

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

**2 747 841**

②1 N° d'enregistrement national : **97 04891**

⑤1 Int Cl<sup>6</sup> : H 01 L 49/00

⑫

**DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

②2 Date de dépôt : 21.04.97.

③0 Priorité : 23.04.96 DE 19616014.

④3 Date de la mise à disposition du public de la demande : 24.10.97 Bulletin 97/43.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : ROBERT BOSCH GMBH  
GESELLSCHAFT MIT BESCHRANKTER HAFTUNG —  
DE.

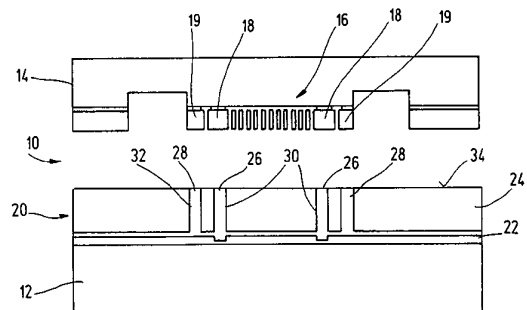
⑦2 Inventeur(s) : LAERMER FRANZ et SCHILP  
ANDREA.

⑦3 Titulaire(s) : .

⑦4 Mandataire : CABINET HERRBURGER.

⑤4 PROCÉDE DE FABRICATION D'ÉLÉMENTS SEMI-CONDUCTEURS PRÉSENTANT DES STRUCTURES MICROMECHANIQUES.

⑤7 Le procédé est caractérisé en ce que les structures micromécaniques (16) sont produites dans une tranche de silicium (14) qui leur est propre, et cette tranche de silicium (14) est mise de façon ajustée sur une tranche de silicium (12) présentant des circuits intégrés, en interposant un élément de liaison (20).



**FR 2 747 841 - A1**



L'invention concerne un procédé de fabrication d'éléments semi-conducteurs présentant des structures micromécaniques.

#### Etat de la technique

5 Il est connu de mettre des structures micromécaniques sur la surface d'éléments semi-conducteurs, par exemple des tranches de silicium présentant des circuits intégrés (IC). Ces structures micromécaniques peuvent être par exemple des éléments de détection librement mobiles, se présentant sous la  
10 forme de détecteurs capacitifs d'accélération, qui consistent en une masse sismique suspendue de façon élastique, et une structure de peigne servant à l'exploitation capacitive du déploiement, dû à l'accélération, de la masse sismique.

Les procédés traditionnels de la micromécaniques de  
15 surface ont recours, pour réaliser de tels éléments de construction, à des couches sacrificiées intégrées dans la construction de la tranche de silicium et, par dessus, à des couches actives de silicium, par exemple en polysilicium sur des îlots de silice, de telle sorte qu'on doit procéder à une venue en  
20 prise massive durant les procédés de fabrication de circuits intégrés.

Selon un autre procédé connu de fabrication, on réalise ces éléments de détection à l'aide de la technique LIGA dans des couches métalliques déposées galvaniquement. Dans le  
25 cas du procédé LIGA, on forme galvaniquement des structures élevées de résiste fabriquées par irradiation synchrotron, et on obtient à partir de là d'abord une première matrice. On utilise ensuite cette matrice pour étamper à haute pression des couches polymères mises sur des tranches de silicium, couches  
30 qui prennent de cette façon une forme en négatif qui est ensuite remplie galvaniquement. La forme polymère est ensuite détruite, de telle sorte que l'élément de détection repose librement. L'inconvénient dans ce cas est que l'on ne peut réaliser une irradiation synchrotron qu'avec de grands moyens, et  
35 par conséquent un coût élevé, à l'aide d'installations de synchrotrons qui ne sont pas courantes dans l'industrie pour une fabrication de composants semi-conducteurs. En outre on court le risque de détruire la tranche de silicium, la forme de ma-

trilage ou les circuits électroniques intégrés dans la tranche de silicium, du fait des pressions élevées de matriçage pendant le matriçage des structures en négatif. De plus un ajustage exact lors du matriçage des éléments de détection, pose des problèmes pour les circuits contenus dans la tranche de silicium. Du fait de l'usure de la forme de matriçage, il est nécessaire d'établir plusieurs répliques de cette forme avant que la fabrication proprement dite des éléments de détection ait lieu. Le déroulement du procédé complet ne pouvait pas encore jusqu'ici être pratiquement mis en évidence. En tout cas, le matriçage sur une tranche de silicium pour circuits intégrés, constitue une intervention dangereuse dans les procédés de fabrication de circuits intégrés.

On connaît par le document DE-44 18 163 A1 un procédé dans lequel les structures micromécaniques sont structurées après coup sur un élément semi-conducteur achevé en formant les structures ultérieures dans des couches rajoutées et en les faisant croître ultérieurement de façon galvanique. L'inconvénient dans ce cas est que, du fait de la formation galvanique des structures micromécaniques, l'ensemble du composant semi-conducteur se compose de matériaux différents qui peuvent conduire à des défaillances dans les zones limites de l'application des composants semi-conducteurs du fait de leurs comportements thermiques différents.

#### Avantages de l'invention

L'invention a pour but de remédier aux inconvénients ci-dessus et concerne à cet effet un procédé de fabrication d'éléments semi-conducteurs présentant des structures micromécaniques, caractérisé en ce que les structures micromécaniques (16) sont produites dans une tranche de silicium (14) qui leur est propre, et cette tranche de silicium (14) est mise de façon ajustée sur une tranche de silicium (12) présentant des circuits intégrés, en interposant un élément de liaison (20).

Le procédé selon l'invention présente ainsi l'avantage que l'on peut créer d'une manière simple un composant semi-conducteur compact avec des structures micromécaniques intégrées. Grâce au fait que les structures micromécaniques

sont produites dans une tranche de silicium qui leur est propre, et que cette tranche de silicium est mise de façon ajustée sur la tranche de silicium qui présente les circuits intégrés, en interposant au moins un élément de liaison électrique et mécanique, il est possible, de façon avantageuse, sans intervenir dans le procédé de fabrication des circuits intégrés, de produire l'autre tranche de silicium qui contient les structures micromécaniques, et d'opérer un couplage électrique et un emboîtement des structures micromécaniques par la jonction des deux tranches de silicium. Grâce à l'agencement des structures micromécaniques sur la tranche de silicium qui contient les circuits intégrés, il n'est pas nécessaire de disposer de davantage de place sur la tranche de silicium qui présente les circuits intégrés. Il est très avantageux d'avoir en même temps l'encapsulation hermétique des structures micromécaniques, car celles ci sont disposées pour être empaquetées de façon sûre à l'abri des influences environnantes de toutes sortes.

Selon d'autres caractéristiques de l'invention :

- l'élément de liaison est posé sur la surface de la tranche de silicium traitée, terminée,
- la tranche de silicium est pourvue d'une structure métallique (couche métallique) sur laquelle on met ensuite une couche de photorésiste,
- on pratique dans la couche de photorésiste des ouvertures servant à produire des structures qui servent à la liaison ultérieure électrique et mécanique des tranches de silicium,
- les ouvertures servant à produire des structures métalliques sont remplies, la couche de photorésiste et la structure métallique sont enlevées, de telle sorte que ce sont uniquement des zones métalliques, relativement élevées, qui forment la partie de liaison,
- les zones métalliques assurent une liaison électrique du circuit intégré de la tranche de silicium et des structures micromécaniques de la tranche de silicium,
- les zones métalliques entourent complètement les zones métalliques, à la manière d'un anneau,

- les tranches de silicium sont jointes en mettant en contact des zones de contact de la tranche de silicium avec les zones métalliques,
- entre les zones de contact et les zones métalliques on établit une liaison intime, électriquement conductrice,
- dans la zone de contact, on produit un alliage entre les matériaux des zones de contact et les zones, en chauffant la tranche de silicium et en refroidissant en même temps la tranche de silicium.
- des sections de la tranche de silicium, qui ne sont pas nécessaires au fonctionnement, sont de préférence enlevées aux points destinés à la rupture, structurés auparavant.

#### Dessins

L'invention sera décrite ci-après plus en détail à partir d'un exemple de réalisation représenté sur les dessins annexés dans lesquels :

- les figures 1 à 3 montrent les différentes séquences du procédé de fabrication d'un composant semi-conducteur qui présente des structures micromécaniques.

#### Description de l'exemple de réalisation

Sur la figure 1 on a représenté les pièces constitutives principales d'un composant semi-conducteur 10 dans une vue en coupe schématique dans leur état de départ. Le composant semi-conducteur 10 consiste en une première tranche 12, par exemple en silicium, qui peut contenir des circuits intégrés que l'on n'a pas représentés ici plus en détail. On associe à la première tranche de silicium 12 une deuxième tranche 14 qui présente ici des structures micromécaniques désignées de façon générale par la référence 16. Dans le cadre de la présente description, on ne s'intéressera pas plus en détail à la production des structures micromécaniques 16. Comme structures micromécaniques 16 on peut avoir par exemple des masses sismiques suspendues de façon élastique, et des structures à peigne servant à l'entraînement des masses sismiques ou à la détection d'un déploiement des masses sismiques dû aux accélérations. La seconde tranche 14 est par exemple également une tranche de silicium, qui possède une construction stratifiée convenant à la production des structures micromécaniques 16. Cette tranche de

silicium 14 peut par exemple être réalisée en un matériau iso-  
lant au silicone, en polysilicium renforcé par épitaxie, sur un  
oxyde intermédiaire, avec un polissage superficiel réalisé  
après coup. La production des structures micromécaniques 16 est  
5 réalisée par exemple au moyen de séquences connues d'un procédé  
basé sur une combinaison de décapages par jet de plasma et de  
sous-décapages isotropes. Lors de la fabrication des structures  
micromécaniques 16, on associe à celles-ci des zones de contact  
18 et 19 ayant une surface relativement grande, pour appliquer  
10 ou prélever des signaux des structures micromécaniques 16.

Entre les tranches de silicium 12 et 14, c'est-à-  
dire entre la partie électronique et la partie sensible du com-  
posant semi-conducteur 10, on dispose au moins un élément de  
liaison électrique et mécanique 20 dont on décrira ci-après la  
15 fabrication plus en détail.

La surface supérieure de la tranche de silicium 12  
traitée et achevée, est pourvue d'une structure métallique 22.  
Pour cela, on peut mettre par exemple superficiellement un re-  
vêtement métallique d'un bout à l'autre sur la tranche de sili-  
cium 12, par exemple un alliage chrome/cuivre pulvérisé. Sur la  
20 structure métallique 22 on met une couche de photorésiste rela-  
tivement épaisse 24, par exemple par projection. A l'intérieur  
de la couche de photorésiste 24 on met, au moyen d'un procédé  
connu de photolithographie, une première structure 26 et une  
25 deuxième structure 28. Pour cela, on appose un masque, non re-  
présenté, sur la couche de photorésiste 24, et l'on réalise un  
enlèvement par dissolution ou par décapage du résiste dans les  
structures ultérieures 26 et 28.

Les structures 26 sont mises d'une manière telle  
30 que celles-ci soient associées géométriquement d'une part aux  
tampons de contact prévus sur la tranche de silicium 12 pour la  
mise en contact électrique des structures micromécaniques 16,  
et d'autre part aux zones de contact 18 des structures micromé-  
caniques 16. La structure 28 produit un sillon qui, vu de des-  
sus, entoure les structures 26, la géométrie de la surface  
35 entourée par la structure 28, correspondant à la grandeur des  
structures micromécaniques 16.

Lors d'une séquence suivante du procédé, on remplit de façon métallique les structures 26 et 28 dans la couche de photorésiste, par exemple au moyen d'un procédé galvanique de dépôt. De cette façon, on obtient les zones métalliques 30 qui  
5 passent à travers la couche de photorésiste 24, dans les structures 26, et une zone métallique 32, dans la structure 28, qui entoure en forme quasiment de cuvette les zones métalliques 30.

Une fois le dépôt métallique effectué, on peut aplanir et lisser la surface 34 au moyen de procédés connus,  
10 par exemple au moyen d'un polissage mécanique. De cette façon, on obtient sur les côtés des zones métalliques 30 ou 32 qui sont tournés à l'opposé de la tranche de silicium 12, une surface complètement plane. La tranche de silicium qui présente les circuits intégrés 12 est protégée par la couche de photoré-  
15 siste 24 pendant ce processus de lissage, de telle sorte que l'on peut exclure des endommagements de la tranche de silicium 12.

Lors d'une séquence suivante du procédé, on enlève alors la couche de photorésiste 24, par exemple en la réduisant  
20 en cendres, d'une manière connue de façon générale dans un jet de plasma d'oxygène. La structure métallique 22 est ensuite enlevée de façon sélective sur la surface de la tranche de silicium 12 et entre les zones métalliques élevées 30 et 32, par exemple par décapage.

25 Les surfaces de contact ultérieures entre les zones métalliques 30 et 32 de l'élément de liaison 20 ou les zones de contact 18 et 19 de la tranche de silicium 14 reçoivent, dans une séquence suivante, un traitement chimique approprié, par exemple une hydrophilisation. De cette façon, on obtient grâce  
30 aux forces de Van der Waals un contact ferme entre les zones de contact 18 et 19, réalisées en silicium, et les zones métalliques 30 ou 32. Il est également possible d'utiliser un métal de brasage ou de déposer par galvanisation ou par pression, une mince couche de brasure.

35 Ensuite on met de façon ajustée les tranche de silicium 12 et 14 en contact, c'est-à-dire que l'on dispose celles-ci l'une sur l'autre d'une manière telle que les zones métalliques 30 viennent en contact avec les zones de contact

18. Pour que les zones de contact 18 soient mises sur une surface relativement grande, la jonction appropriée des tranches de silicium 12 et 14 peut avoir lieu avec une précision d'ajustage suffisamment grande, sans qu'il soit nécessaire d'avoir un ajustage de haute précision et par conséquent coûteux. Les zones métalliques 32 arrivent de cette façon en même temps en contact avec les zones de contact 19.

Ensuite a lieu la fabrication d'une liaison solidaire entre les zones métalliques 30 et 32 ou les zones de contact 18 et 19. Pour cela on peut chauffer brièvement par exemple la tranche de silicium 14, tandis que l'on refroidit la tranche de silicium 12. On peut réaliser cette séquence du procédé au moyen d'un dispositif approprié qui présente par exemple un système de refroidissement venant en contact avec la tranche de silicium 12 et un système de chauffage venant en contact avec la tranche de silicium 14. De cette façon on arrive à pouvoir chauffer les points de contact entre les zones métalliques 30 et 32 ou les zones de contact 18 et 19, à des températures supérieures à 450°C, tandis qu'en même temps la tranche de silicium 12, et les circuits intégrés qui sont disposés dedans, sont protégés contre un chauffage excessif. Grâce au chauffage des zones de contact, on arrive à réaliser la formation d'un alliage entre le silicium des zones de contact 18 et 19, et le métal des zones métalliques 30 et 32, de telle sorte que l'on ait une liaison solidaire mécanique et électriquement conductrice entre les tranche de silicium 12 et 14 au moyen de l'élément de liaison 20. Ceci peut être renforcé encore davantage par une couche de brasure mise auparavant.

Selon d'autres exemples de réalisation on peut obtenir, à la place de la production d'un alliage, une liaison entre les zones de contact 18 et 19 ou les zones métalliques 30 et 32 qui soit effectuée par d'autres techniques, par exemple en utilisant des colles conductrices ou une brasure.

Une fois réalisée la liaison des tranches de silicium 12 et 14, on est assuré d'avoir, sur les zones métalliques 30, une liaison électrique entre les circuits intégrés se trouvant dans la tranche de silicium 12 et les structures micromécaniques 16 formées dans la tranche de silicium 14 pour guider



les signaux. Les zones métalliques 32 qui entourent à la manière d'une paroi les structures micromécaniques 16, ont pour rôle d'une part d'accroître la stabilité de la liaison mécanique entre les tranches de silicium 12 et 14, et d'autre part d'assurer une encapsulation hermétique des structures micromécaniques 16. Les structures micromécaniques 16 sont dans ce cas complètement encapsulées par la tranche de silicium 14 ou la tranche de silicium 12 et la zone métallique 32, de telle sorte que des influences de l'environnement sur l'aptitude à fonctionner des structures micromécaniques 16 sensibles, ne peuvent s'exercer. En outre on évite de façon sûre, grâce à cette encapsulation complète, un endommagement des structures micromécaniques au cours des séquences suivantes du procédé, telles que par exemple l'individualisation des composants 10 et un montage ultérieur dans un boîtier, par exemple par enrobage par injection de matière plastique.

Au cours d'une séquence suivante du procédé, représentée à la figure 3, on libère à nouveau la surface supérieure de la tranche de silicium 12, en enlevant les sections superflues 36 de la tranche de silicium 14, c'est-à-dire les sections qui entourent la structure micromécanique 16 et qui ne sont pas nécessaires pour la suite du fonctionnement du composant semi-conducteur 10. L'enlèvement des sections 36 peut avoir lieu d'une manière simple au moyen d'une section de découpage 38, indiquée ici. Cette section de découpage peut par exemple être réalisée mécaniquement ou au moyen de techniques laser appropriées, etc. Pour avoir l'assurance que, lors de ce découpage des sections 36, il ne se produise pas d'endommagement de la tranche de silicium 12, on peut déjà prévoir, lors de la fabrication de la tranche de silicium 14, des renforcements en forme de sillons 40 qui définissent les points du découpage à opérer.

Selon une variante, il est également possible d'individualiser auparavant, avant la liaison de la tranche de silicium 14 avec la tranche de silicium 12, les structures micromécaniques 16 à partir d'une tranche de silicium composite, de telle sorte que l'on puisse se passer de la séquence

du procédé représentée à la figure 3 sur un composant semi-conducteur 10 déjà joint et achevé

En variante, il est également possible, avant la liaison de la tranche de silicium 14 et de la tranche de silicium 12 d'individualiser les puces de circuits intégrés de la tranche de silicium 12 et de faire un collage contre les puces de détection de la tranche de silicium 14 encore complète. L'individualisation des détecteurs a lieu ensuite ; ceci est alors avantageux quand la tranche de silicium à circuits intégrés présente déjà une topographie difficile c'est-à-dire une topographie manquant fortement de planéité du fait des nombreuses séquences du procédé de fabrication du semi-conducteur, et quand il est difficile de faire un collage complètement plat.

Au total, il est possible de fabriquer des composants semi-conducteurs 10 avec des structures micromécaniques intégrées 16, dans lesquels, pour produire l'élément de liaison 20 assumant le couplage électrique et mécanique, il est uniquement nécessaire d'avoir un plan de masque supplémentaire. Ce plan de masque supplémentaire peut être mis en place après la fin de toutes les séquences du procédé de fabrication de la tranche de silicium 12, de telle sorte qu'il soit exclu d'intervenir dans le processus de fabrication des circuits intégrés.

Dans le cas du composant semi-conducteur 10 achevé, on obtient en outre l'avantage qu'aussi bien la tranche de silicium 12 que la tranche de silicium 14 sont réalisées dans le même matériau de silicium, et qu'en charge permanente ou en cas de changements de la charge, on obtient un même comportement thermique, de telle sorte qu'on peut réduire au minimum l'influence de la chaleur sur la durée de vie du composant semi-conducteur 10.

R E V E N D I C A T I O N S

1°) Procédé de fabrication d'éléments semi-conducteurs présentant des structures micromécaniques, caractérisé en ce que

5 les structures micromécaniques (16) sont produites dans une tranche de silicium (14) qui leur est propre, et cette tranche de silicium (14) est mise de façon ajustée sur une tranche de silicium (12) présentant des circuits intégrés, en interposant un élément de liaison (20).

10

2°) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'élément de liaison (20) est posé sur la surface de la tranche de silicium (12) traitée, terminée.

15

3°) Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que la tranche de silicium (12) est pourvue d'une structure métallique (couche métallique) (22) sur laquelle on met ensuite une  
20 couche de photorésiste (24).

4°) Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on pratique dans la couche de photorésiste (24) des ouvertures destinées à produire des structures (26, 28) qui servent à  
25 la liaison ultérieure électrique et mécanique des tranches de silicium (12, 14).

5°) Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que  
30 les ouvertures (26, 28) servant à produire des structures métalliques (30, 32) sont remplies, la couche de photorésiste (24) et la structure métallique (22) sont enlevées, de telle sorte que ce sont uniquement des zones métalliques, relativement élevées, (30, 32), qui forment la partie de liaison (20).  
35

6°) Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que

les zones métalliques (30) assurent une liaison électrique du circuit intégré de la tranche de silicium (12) et des structures micromécaniques (16) de la tranche de silicium (14).

5 7°) Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les zones métalliques (32) entourent complètement les zones métalliques (30), à la manière d'un anneau.

10 8°) Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les tranches de silicium (12, 14) sont jointes en mettant en contact des zones de contact (18, 19) de la tranche de silicium (14) avec les zones métalliques (30, 32).

15 9°) Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'entre les zones de contact (18, 19) et les zones métalliques (30, 32) on établit une liaison intime, électriquement conductrice.

10°) Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que dans la zone de contact, on produit un alliage entre les matériaux des zones de contact (18, 19) et les zones (30, 32), en chauffant la tranche de silicium (14) et en refroidissant en même temps la tranche de silicium (12).

11°) Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que des sections (36) de la tranche de silicium (14), qui ne sont pas nécessaires au fonctionnement, sont de préférence enlevées aux points destinés à la rupture (40), structurés auparavant.

12°) Élément semi-conducteur comprenant des structures micromécaniques disposées sur la surface d'une tranche de silicium, qui présente des circuits intégrés, caractérisé en ce que

l'élément semi-conducteur (10) est fabriqué selon l'une au moins des revendications 1 à 11.

Fig. 1

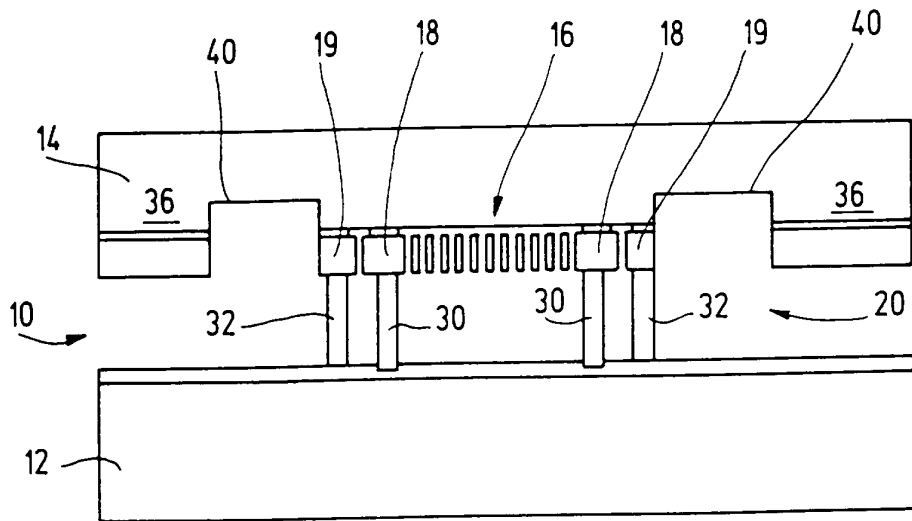
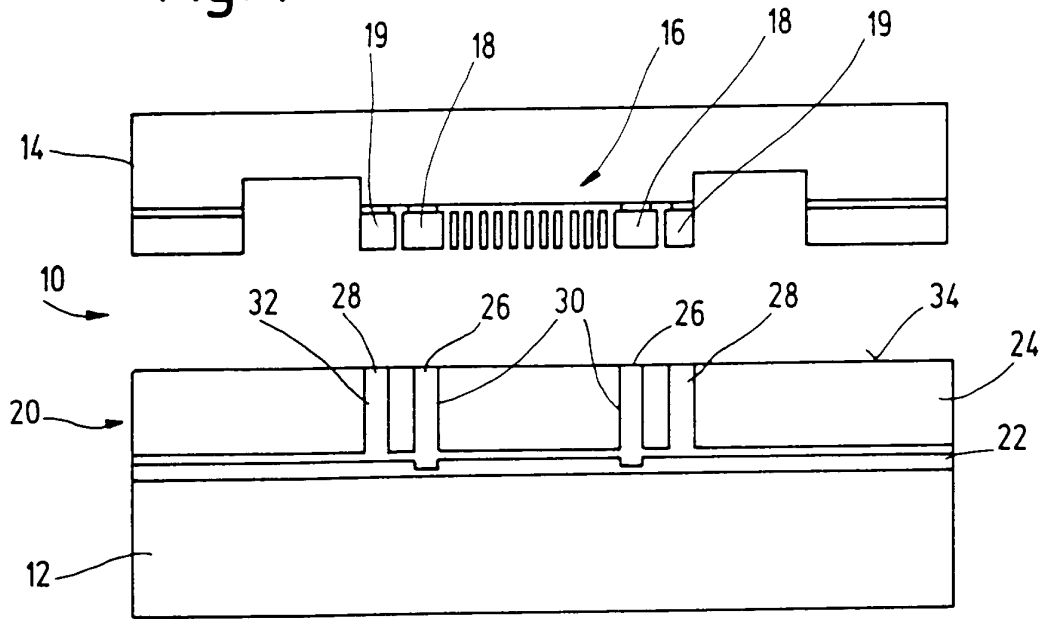


Fig. 2

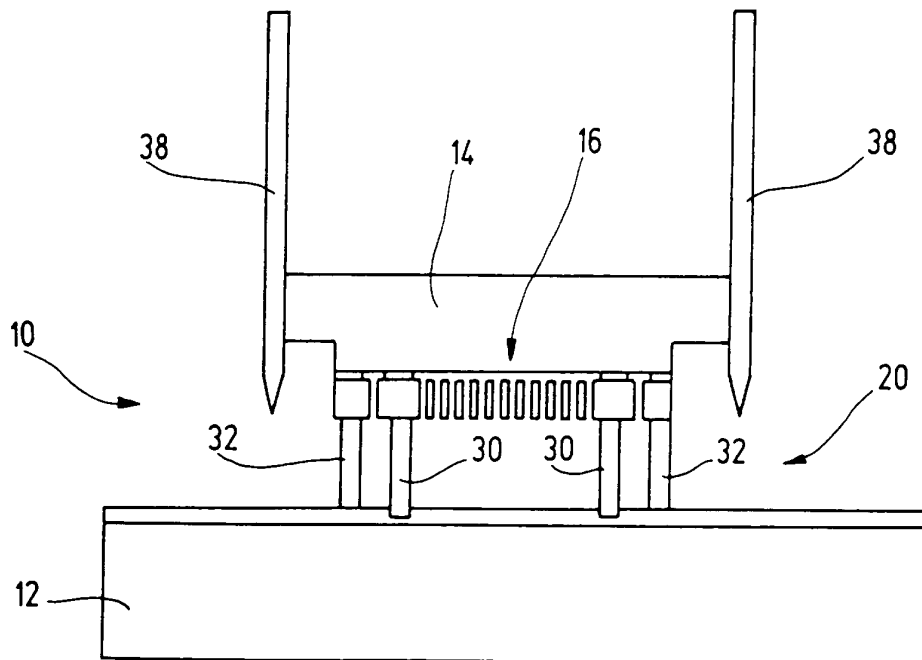


Fig. 3