



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

DOMANDA NUMERO	102006901477574
Data Deposito	19/12/2006
Data Pubblicazione	19/06/2008

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
G	11	C		

Titolo

PROCEDIMENTO PER LA FABBRICAZIONE DI SONDE DESTINATE ALL'INTERAZIONE CON UN SUPPORTO DI MEMORIZZAZIONE E SONDA OTTENUTA IN TAL MODO

D E S C R I Z I O N E

del brevetto per invenzione industriale

di STMICROELECTRONICS S.R.L.

di nazionalità italiana

5 con sede: VIA C. OLIVETTI, 2

20041 AGRATE BRIANZA (MI)

Inventore: PIROVANO Agostino

*** **

La presente invenzione si riferisce ad un proce-
10 dimento per la fabbricazione di una sonda destinata
all'interazione con un supporto di memorizzazione e
ad una sonda ottenuta in tal modo.

Come noto, i sistemi di memorizzazione che
sfruttano una tecnologia basata sul magnetismo, quali
15 ad esempio gli hard disk, soffrono di importanti li-
mitazioni per quanto riguarda l'incremento della ca-
pacità di immagazzinamento dati e della velocità di
lettura/scrittura, e la diminuzione delle loro dimen-
sioni. In particolare, esiste un limite fisico, co-
20 siddetto "limite superparamagnetico", che ostacola la
riduzione delle dimensioni dei domini di memorizza-
zione magnetici al di sotto di una soglia critica,
pena la perdita delle informazioni immagazzinate.

Negli ultimi anni sono stati pertanto proposti
25 sistemi di memorizzazione alternativi, tra cui parti-

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

colare rilievo hanno assunto i cosiddetti sistemi "probe storage" (detti anche sistemi di memorizzazione a livello atomico o "atomic storage systems"). Tali sistemi consentono di raggiungere elevate capacità di immagazzinamento dati in supporti di ridotte dimensioni e con bassi costi di fabbricazione.

In sintesi, figura 1, un dispositivo di memorizzazione "probe storage" 1 comprende una matrice bidimensionale di trasduttori (o sonde) 2 fissati ad un substrato comune 3, ad esempio di silicio. La matrice è disposta al di sopra di un supporto di memorizzazione 4 ed è mobile in modo relativo rispetto a tale supporto di memorizzazione, generalmente in due direzioni tra loro ortogonali, per l'azione di un micro- motore ad essa associato. Ciascuna sonda 2 è dotata di un elemento di supporto 5 di materiale semiconduttore, in particolare silicio, generalmente noto come "cantilever", sospeso a sbalzo al di sopra del supporto di memorizzazione 4, e portante ad una sua estremità libera un elemento di interazione (detto anche "sensore" o "elemento di contatto" e in seguito identificato come "punta" o "tip" 6) rivolto verso il supporto di memorizzazione 4. In particolare qui con il termine "interazione" si intende una qualsiasi operazione di lettura, scrittura o cancellazione che

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

implichi uno scambio di segnali tra la punta 6 ed il supporto di memorizzazione. Tramite la rispettiva punta 6, ciascuna sonda 2 è in grado di interagire localmente con una porzione del supporto di memorizzazione, per scrivere/leggere/cancellare singoli bit di informazione.

Le caratteristiche fisiche (durezza, rugosità, ecc.), morfologiche (dimensioni, forma, ecc.) ed elettriche (resistività, conducibilità termica, ecc.) della punta 6 sono strettamente correlate al materiale del supporto di memorizzazione a cui sono associate (polimerico, ferroelettrico, a cambiamento di fase, ecc.), ed ai meccanismi di interazione per la lettura/scrittura/cancellazione dei dati (processo termico, passaggio di carica, ecc.).

Ad esempio, sono possibili sistemi di memorizzazione del tipo "probe storage" in cui la lettura/scrittura dei singoli bit viene effettuata interagendo con il materiale di memorizzazione tramite un passaggio di cariche elettriche attraverso la punta.

Attualmente, alcune soluzioni proposte utilizzano un materiale polimerico per la memorizzazione del dato e punte in silicio (ricoperte da ossido nativo) per la realizzazione della struttura di interazione. Tuttavia, il materiale polimerico non consente il

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

passaggio di cariche elettriche. Per superare tale problema, è possibile depositare uno strato conduttore molto sottile al di sopra della punta di silicio (dopo aver rimosso l'ossido nativo). Tuttavia, tale
5 soluzione non si è dimostrata realizzabile praticamente, in quanto la punta di silicio viene realizzata solo alla fine del processo di integrazione, in modo da proteggere la punta di silicio durante la formazione della struttura a sbalzo e durante la fase di
10 incollaggio ("bonding") delle fette. Inoltre, la deposizione di un sottile strato di materiale conduttore provoca un aumento del raggio della punta rispetto alla dimensione originaria della punta stessa, riducendo quindi la densità di immagazzinamento ottenibi-
15 le. Infatti, se l'area di immagazzinamento è ad esempio di 1 cm^2 , è necessario stampare ed attaccare ("etching") strutture ("features") di 10 nm per ottenere una memoria di 50 GByte.

Scopo della presente invenzione è realizzare un
20 procedimento per la fabbricazione di una punta per l'interazione con un supporto di memorizzazione attraverso un passaggio di carica, che consenta un buon controllo dimensionale della punta.

Secondo la presente invenzione vengono realizza-
25 ti un procedimento per la fabbricazione di una sonda

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

destinata all'interazione con un supporto di memorizzazione e una sonda ottenuta in tal modo, come definiti nelle rivendicazioni 1 e, rispettivamente, 15.

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

- la figura 1 è una rappresentazione prospettica schematica, parzialmente in spaccato, di un dispositivo di memorizzazione "probe-storage";

- le figure 2-4 mostrano sezioni trasversali di una fetta di materiale semiconduttore in fasi successive di un procedimento di fabbricazione secondo una prima forma di realizzazione della presente invenzione;

- la figura 5 è una vista dall'alto sulla struttura intermedia di figura 4;

- le figure 6 e 7 mostrano sezioni trasversali della fetta di figura 4, in successive fasi di fabbricazione;

- la figura 8 mostra una vista dall'alto sulla struttura intermedia di figura 7;

- le figure 9-11 sono sezioni trasversali della fetta di figura 7, in successive fasi di fabbricazione;

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

- la figura 12 mostra una variante della struttura di figura 11, ottenuta a partire dalla struttura intermedia di figura 11;

- la figura 13 mostra una variante della struttura di figura 11;

- la figura 14 mostra un'altra variante della struttura di figura 11;

- le figure 15-17 sono viste in prospettiva spaccata di altre forme di realizzazione dell'invenzione.

Inizialmente, come mostrato in figura 2, su un substrato 10 di materiale semiconduttore, tipicamente silicio monocristallino, viene depositato uno strato sacrificale 11, ad esempio di ossido di silicio di spessore di ad es. 200nm. Quindi, usando una maschera di resist 12 avente una finestra 13, viene attaccato lo strato sacrificale 11, formando un foro 14.

In seguito, figura 3, viene depositato uno strato di stampo, ad esempio di nitruro di silicio, che viene attaccato al plasma tramite la tecnica standard per la realizzazione di spaziatori. L'attacco viene interrotto dopo che, all'interno del foro 14, si è formata una regione di stampo ("mold region") 15 delimitante un'apertura 16 avente, in sezione parallela alla superficie del substrato 10, area decrescente

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

verso il substrato 10. In pratica, nella sezione di figura 3, l'apertura 16 presenta forma approssimativamente a V arcuata, con vertice rivolto verso il substrato 10.

5 In questa fase, la litografia non è critica, ma può essere rilassata; in effetti le dimensioni e la forma della apertura 16 possono essere scelte in base alle esigenze tramite il controllo dei seguenti parametri:

- 10 - dimensione del foro 14;
 - spessore dello strato sacrificale 11;
 - composizione del plasma utilizzato per l'attacco.

 Ad esempio, in figura 3, l'estremità dell'apertura 16 è appuntita e non raggiunge il fondo del foro 14; in alternativa, l'estremità può arrivare fino al substrato 10 (e quindi avere un'area maggiore, come spiegato più in dettaglio in seguito con riferimento alla figura 12). Inoltre, nell'esempio considerato, il foro 14 e quindi la superficie esterna della regione di stampo 15 sono circolari; di conseguenza, l'apertura 16 ha forma approssimativamente a cono con superficie incavata; tuttavia altre forme sono possibili, come indicato più in dettaglio in seguito.

25 Successivamente, figura 4, vengono depositati in

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

successione un primo ed un secondo strato metallico
18, 19, formanti una pila 20. Gli strati metallici
18, 19 riempiono l'apertura 16, formando una punta
23, e vengono successivamente sagomati utilizzando
5 una maschera di resist 17.

In generale, il tipo di materiale utilizzato e
lo spessore degli strati metallici 18, 19 possono es-
sere scelti in modo da ottimizzare le caratteristiche
elettriche e meccaniche della struttura sospesa (ad
10 esempio la rigidità ("stiffness")).

In particolare, gli strati metallici 18, 19 pos-
sono essere scelti in modo da soddisfare esigenze di-
verse: il primo strato metallico 18 può essere rea-
lizzato di materiale adatto per le funzioni di lettu-
15 ra/registrazione di informazioni, ad esempio può es-
sere realizzato di titanio, composti di titanio, co-
balto, carbonio, materiali metallici di barriera qua-
li tantalio e suoi composti, ad esempio TaN, TiAlN,
TiSiN, mentre il secondo strato metallico 19 può es-
20 sere realizzato di materiale più conduttivo, in modo
da ridurre la resistenza di accesso e ridurre la ca-
duta di tensione sui bracci di supporto, ad esempio
può essere di TiN spesso o alluminio. Nell'esempio
considerato, inoltre, il primo strato metallico 18 è
25 più sottile del secondo strato metallico 19; ad esem-

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

pio, il primo strato metallico può avere uno spessore di 10nm, e il secondo strato metallico 19 può avere uno spessore di 60-100nm.

Dopo la definizione degli strati metallici 18, 5 19, si forma una struttura sospesa 21 che, come visibile in particolare dalla vista dall'alto di figura 5, comprende una coppia di bracci portanti 22 disposti a V che si raccordano in corrispondenza di una prima estremità formando una porzione di connessione 10 dove è formata la punta 23 (figura 4) controsagomata all'apertura 16. L'altra estremità dei bracci portanti 22 si allarga a formare rispettive piazzole di contatto o "pad" 24. La struttura sospesa 21 comprende inoltre un braccio centrale 27, estendentesi lungo 15 un asse di simmetria centrale dei bracci portanti 22 fino in prossimità del punto di raccordo dei bracci portanti 22 e avente anch'esso un'estremità allargata formante un pad 28. I pad 24, 28 possono essere tuttavia formati anche in punti intermedi dei bracci 22, 20 27.

In seguito, figura 6, uno strato dielettrico 30, ad esempio di ossido di alluminio (Al_2O_3), viene depositato in modo conforme, in modo da estendersi in parte al di sopra e in parte lateralmente alla struttura 25 sospesa 21; lo strato dielettrico 30 viene quindi de-

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

finito (figure 7 e 8) in modo da formare una intelaiatura 31 avente funzione di connessione meccanica e irrigidimento per la struttura sospesa 21. In particolare, la intelaiatura 31 ha la funzione di conferire da un lato la rigidità necessaria e dall'altra di interconnettere meccanicamente i bracci 22, 27, mantenendo il controllo elettrico separato dei pad 24 rispetto al pad 28 così da consentire il comando ("actuation") elettrostatico della struttura sospesa 21 ed in particolare lo spostamento della punta 23 nella direzione dell'asse z (in direzione verticale di figura 6 e perpendicolare al piano del disegno in figura 8). In particolare, l'intelaiatura 31 consente di applicare un opportuno potenziale al braccio centrale 27 e quindi (per effetto capacitivo con il supporto di memorizzazione 4 di figura 1) di defletterlo verso o in allontanamento dal supporto di memorizzazione 4 stesso, causando un'analogia deflessione dell'intera struttura sospesa 21.

Nell'esempio mostrato, l'intelaiatura 31 è formata da tre bracci di irrigidimento 32 che si estendono al di sopra e in contatto con i bracci portanti 22 e il braccio centrale 27, e sono collegati tutti in corrispondenza del vertice della "V" formata dai bracci portanti 22. La intelaiatura 31 comprende i-

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

noltre almeno un braccio trasversale 33 che attraversa i tre bracci di irrigidimento 32 e li collega meccanicamente a circa metà della loro lunghezza. La struttura della intelaiatura 31 mostrata in figura 8 è comunque solo indicativa e la forma, le dimensioni e il numero dei bracci portanti 32, 33 possono naturalmente variare.

Successivamente, figure 8 e 9, sui pad 24, 28 vengono realizzate strutture di connessione o plug 35. Tali plug 35 possono essere realizzati secondo qualsiasi tecnica nota per la realizzazione di bonding wafer/wafer o die/wafer, ad esempio usando un materiale eutettico basso-fondente formato da strati alternati (quali di oro e di stagno).

Quindi, figura 9, una fetta portante 36 viene fissata ("bonded") alla struttura fin qui realizzata, usando i plug 35. In particolare, la fetta portante 36 è una fetta di materiale semiconduttore, già lavorata in modo da integrare la circuiteria CMOS necessaria per l'attuazione e la polarizzazione della struttura sospesa 21, nonché per il comando elettronico (lettura, programmazione, cancellazione dei dati immagazzinati dal sistema di "probe storage" di figura 1), come rappresentato schematicamente in figura 9 da componenti 37.

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

Infine, figura 10, il substrato 10 viene rimosso tramite una fase di etch back e lo strato sacrificale 11 viene rimosso tramite un attacco selettivo. In questa fase, la regione di stampo 15 viene preferibilmente lasciata in loco, in modo da costituire una regione di protezione meccanica per la punta 23 e viene rimossa solo alla fine del processo di fabbricazione del sistema di "probe storage" (figura 11).

La struttura della sonda così ottenuta presenta i seguenti vantaggi:

- semplice processo di fabbricazione, che consente di ottenere costi di fabbricazione ridotti, elevata affidabilità ed elevata resa;
- facile integrazione su substrati di silicio standard, che sono più economici dei substrati SOI finora proposti, con ulteriore riduzione dei costi di fabbricazione;
- buona protezione della punta 23 fino al termine dell'intero processo di fabbricazione grazie alla regione di stampo 15 che può essere rimossa solo alla fine, garantendo elevata resa di produzione;
- possibilità di realizzare la punta 23 di dimensioni molto ridotte, fino a pochi nanometri, e quindi di incrementare la densità di immagazzinamento del sistema;

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

- facilità di modifica delle caratteristiche dimensionali della punta, con la semplice modifica delle dimensioni dello strato sacrificale 11, e/o della finestra 13 e/o delle condizioni di attacco dello strato sagomatore che dà origine alla regione di stampo 15. Questo è particolarmente vantaggioso in quanto permette di adattare le caratteristiche della punta alle necessità, senza dover modificare altre fasi del processo di fabbricazione;

10 - possibilità di ottenere le caratteristiche di conducibilità e di resistenza richieste per la punta e per la struttura sospesa mediante l'uso di uno o più materiali adatti;

15 - completa compatibilità con processi CMOS standard;

- possibilità di realizzare un nanotubo di carbonio sulla punta 23 (come spiegato più in dettaglio in seguito).

20 La figura 12 mostra una differente forma di realizzazione, in cui l'attacco per formare la regione di stampo 15 non si ferma quando è stata formata una apertura a cuneo o cuspidè all'interno dello strato sagomatore, ma prosegue fino a raggiungere il substrato 10, di modo che la regione di stampo 15 ha
25 forma di quarto di toroide e l'apertura 16 presenta

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

un fondo smussato. In questo caso, la punta 23 risulta meno appuntita rispetto al caso delle figure 4-11. Ad esempio, l'attacco può essere controllato in modo da ottenere un'apertura 16 avente estremità inferiore di qualche nanometro (ad esempio 3-7 nm).

Tale soluzione può essere sfruttata per la realizzazione di un nanotubo di carbonio sulla punta 23. In tal caso, quando viene depositato il primo strato metallico 18, questo forma una punta 23 la cui estremità è direttamente a contatto con il substrato 10 ed ha dimensioni pari all'area del fondo dell'apertura 16. In seguito, quando viene rimosso il substrato 10 tramite etch back, l'estremità della punta 23 viene liberata. Da tale estremità scoperta della punta 23 è possibile iniziare la crescita di un nanotubo 40 in modo di per sé noto, tramite un processo autoallineato, come visibile in figura 13, mostrante la struttura della sonda dopo l'incollaggio alla fetta portante 36 e la rimozione del substrato 10 per etch back.

La figura 14 mostra una variante nella quale viene utilizzato un singolo strato metallico 18a per la realizzazione della punta 23. Il secondo strato metallico 19 delle figure 4-11 viene sostituito da uno strato isolante 41, di materiale dielettrico adatto (ad esempio nitruro di silicio o Al_2O_3), tale

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

da compensare il coefficiente termico del primo strato metallico 18. In questo caso, prima di realizzare il plug 35, lo strato isolante 41 viene attaccato, per consentire il contatto diretto fra il plug 35 e il primo strato metallico 18.

Secondo un'altra forma di realizzazione, non mostrata, è possibile utilizzare un solo strato metallico 18; in questo caso tale singolo strato metallico 18 deve avere spessore maggiore, ad esempio 100nm. In alternativa, è possibile utilizzare una pluralità di strati metallici sovrapposti, aventi opportune caratteristiche di conducibilità, resistenza all'usura, rigidità, ecc. Tale pila di strati può comprendere anche materiali conduttivi non metallici opportuni ma aventi principalmente funzione meccanica.

La figura 15 è relativa alla realizzazione di una coppia di punte 23, invece di una singola punta. Tale soluzione, descritta ad esempio nella domanda di brevetto internazionale PCT/IT/0600114 o nella domanda statunitense US2005/018616, consente, nel caso in cui la lettura sia di tipo distruttivo, di riscrivere immediatamente il dato letto nella stessa porzione del supporto di memorizzazione. In questo caso, una delle due punte 23 (ad esempio la punta 23a) forma una testina di lettura, mentre l'altra punta (ad e-

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

sempio, la punta 23b) forma una testina di scrittura. In pratica, in questo caso, dopo la deposizione dello strato sacrificale 11, vengono realizzate due fori adiacenti (analoghi al foro 14 di figura 2), che portano alla formazione di due regioni di stampo 15. Quindi, quando vengono depositati gli strati metallici 18, 19, si formano due punte 23a, 23b. In seguito, gli strati metallici 18, 19 vengono sagomati in modo da formare due bracci portanti 22a, 22b separati, e quindi isolati elettricamente uno dall'altro. Per il resto, il processo di fabbricazione è analogo a quello descritto con riferimento alle figure 4-11, e qui la intelaiatura 31 serve anche a collegare meccanicamente i due bracci portanti 22a, 22b.

Nelle figure precedenti, la punta 23 è realizzata di forma conica con parete concava. Tale forma è vantaggiosamente utilizzabile per sistemi di immagazzinamento utilizzanti materiali calcogenici. Tuttavia, altre forme di punta 23 possono essere utilizzate. Ad esempio, il foro 14 di figura 2 può avere una forma poligonale. In particolare, il foro 14 può avere forma quadrata, e in questo caso la punta 23 ha forma a piramide con facce incavate, come mostrato in figura 16.

La figura 17 mostra una forma di realizzazione

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

ottenibile partendo da un foro 14 di forma rettangolare. In questo caso, la punta 23 presenta una lunghezza (corrispondente al lato lungo del foro 14) e stendentesi parallelamente all'asse di simmetria della sonda, indicato schematicamente con A. In alternativa, la dimensione maggiore della punta 23 (lunghezza) può estendersi perpendicolarmente o trasversalmente all'asse di simmetria A. La soluzione allungata è preferibile nel caso di sistema di immagazzinamento di tipo ferroelettrico.

Risulta evidente che alla sonda e al procedimento di fabbricazione descritti possono essere apportate modifiche e varianti, senza uscire dall'ambito della presente invenzione, definito dalle rivendicazioni allegate.

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

R I V E N D I C A Z I O N I

1. Procedimento per la fabbricazione di una sonda destinata all'interazione con un supporto di memorizzazione di un sistema a "probe storage", caratterizzato dal fatto di comprendere le fasi di:

- formare una regione di sagomatura delimitante un'apertura avente, in sezione trasversale, larghezza decrescente a partire da una porzione di base; e

- formare una struttura sospesa di materiale conduttivo comprendente una punta di interazione estendentesi all'interno dell'apertura e controsagomata all'apertura stessa.

2. Procedimento secondo la rivendicazione 1, in cui la fase di formare una struttura sospesa comprende depositare uno strato di materiale conduttivo al di sopra di detta regione di sagomatura e definire lo strato di materiale conduttivo in modo da formare almeno un primo braccio portante e detta punta di interazione sporgente monoliticamente da detto braccio portante.

3. Procedimento secondo la rivendicazione 2, in cui detta fase di definire lo strato di materiale conduttivo comprende formare, contemporaneamente e monoliticamente al primo braccio portante, almeno un secondo braccio portante estendentesi lateralmente al

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

primo braccio portante ed un braccio centrale esten-
dentesi fra e a distanza da detti primo e secondo
braccio portante; il procedimento comprendendo inol-
tre la fase di formare una struttura di irrigidimento
5 di materiale isolante al di sopra di e collegante
meccanicamente detti primo e secondo braccio portante
e detto braccio centrale.

4. Procedimento secondo la rivendicazione 3, in
cui la fase di definire lo strato di materiale con-
10 duttivo comprende formare una porzione di collegamen-
to collegante una prima estremità del primo e del se-
condo braccio portante e portante la punta di intera-
zione.

5. Procedimento secondo la rivendicazione 3, in
15 cui il primo e il secondo braccio portante presentano
una rispettiva prima estremità fra loro adiacenti ma
separate elettricamente e formare la punta di intera-
zione in corrispondenza della prima estremità del
primo braccio portante ed una seconda punta in corri-
20 spondenza della prima estremità del secondo braccio
portante.

6. Procedimento secondo una qualsiasi delle ri-
vendicazioni precedenti, in cui la fase di formare
una regione di sagomatura comprende deporre uno stra-
25 to sacrificale; formare un foro nello strato sacrifi-

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

cale; depositare uno strato di stampo; rimuovere lo strato di stampo all'esterno del foro e parzialmente all'interno del foro in modo da formare detta apertura.

5 7. Procedimento secondo la rivendicazione 6, in cui la punta di interazione presenta una base avente forma scelta fra circolare e poligonale, in particolare quadrata e rettangolare.

10 8. Procedimento secondo la rivendicazione 6 o 7, in cui la fase di rimuovere si interrompe prima che l'apertura attraversi completamente lo strato di stampo all'interno del foro.

15 9. Procedimento secondo la rivendicazione 6 o 7, in cui lo strato sacrificale viene deposto su un substrato portante e la fase di rimuovere viene proseguita fino a quando l'apertura raggiunge il substrato portante, in modo che la punta di interazione presenta un'estremità a contatto con il substrato portante.

20 10. Procedimento secondo la rivendicazione 9, comprendente la fase di rimuovere il substrato e di crescere un nanotubo di carbonio a partire dall'estremità della punta di interazione.

25 11. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui lo strato di materiale conduttivo è un multistrato, comprendente ad

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

esempio uno primo strato di un materiale scelto fra titanio, composti di titanio, cobalto, carbonio, materiali metallici di barriera quali tantalio e suoi composti, ad esempio TaN, TiAlN, TiSiN ed un secondo
5 strato di un materiale scelto fra TiN e alluminio.

12. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 3-11, comprendente inoltre le fasi di:

- fissare la struttura a sonda ad una fetta portante con la punta di interazione rivolta in direzione
10 ne opposta a detta fetta portante; e

- rimuovere la regione di sagomatura.

13. Procedimento secondo la rivendicazione 12, in cui la fase di fissare comprende formare plug conduttivi estendentisi fra una porzione di detti bracci
15 portanti e detta fetta portante.

14. Procedimento secondo la rivendicazione 12 o 13, in cui la fase di formare una regione di sagomatura comprende depositare uno strato di sagomatura al di sopra di un substrato semiconduttore e la fase di
20 rimuovere la regione di sagomatura è preceduta dalla fase di rimuovere il substrato semiconduttore.

15. Sonda destinata all'interazione con un supporto di memorizzazione di un sistema a "probe storage", comprendente una struttura sospesa di materiale
25 conduttivo formata da almeno un braccio portante ed

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

una punta di interazione sporgente monoliticamente dal braccio portante.

16. Sonda secondo la rivendicazione 15, in cui la struttura sospesa comprende:

5 un primo braccio portante;

un secondo braccio portante estendentesi lateralmente al primo braccio portante;

un braccio centrale estendentesi fra e a distanza fra detti primo e secondo braccio portante;

10 una struttura di irrigidimento di materiale isolante estendentesi al di sopra di e collegante meccanicamente detti primo e secondo braccio portante e detto braccio centrale.

17. Sonda secondo la rivendicazione 15 o 16, in cui la punta di interazione presenta una base avente forma scelta fra circolare e poligonale, in particolare quadrata e rettangolare.

18. Sonda secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 15-17, comprendente un nanotubo di carbonio estendentesi da un'estremità della punta di interazione.

19. Sonda secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 15-18, in cui lo strato di materiale conduttivo è un multistrato, comprendente un primo strato di un materiale scelto fra titanio, composti di titanio,

25

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

cobalto, carbonio, materiali metallici di barriera quali tantalio e suoi composti, ad esempio TaN, TiAlN, TiSiN ed un secondo strato di un materiale scelto fra TiN e Alluminio.

- 5 20. Sonda secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 15-19, comprendente almeno un plug conduttivo estendentesi fra una porzione di detta struttura sospesa ed una fetta portante.

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

10

Elena CERBARO

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

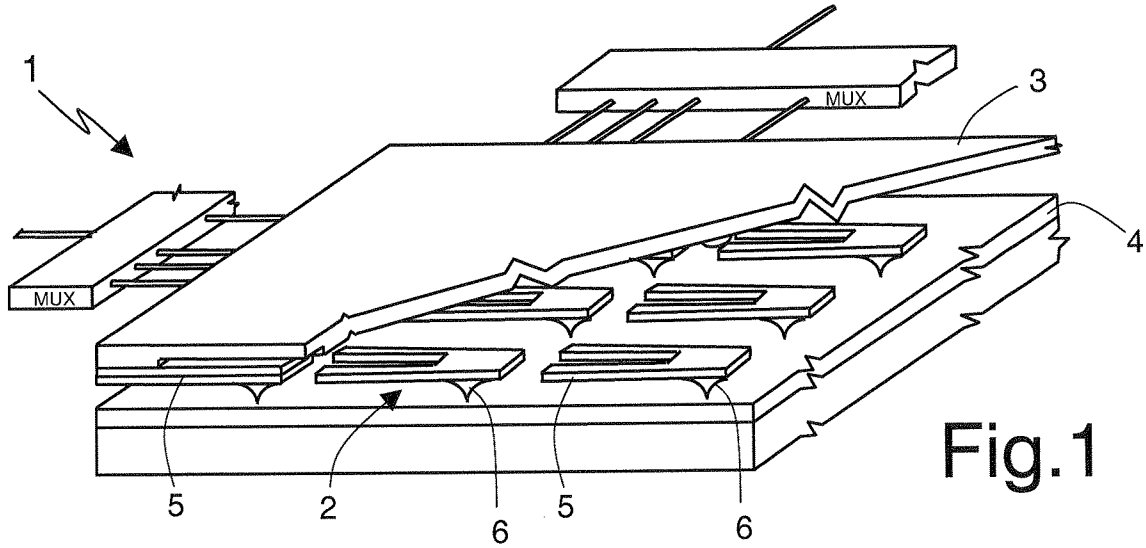


Fig.1

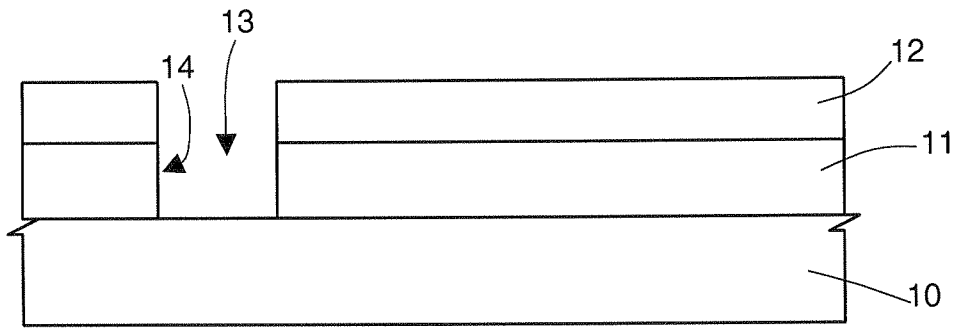


Fig.2

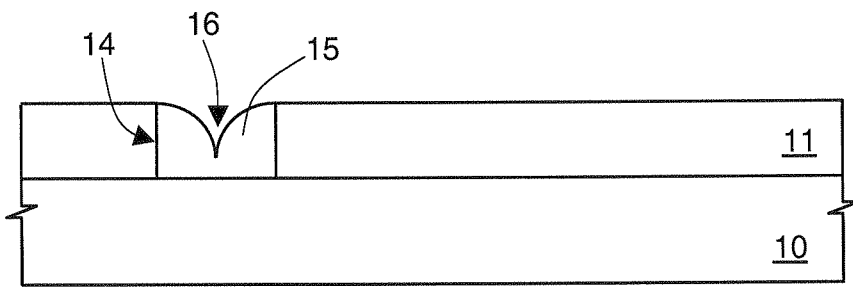


Fig.3

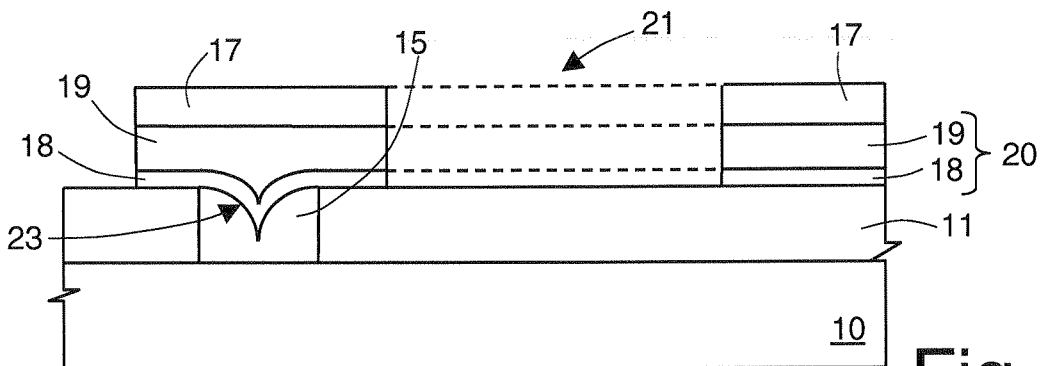


Fig.4

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

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/RM)

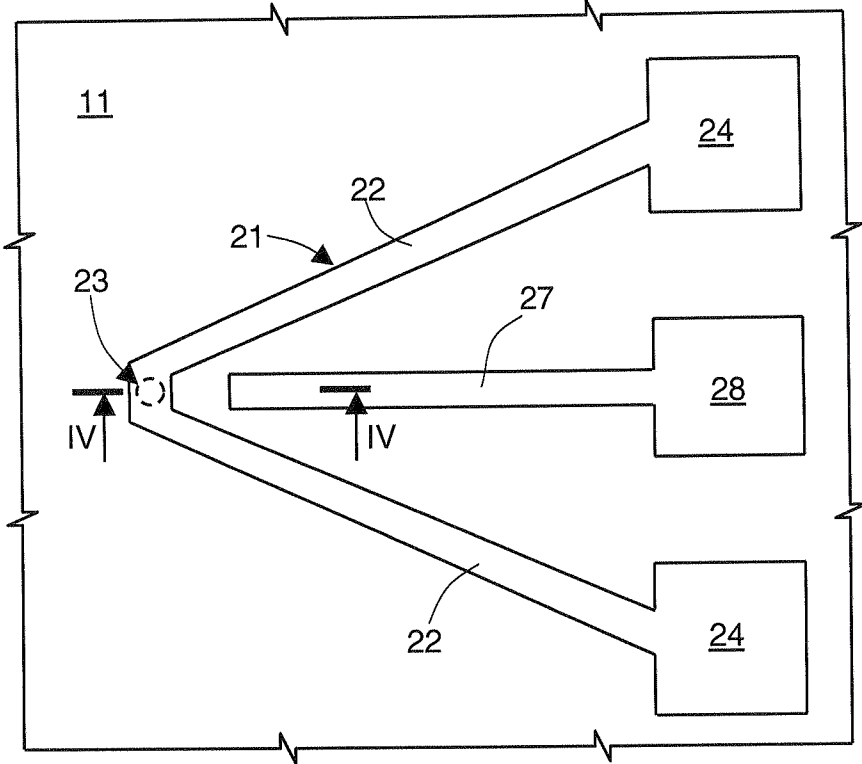


Fig.5

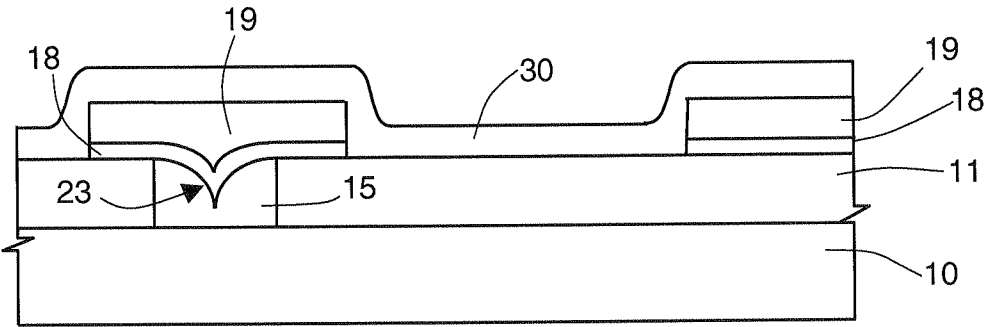


Fig.6

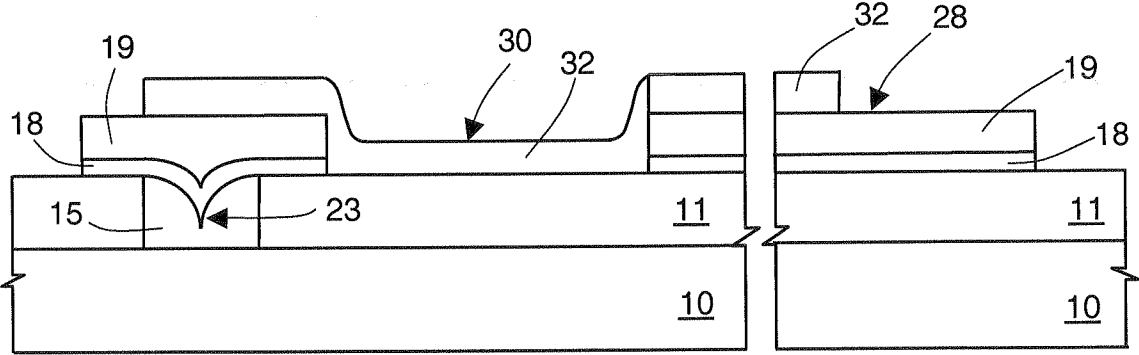
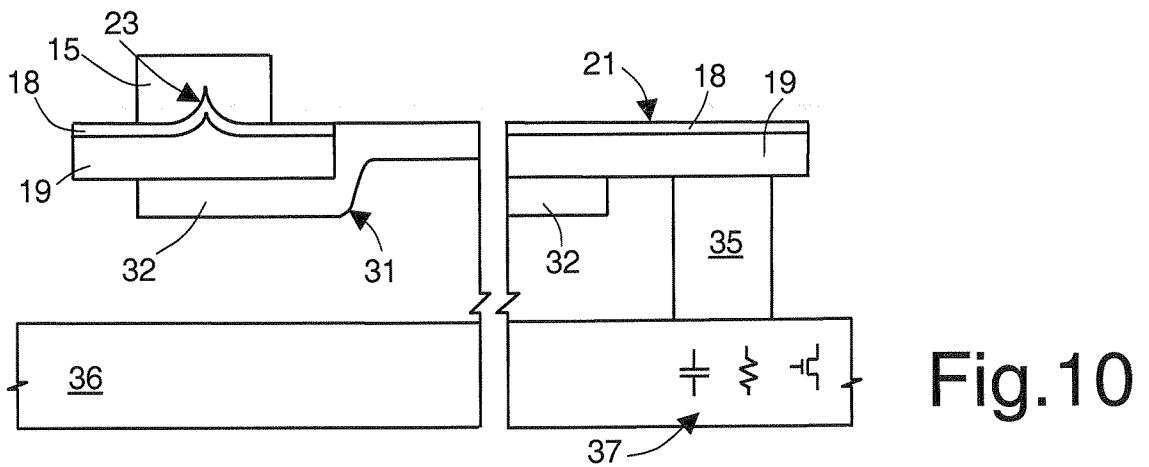
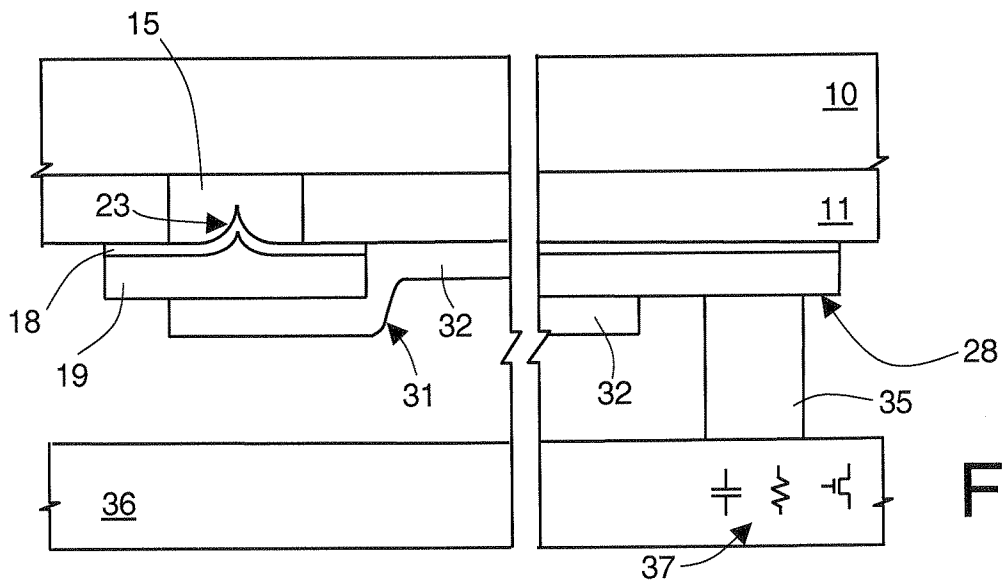
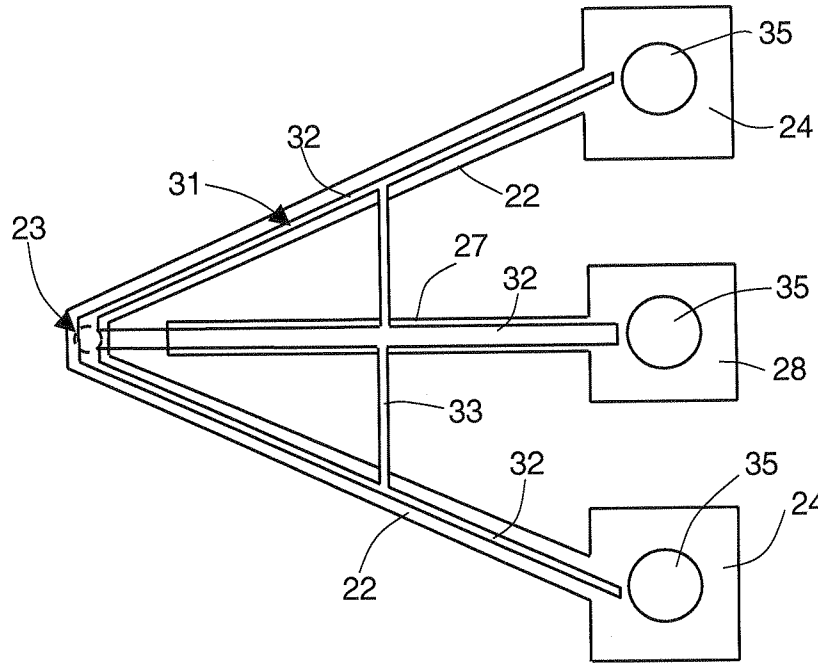
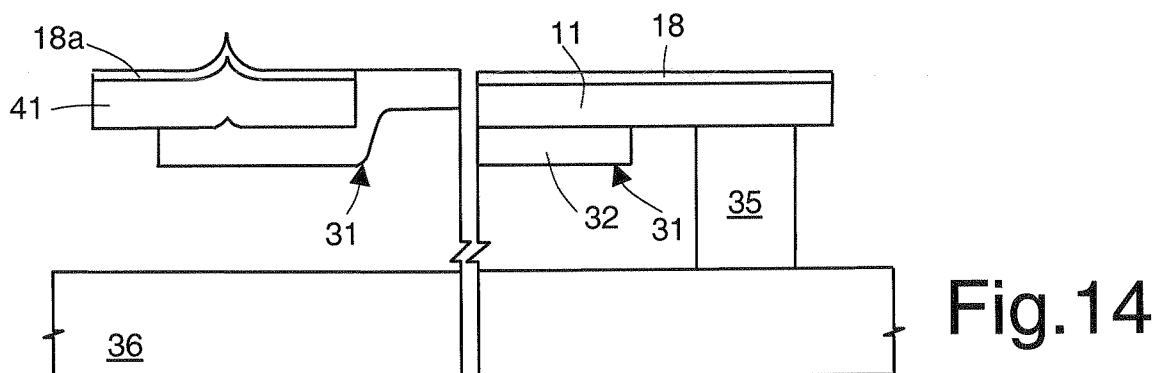
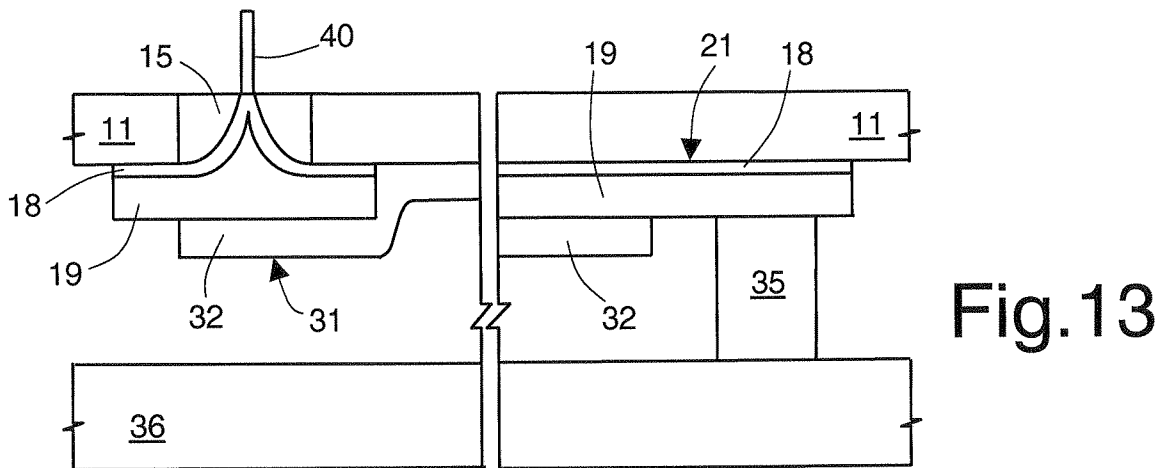
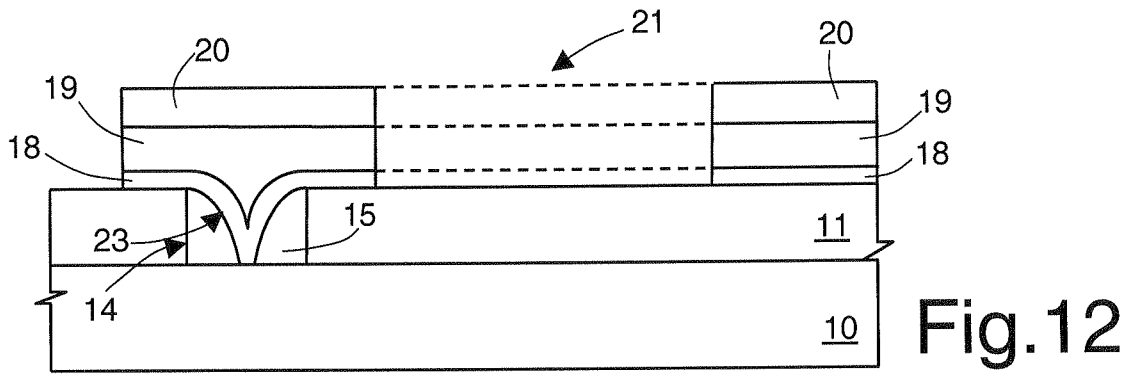
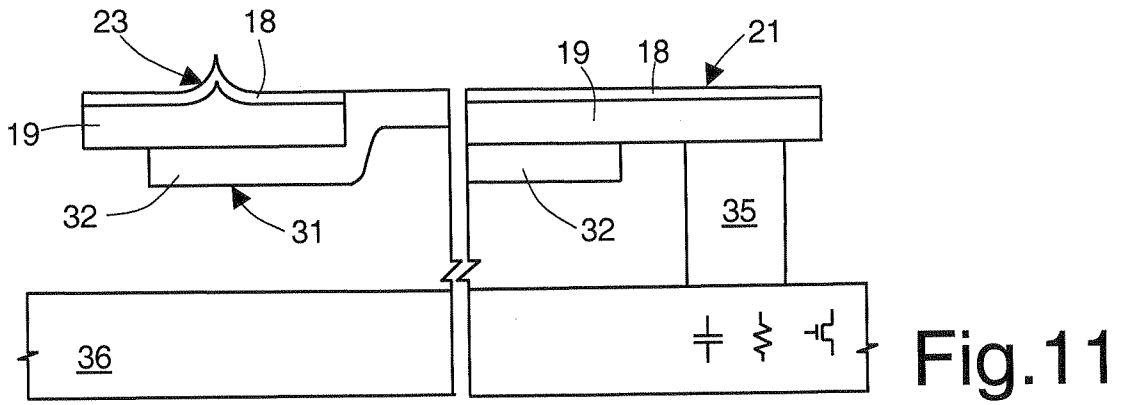


Fig.7

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

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/RM)





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

Elena CERBARO
(Iscrizione Albo nr. 426/BM)

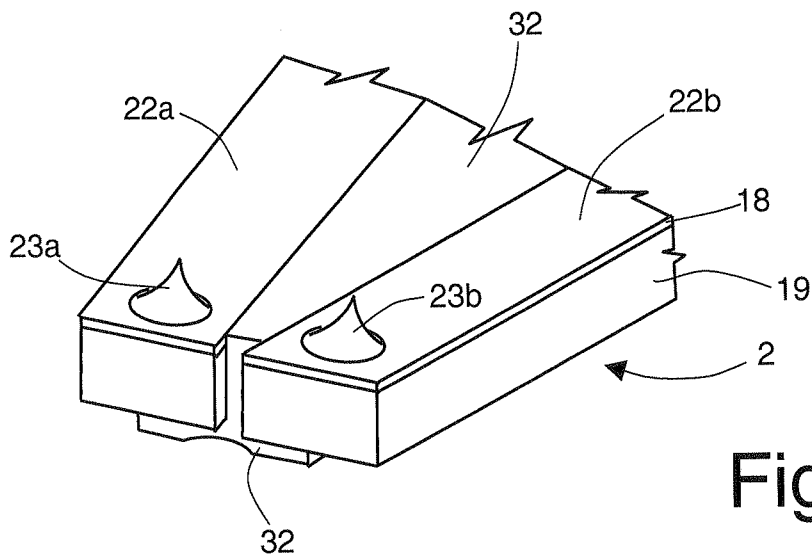


Fig.15

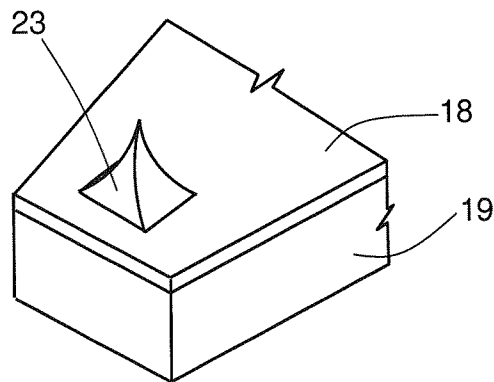


Fig.16

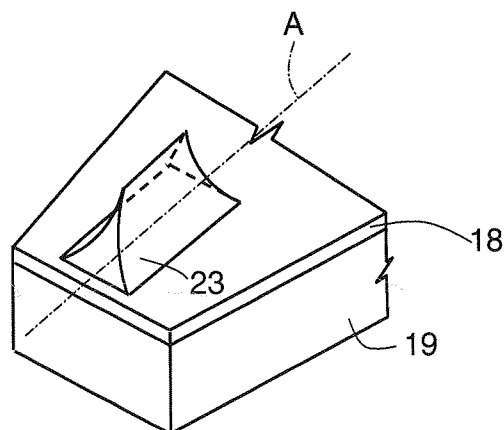


Fig.17