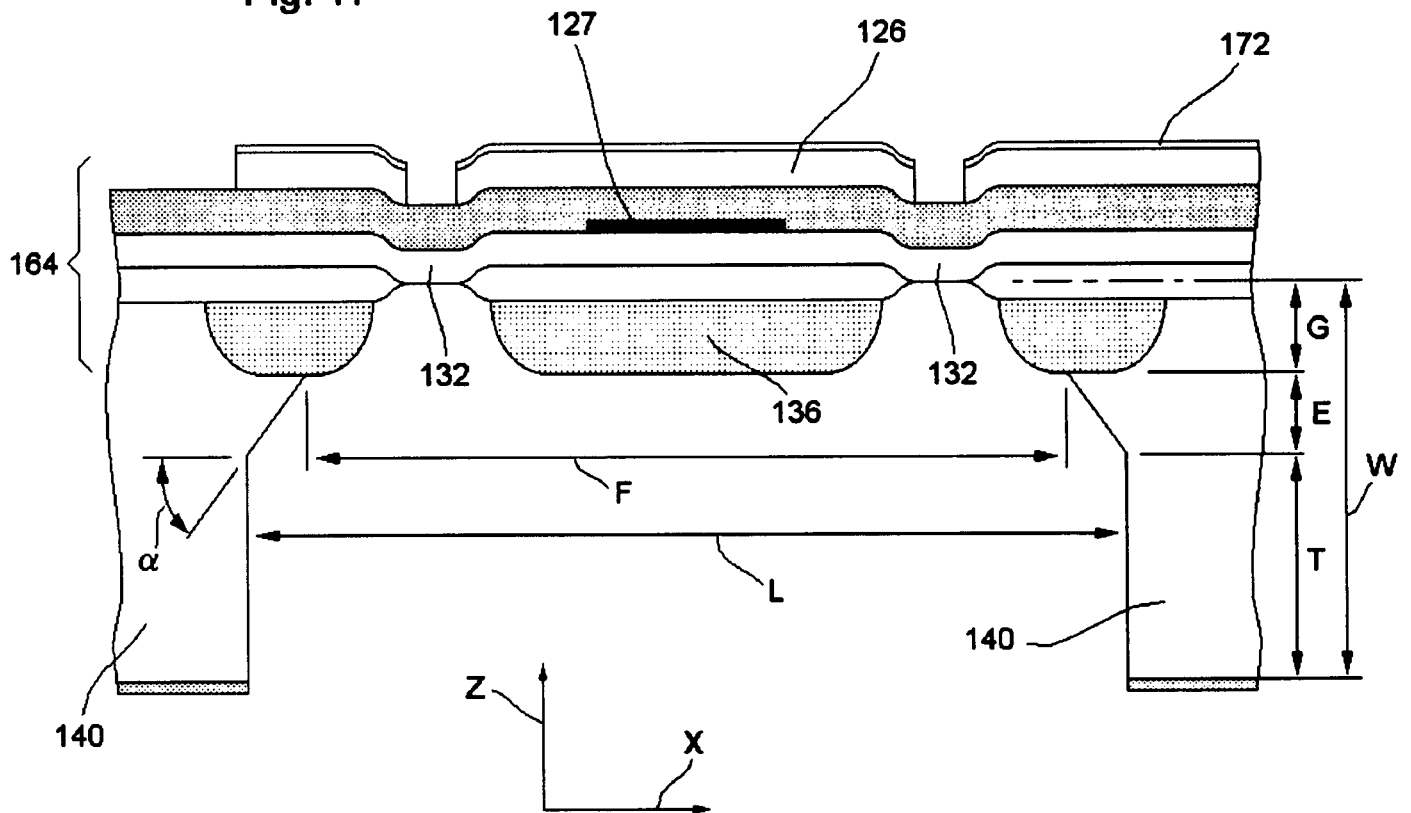


Fig. 18

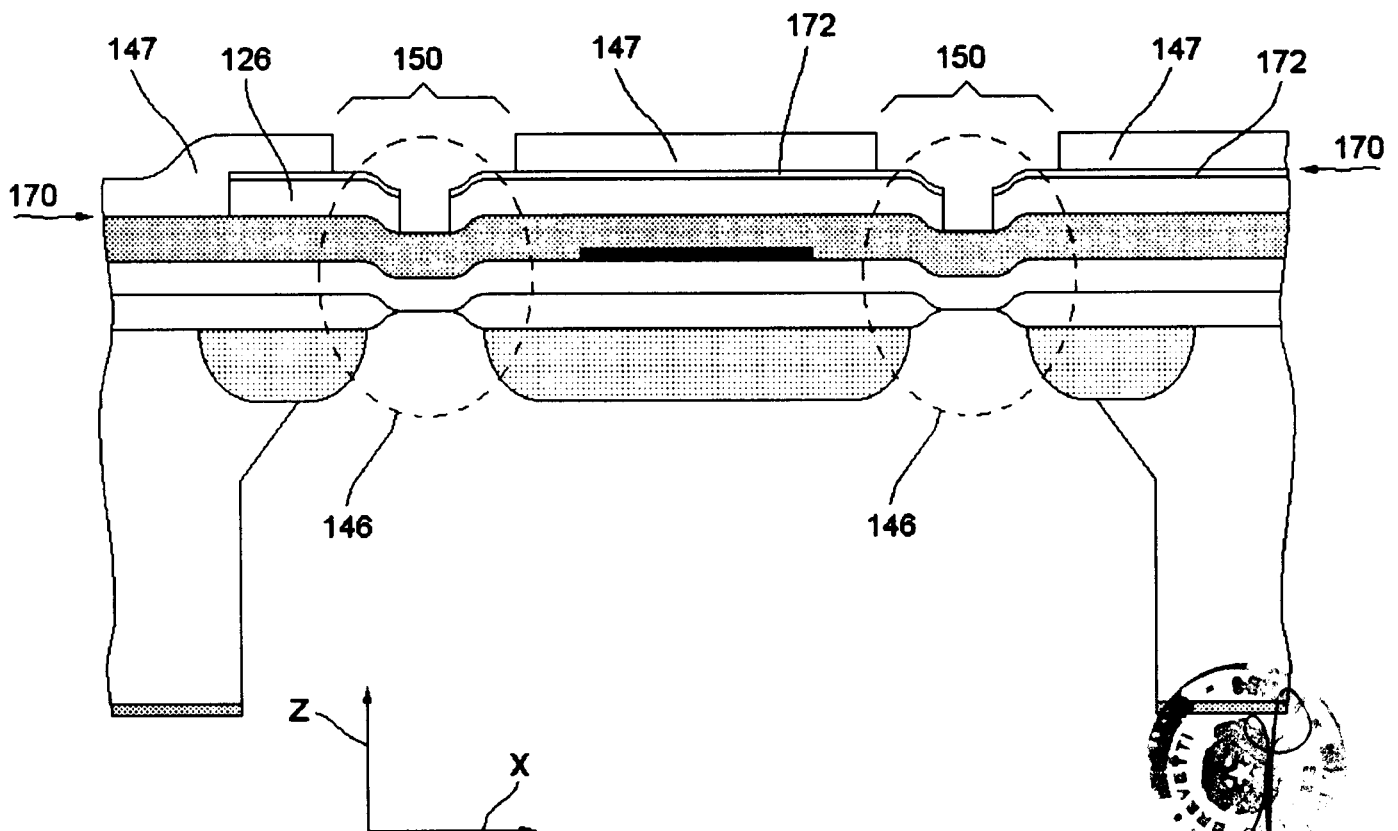


Fig. 19

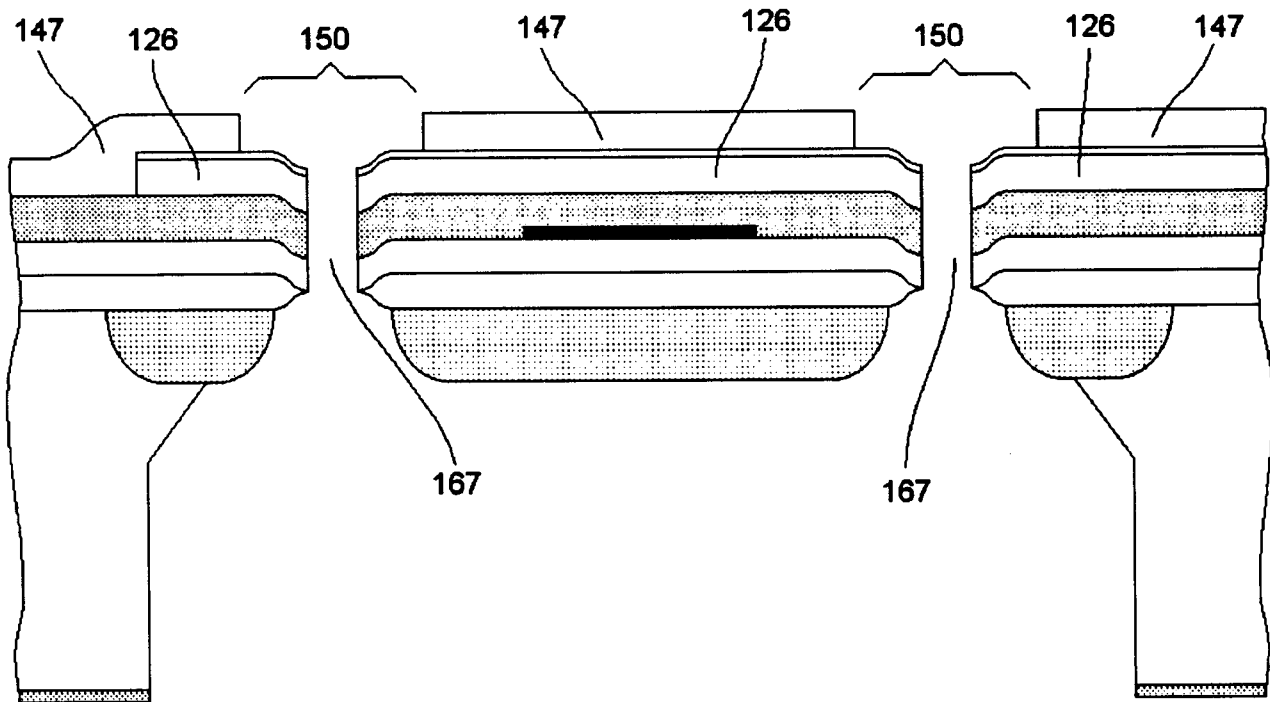


Fig. 20

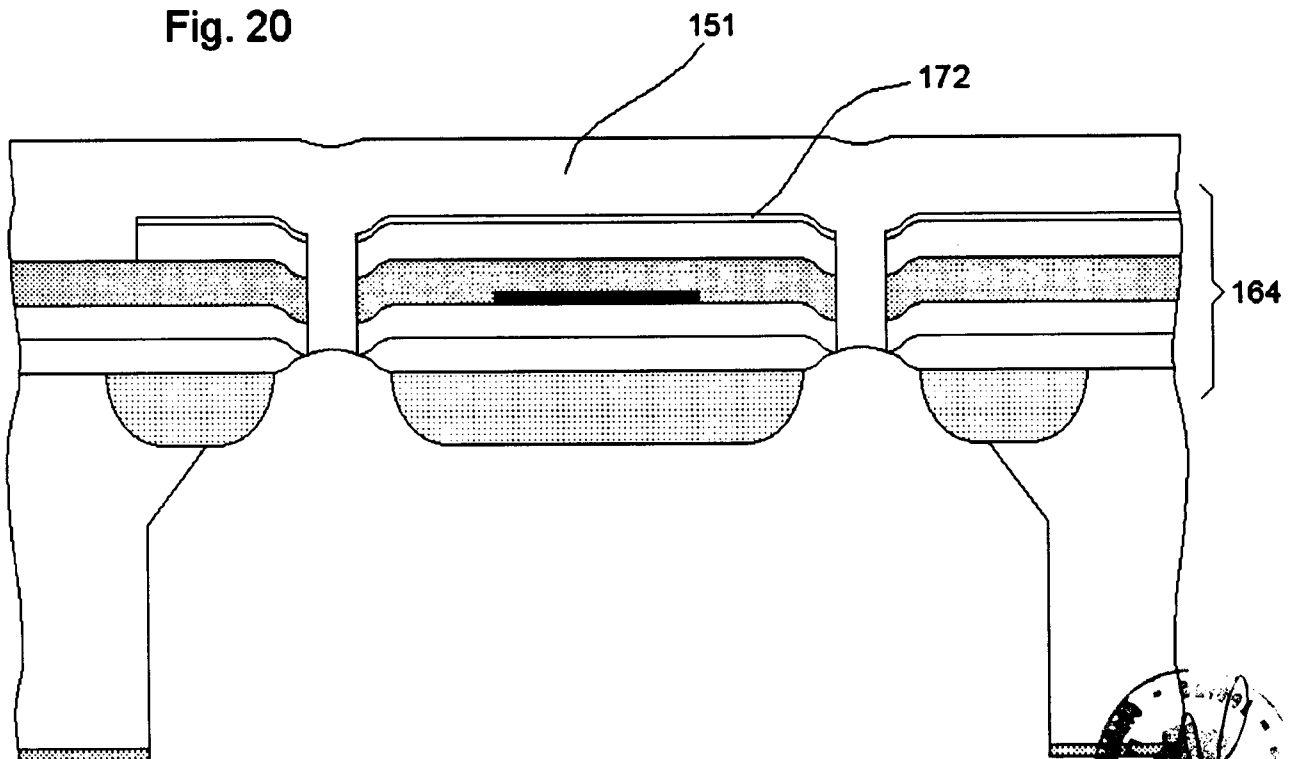


Fig. 21

99A - 000610

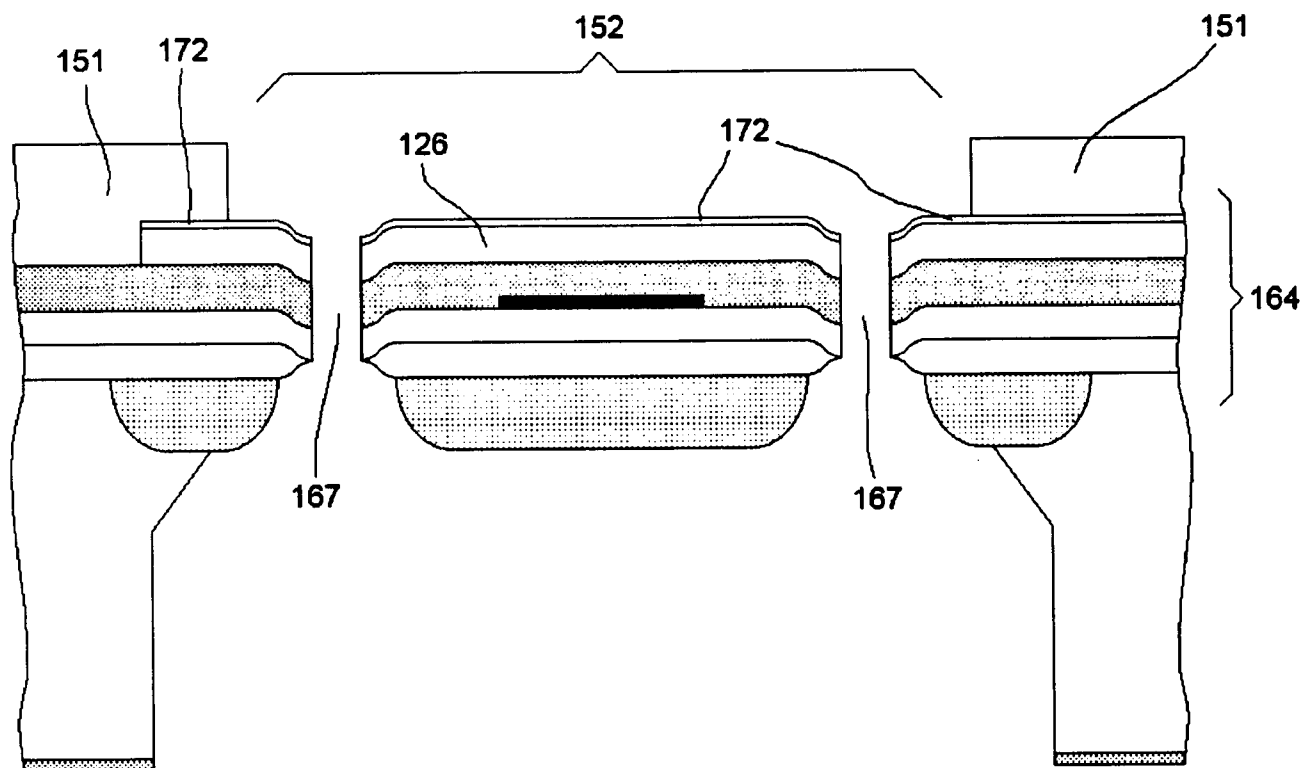
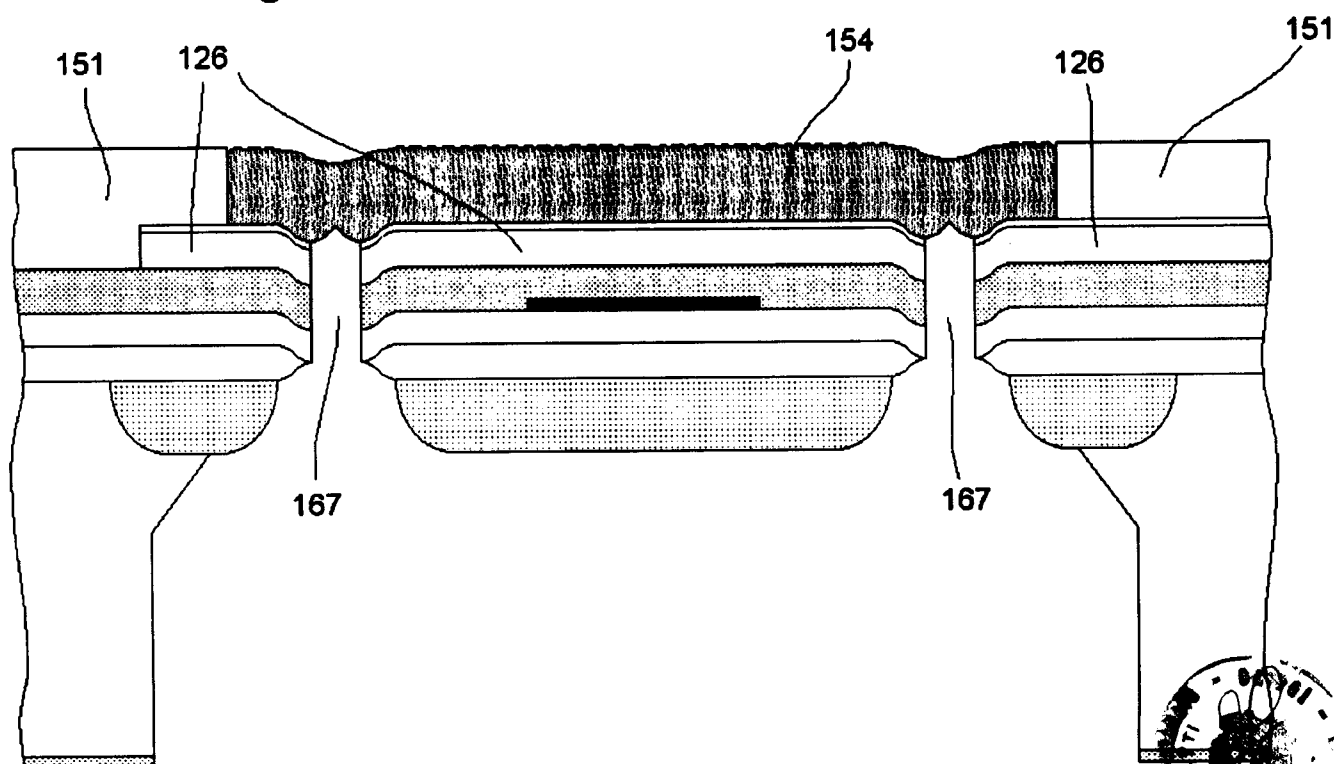


Fig. 22



10 994 0006 10

Fig. 23

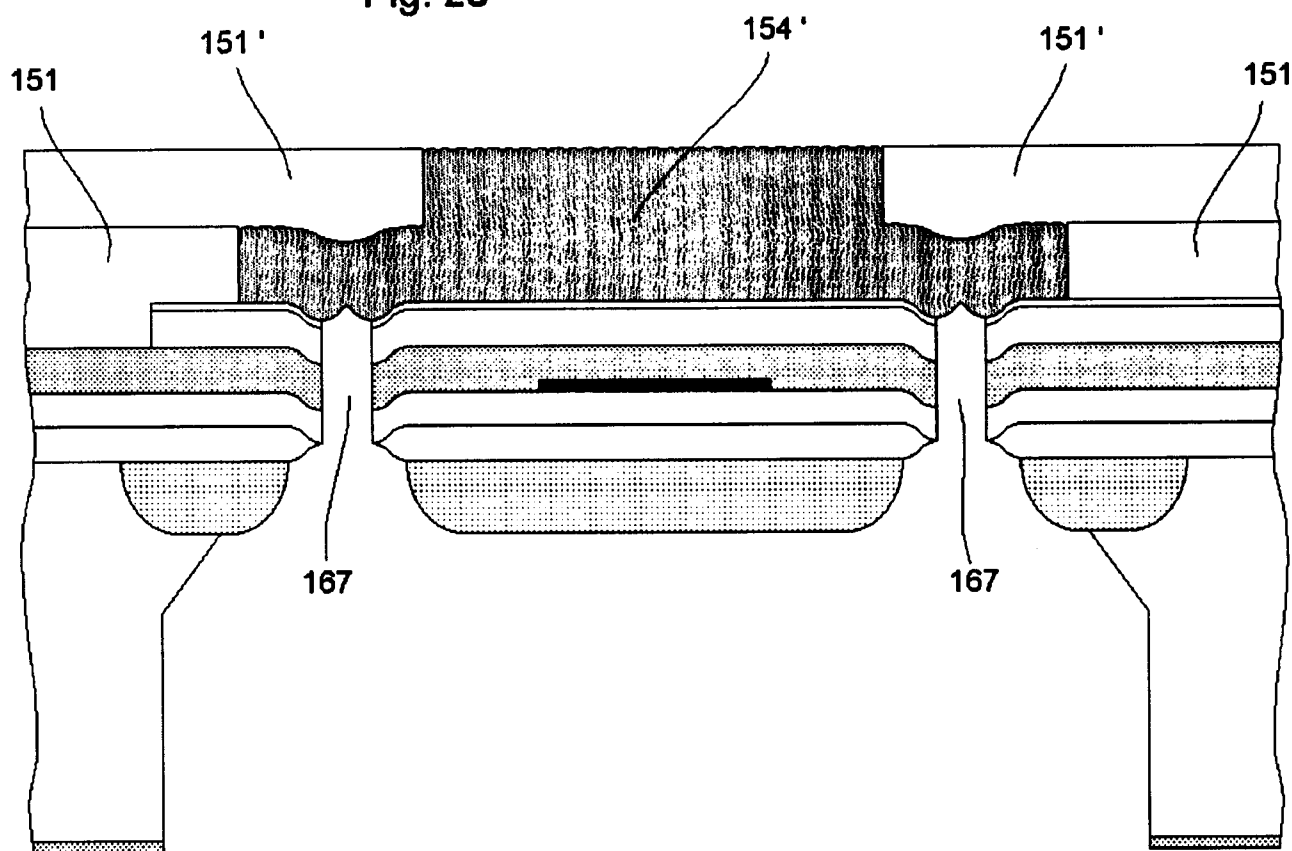
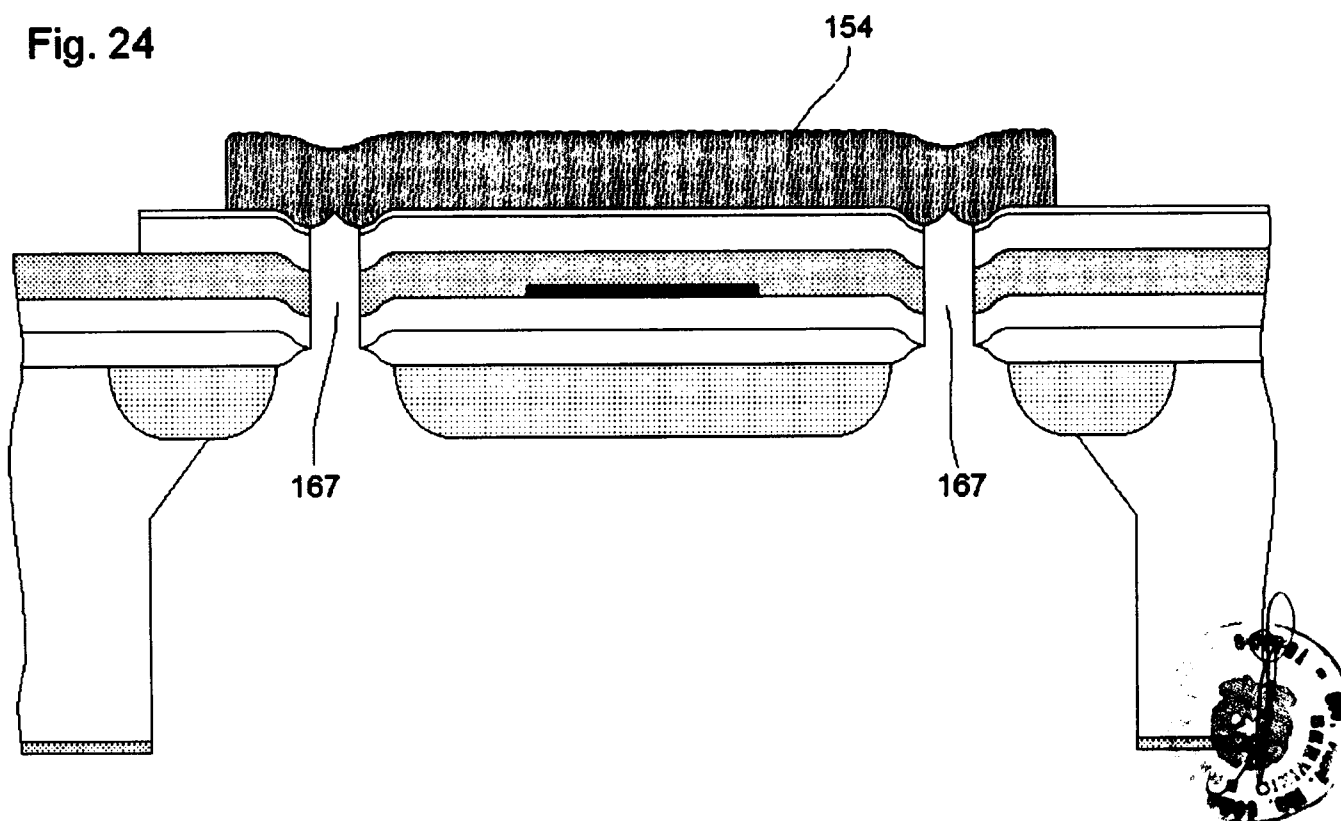


Fig. 24



991 0006 10

Fig. 25

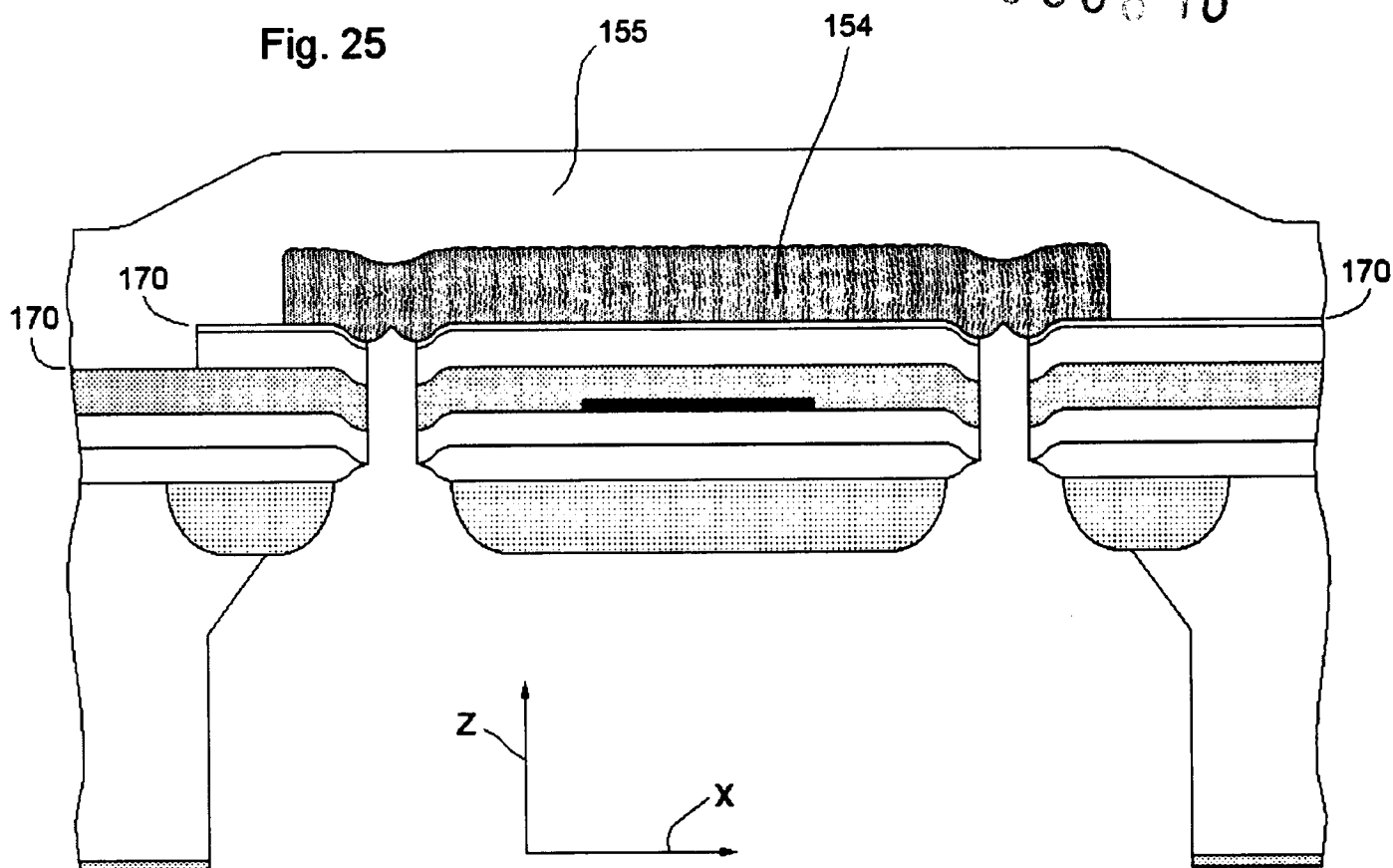


Fig. 26

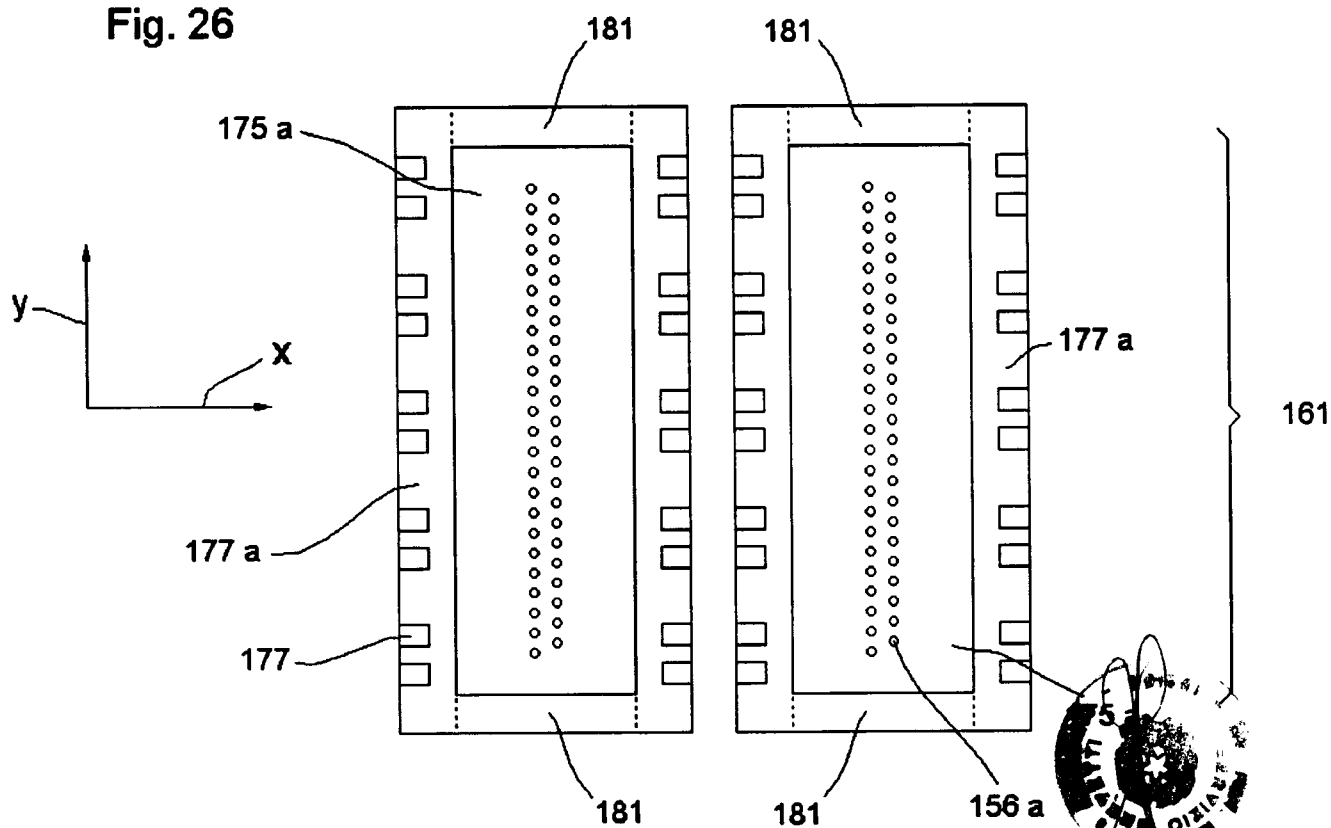


Fig. 27

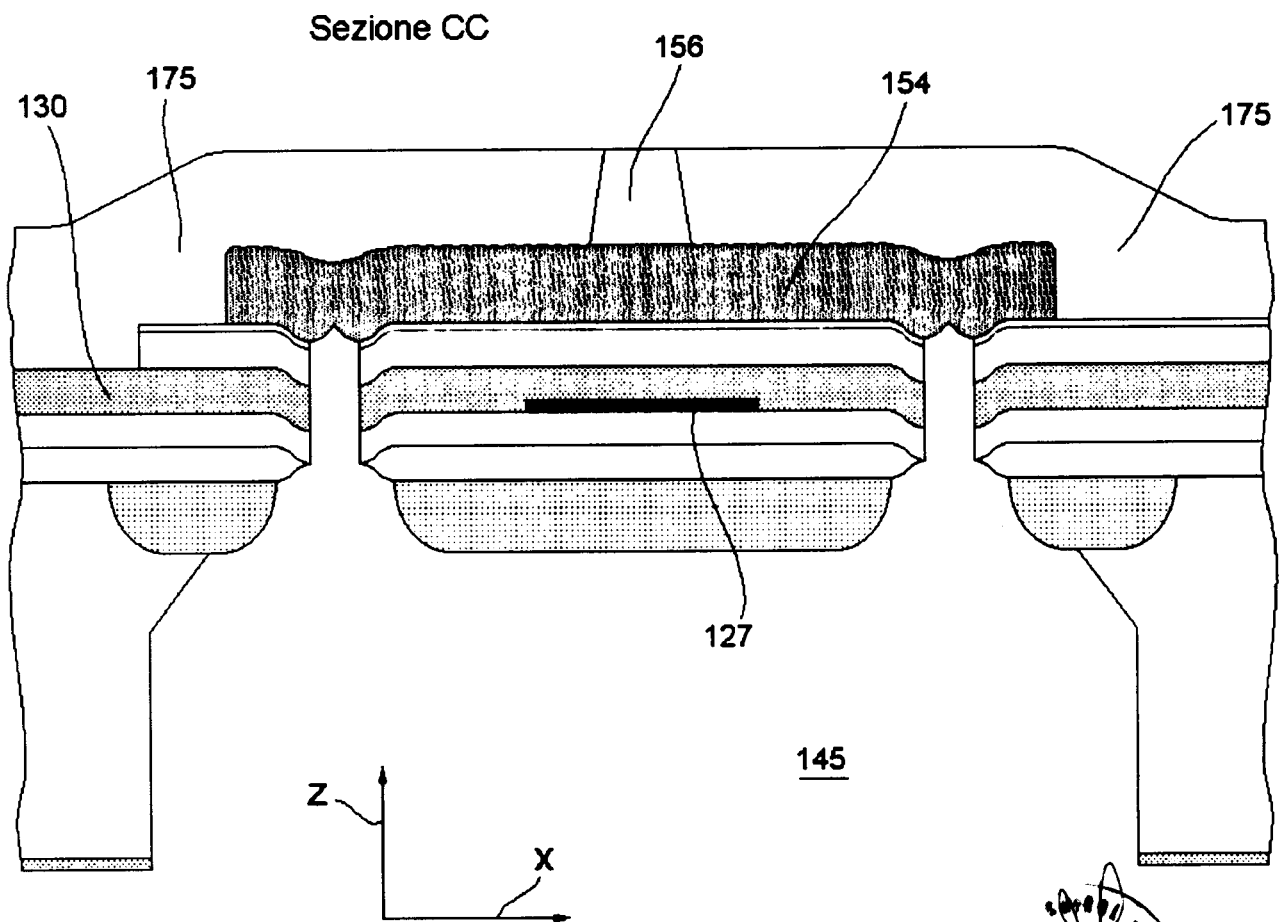
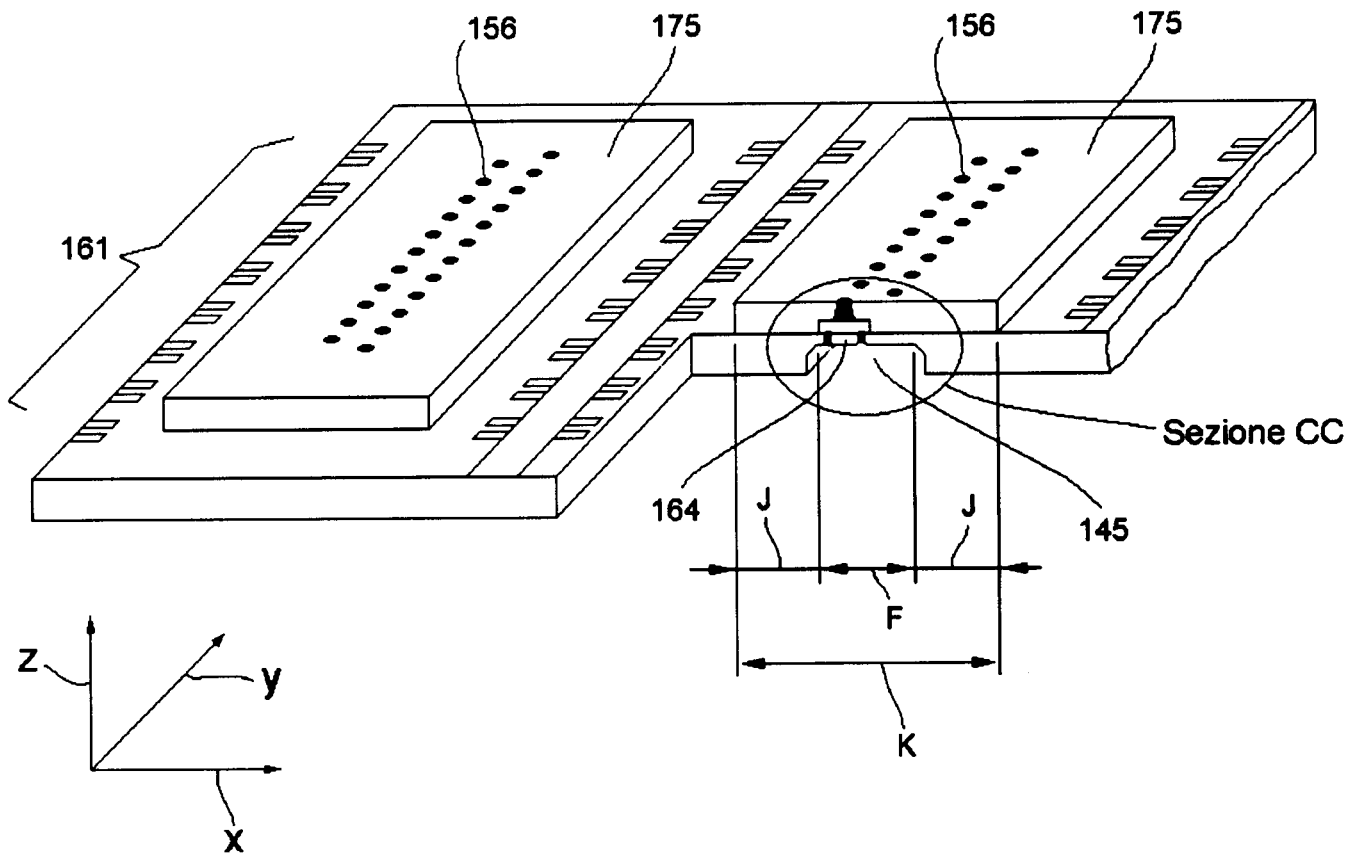


Fig. 28

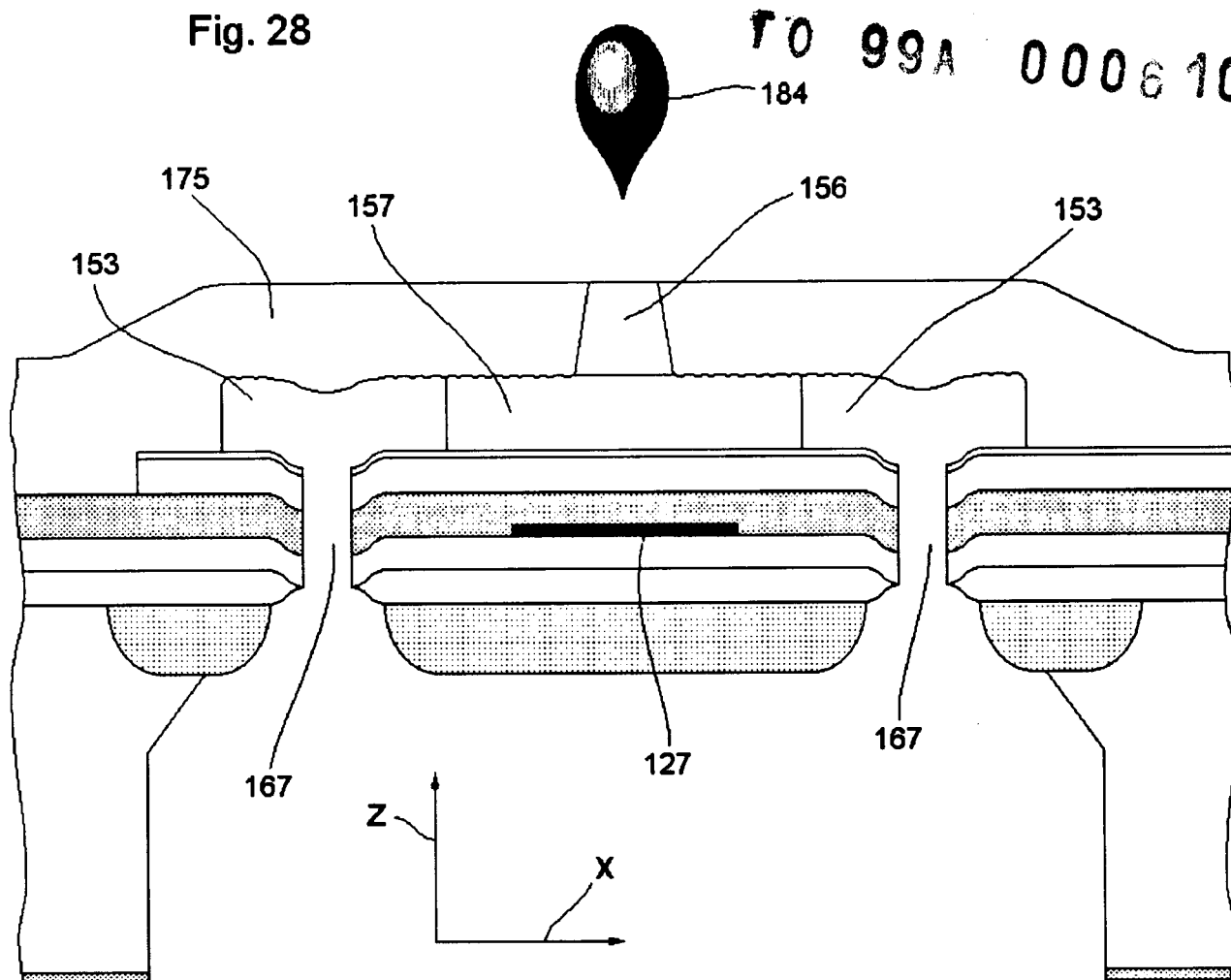
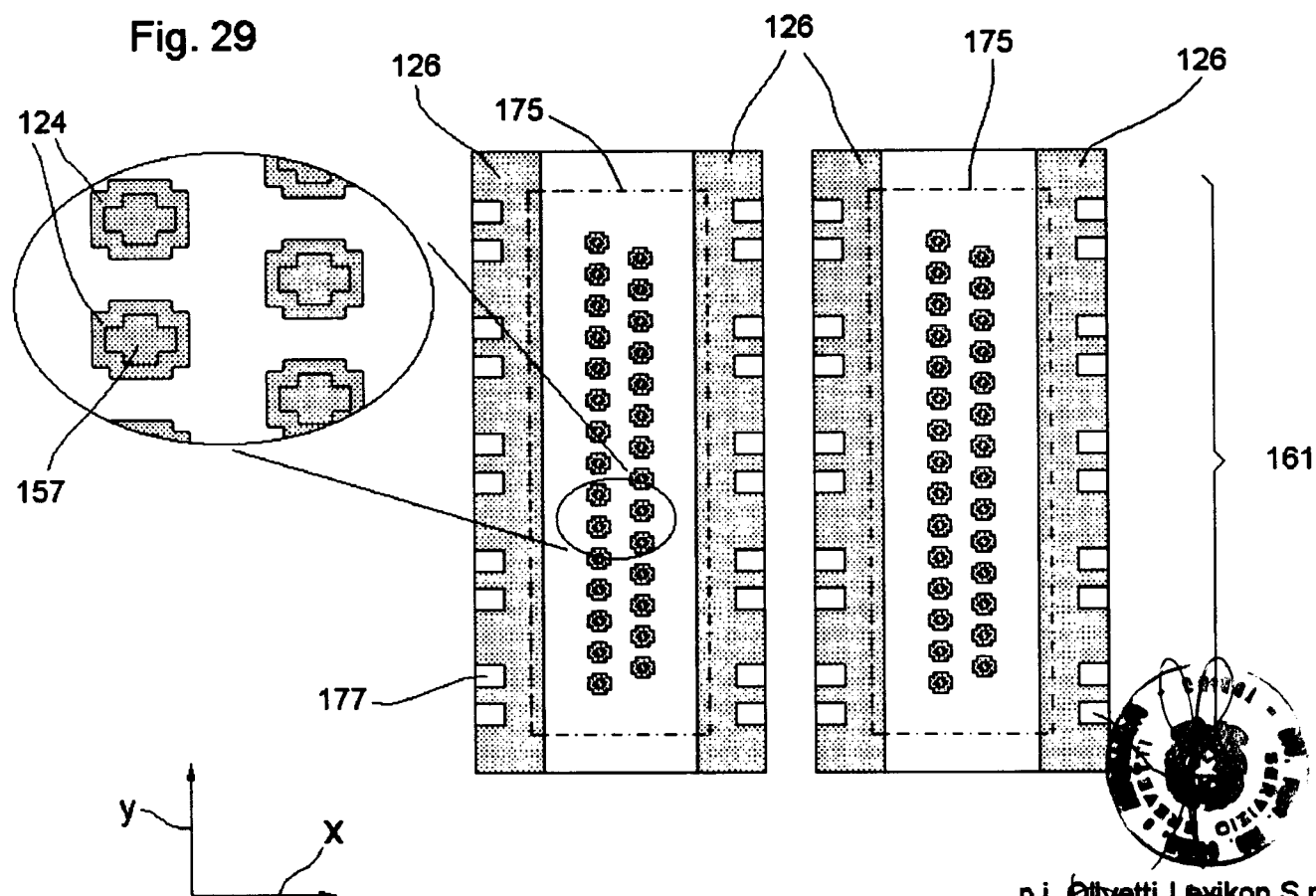


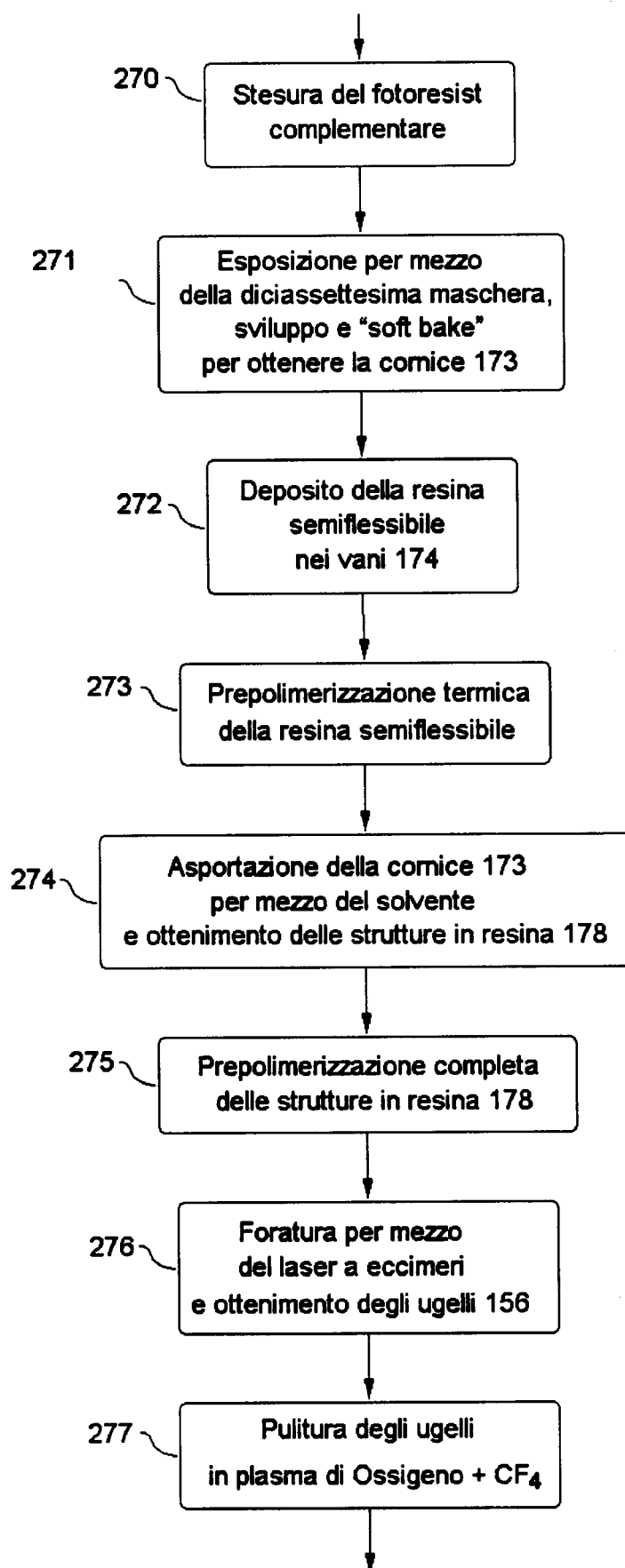
Fig. 29



Segue dal passo 252 di Fig. 14

99A - 000610

Fig. 30



Segue al passo 260 di Fig. 14 b



10 99A 0006 10

Fig. 31

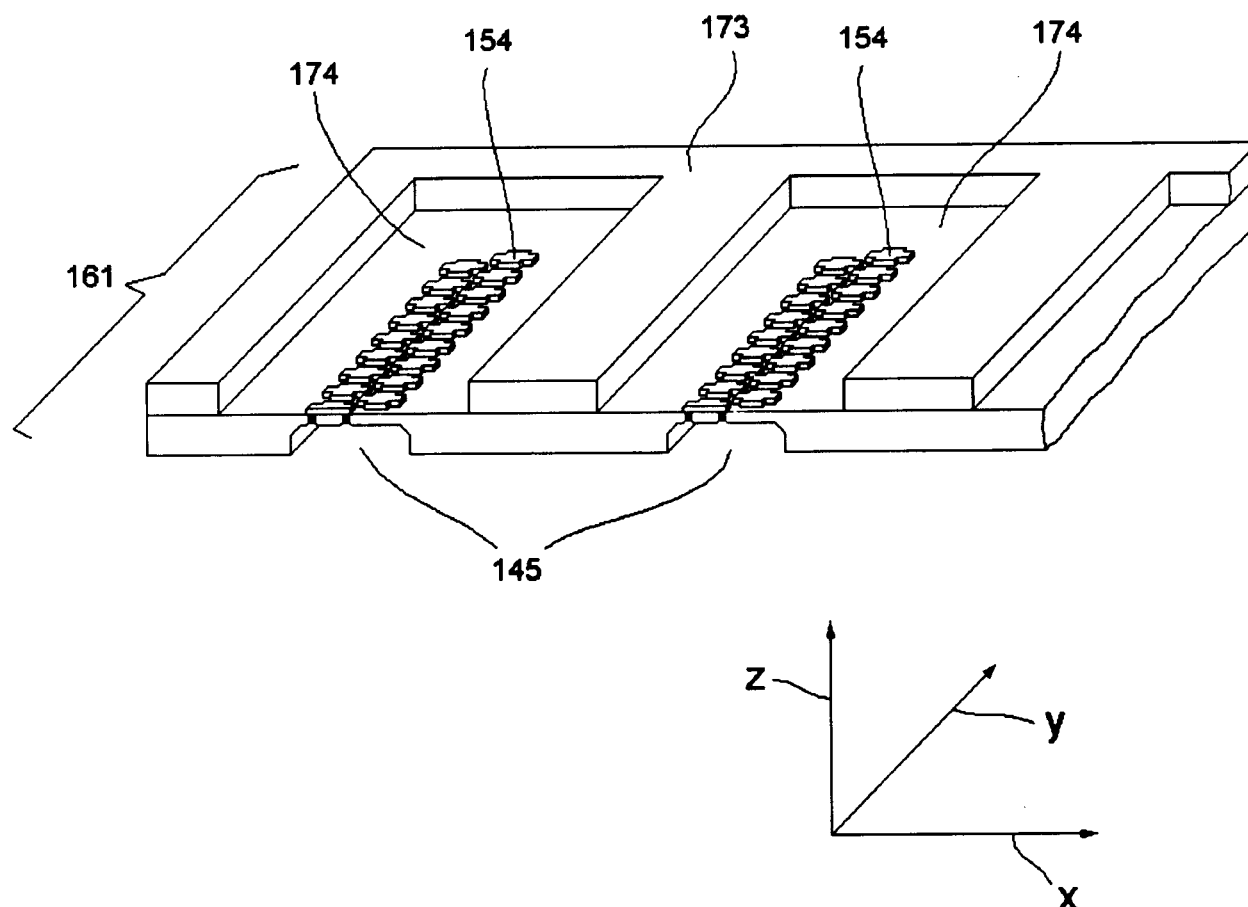


Fig. 32

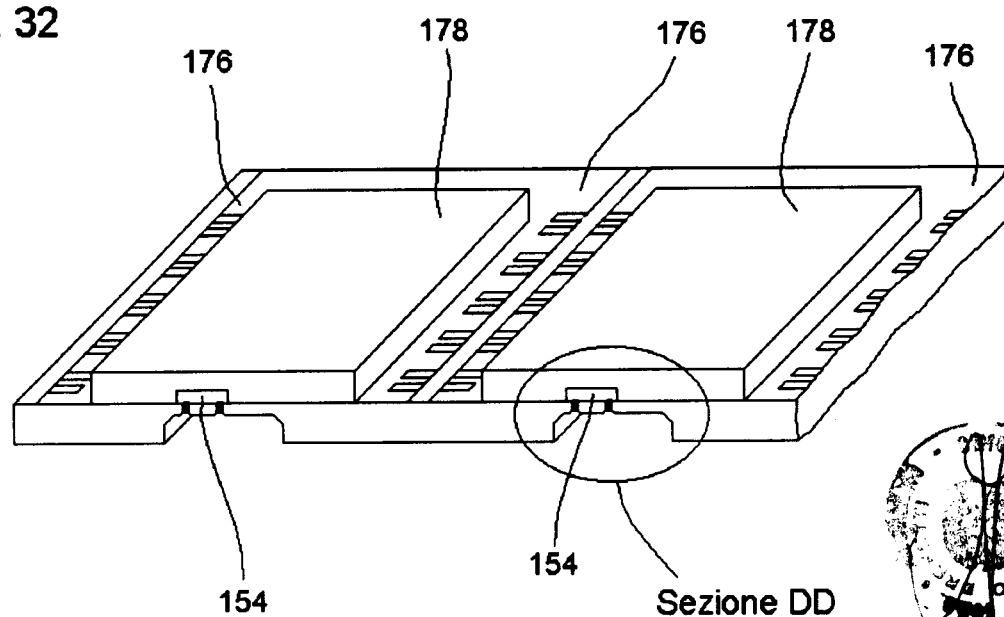


Fig. 33

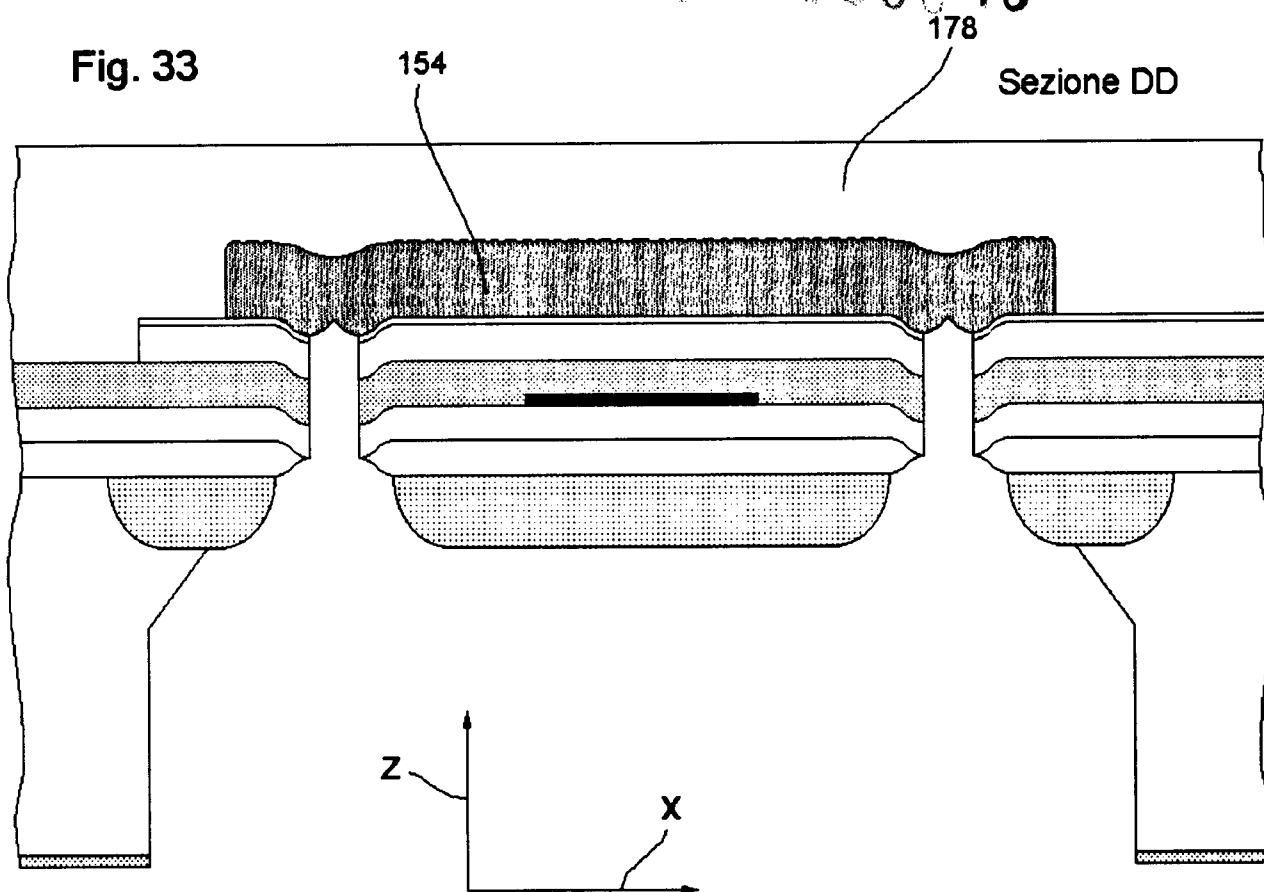


Fig. 34

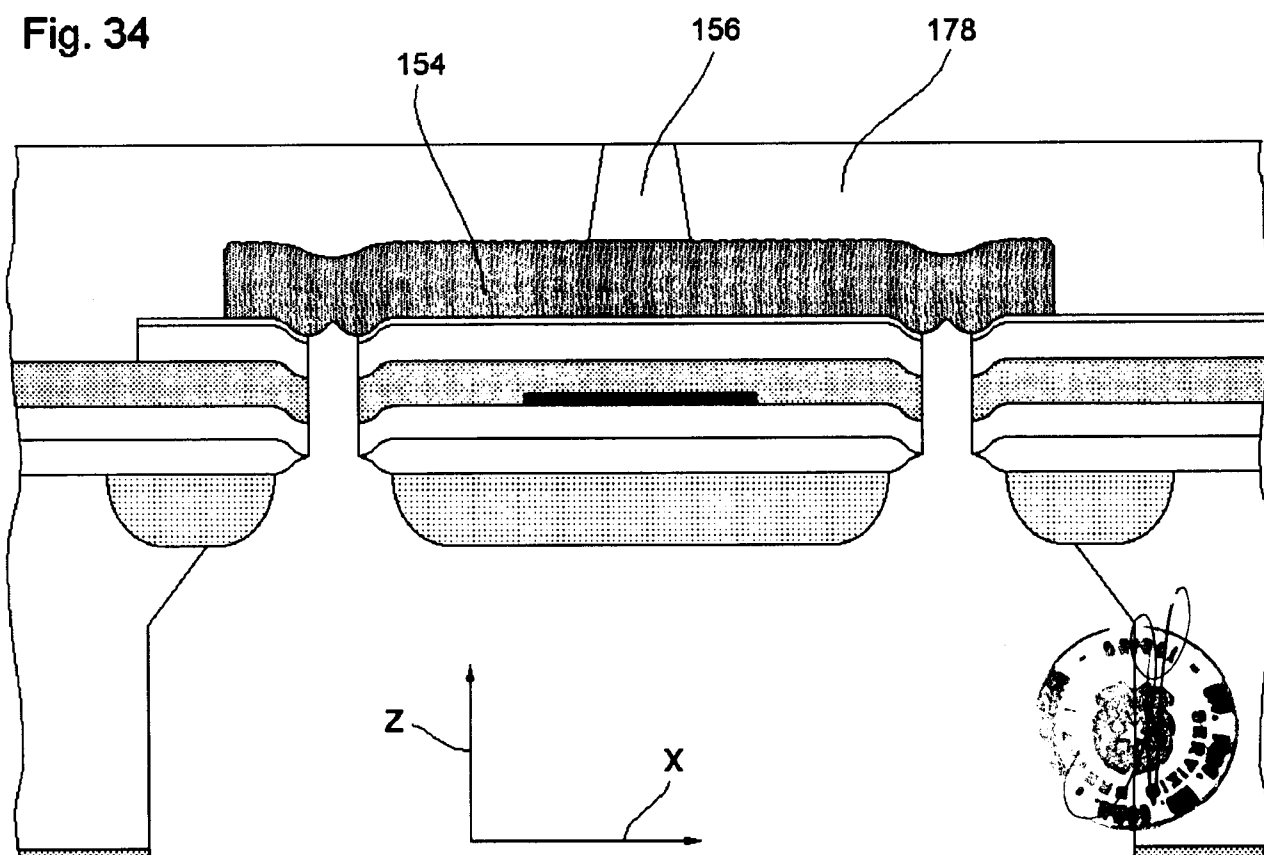
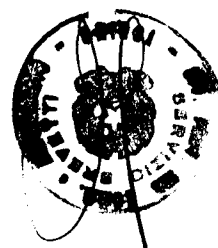
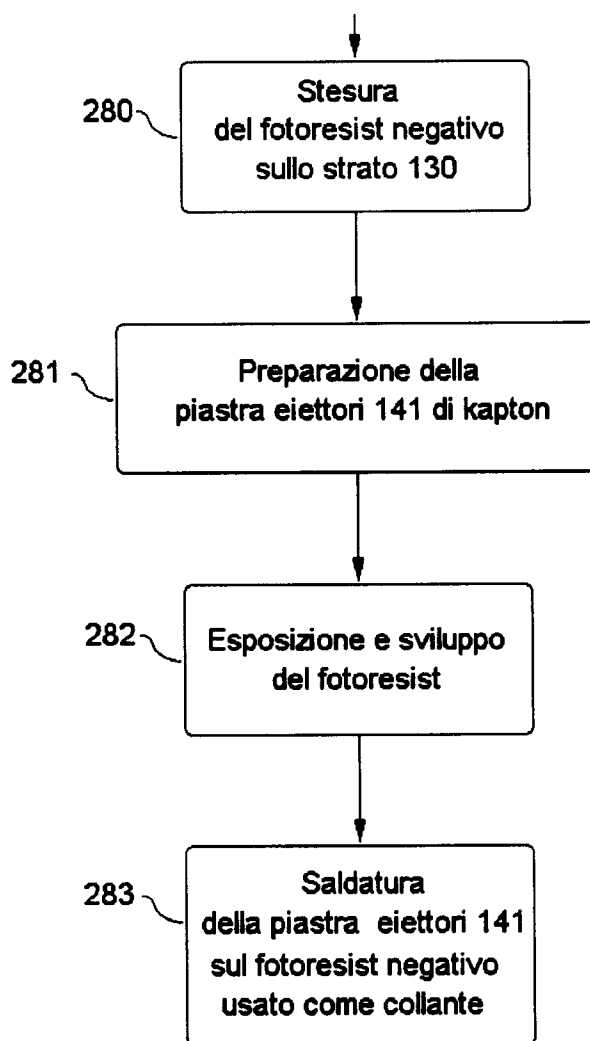


Fig. 35

fo 99A 000610

Segue dal passo 246 di Fig. 14 a

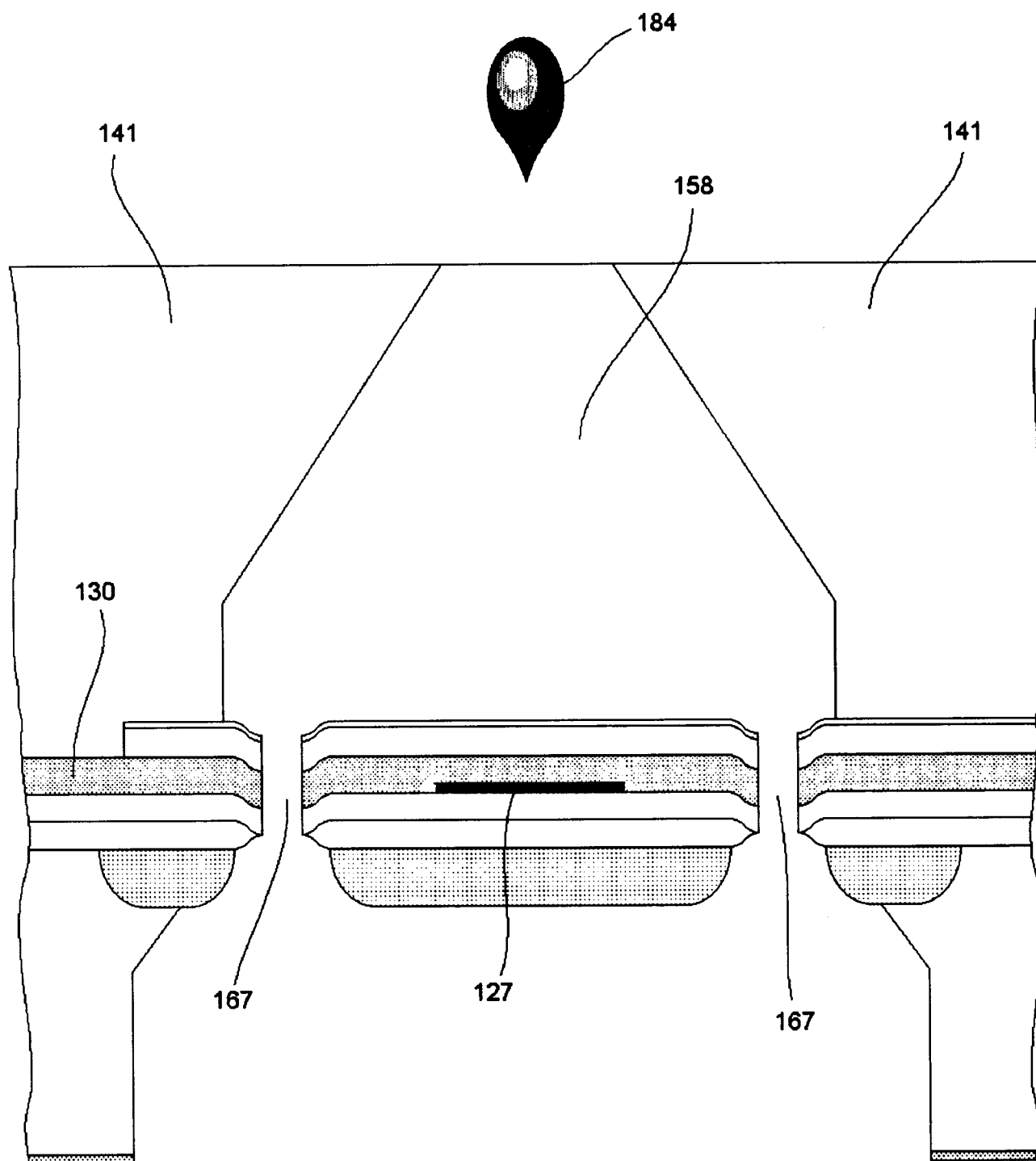


p.i. Olivetti Lexikon S.p.A.

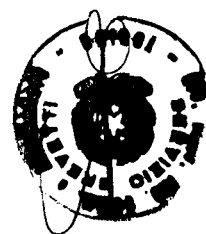
Carlo Casuccio

FO 99A 000610

Fig. 36



81'



p.i. Olivetti Lexikon S.p.A.
Carlo Casuccio
 Carlo Casuccio