



(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2003/08/25
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2004/03/04
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2005/02/18
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2003/050036
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2004/018349
(30) Priorité/Priority: 2002/08/26 (02/10571) FR

(51) Cl.Int.⁷/Int.Cl.⁷ B81B 3/00, A61B 5/00, G01L 9/00

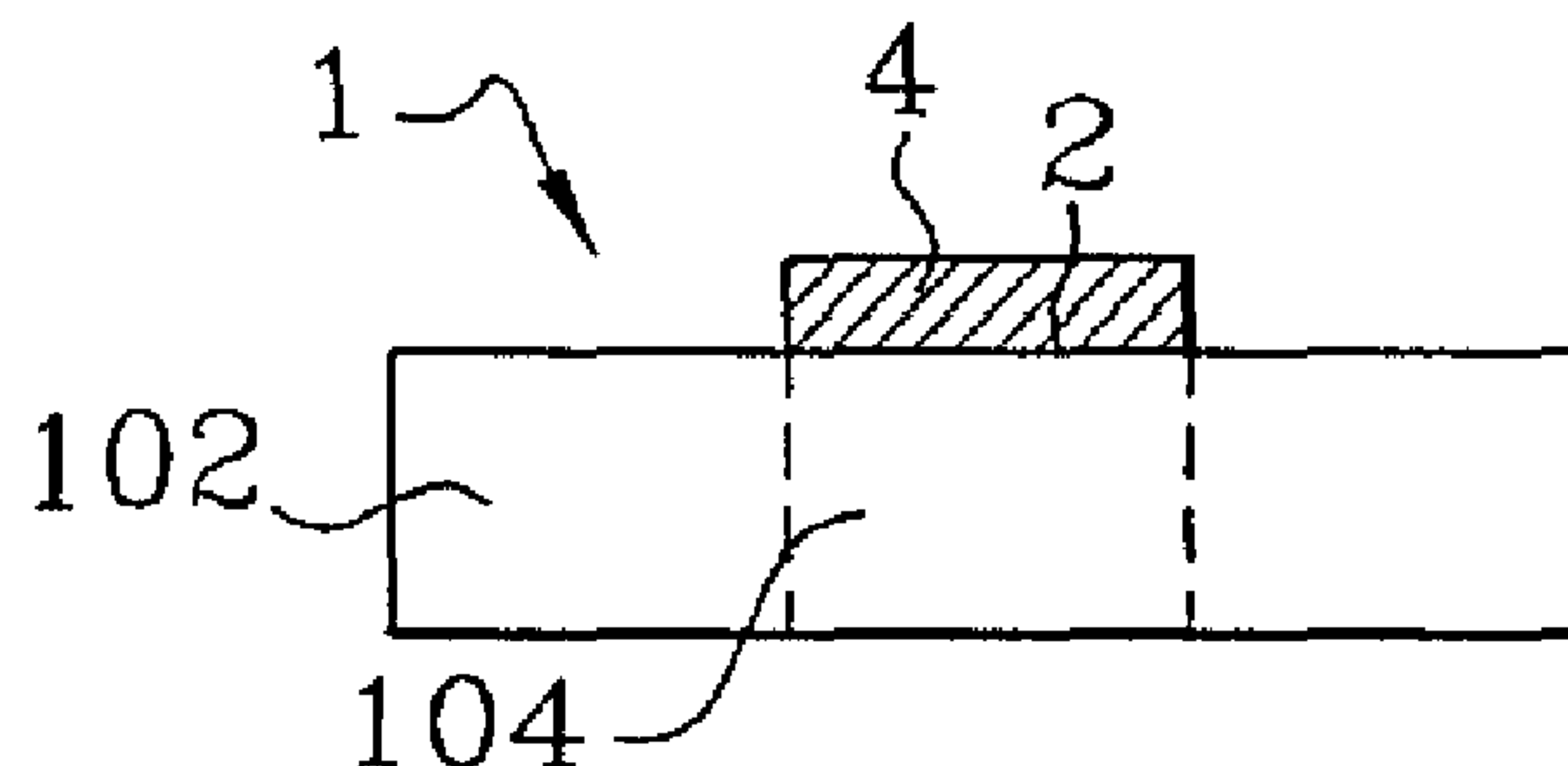
(71) Demandeurs/Applicants:
ALCHIMER S.A., FR;
TRONIC'S MICROSYSTEMS, FR

(72) Inventeurs/Inventors:
BUREAU, CHRISTOPHE, FR;
KERGUERIS, CHRISTOPHE, FR;
PERRUCHOT, FRANCOIS, FR

(74) Agent: GOUDREAU GAGE DUBUC

(54) Titre : MICROSTRUCTURE A SURFACE FONCTIONNALISEE PAR DEPOT LOCALISE D'UNE COUCHE MINCE ET
PROCEDE DE FABRICATION ASSOCIE

(54) Title: MICROSTRUCTURE COMPRISING A SURFACE WHICH IS FUNCTIONALISED THROUGH THE LOCALISED
DEPOSIT OF A THIN LAYER AND PRODUCTION METHOD THEREOF



(57) **Abrégé/Abstract:**

Microstructure électromécanique (1) comprenant une première partie appelée partie mécanique (102) réalisée dans un premier matériau conducteur de l'électricité, et qui comprend d'une part une zone déformable de manière élastique (104) ayant une valeur d'épaisseur et une surface exposée (2), et d'autre part un premier film organique (4) ayant une épaisseur, présent sur l'ensemble de la surface exposée (2) de la dite zone déformable (104), caractérisé en ce que l'épaisseur du premier film (4) est telle que la réponse élastique de la zone déformable (104) munie du premier film (4) ne change pas de plus de 5 % par rapport à la réponse de la zone déformable nue (104) ou en ce que l'épaisseur du premier film (4) est inférieure à dix fois l'épaisseur de la zone déformable (104). Application à la fabrication de microstructures électromécaniques.



(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
4 mars 2004 (04.03.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2004/018349 A3(51) Classification internationale des brevets⁷ : **B81B 3/00**,
G01L 9/00, A61B 5/00(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2003/050036

(22) Date de dépôt international : 25 août 2003 (25.08.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
02/10571 26 août 2002 (26.08.2002) FR(71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US) :
ALCHIMER S.A. [FR/FR]; 2, rue Jean Rostand, F-91400
Orsay (FR). **TRONIC'S MICROSYSTEMS** [FR/FR];
55, rue du Pré de l'Horme, Z.I., F-38920 Crolles (FR).

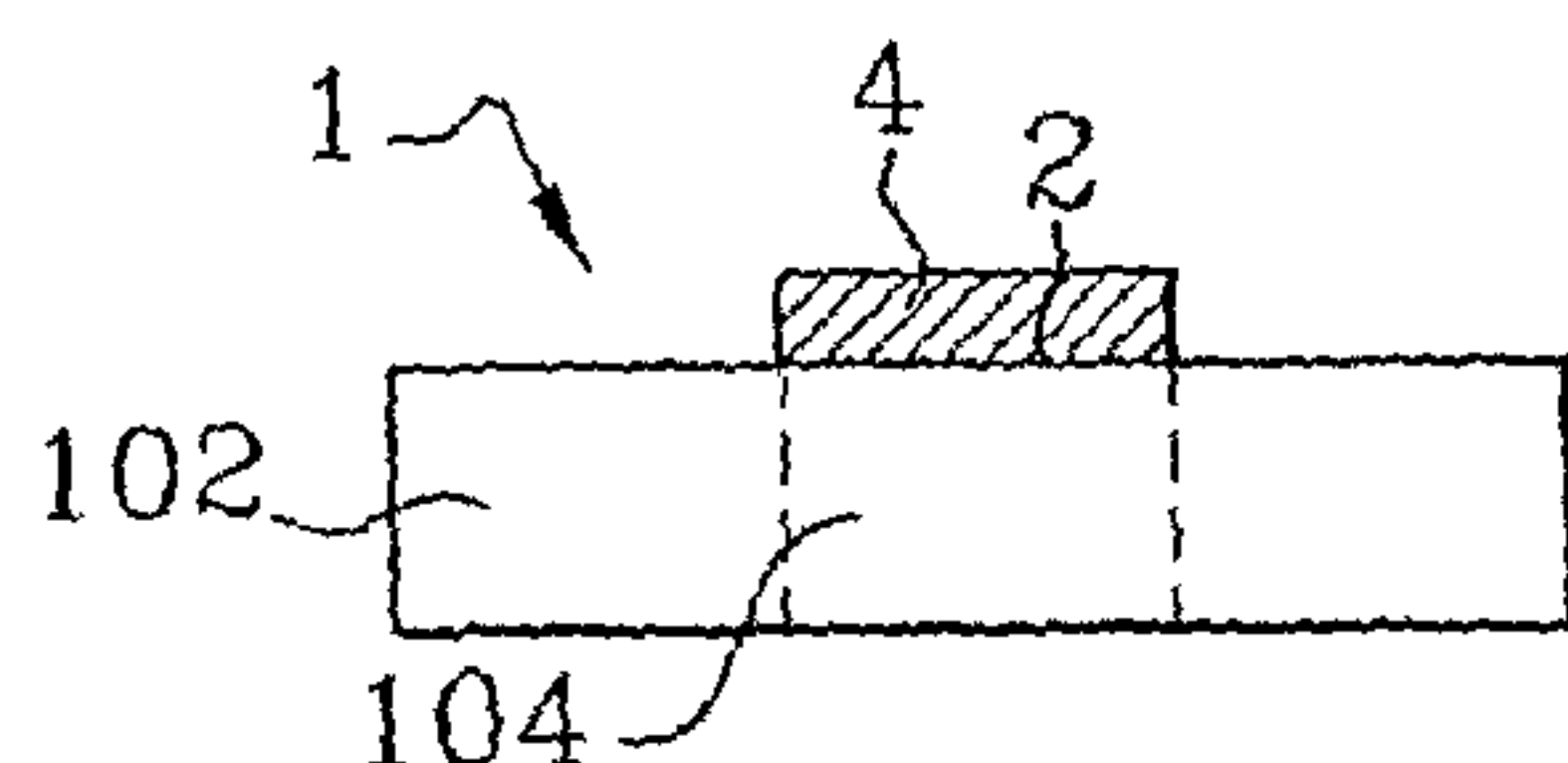
(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **BUREAU**,
Christophe [FR/FR]; 24, rue de la Liberté, F-92150
Suresnes (FR). **KERGUERIS, Christophe** [FR/FR]; 20,
allée Darius Milhaud, F-75019 Paris (FR). **PERRUCHOT**,
François [FR/FR]; 15, rue Ernest Renan, F-92130 Issy les
Moulineaux (FR).(74) Mandataire : **POULIN, Gérard**; Brevatome, 3, rue du
Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).(81) États désignés (*national*) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,
DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK,
LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,
MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,
SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.(84) États désignés (*régional*) : brevet ARIPO (GH, GM, KE,
LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet
eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,
TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).**Publiée :**

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

(88) Date de publication du rapport de recherche
internationale: 20 janvier 2005(15) Renseignements relatifs à la correction:
Correction précédente:
voir la Gazette du PCT n° 23/2004 du 3 juin 2004, Section II

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: MICROSTRUCTURE COMPRISING A SURFACE WHICH IS FUNCTIONALISED THROUGH THE LOCALISED
DEPOSIT OF A THIN LAYER AND PRODUCTION METHOD THEREOF(54) Titre : MICROSTRUCTURE A SURFACE FONCTIONNALISEE PAR DEPOT LOCALISE D'UNE COUCHE MINCE ET
PROCEDE DE FABRICATION ASSOCIE

(57) Abstract: The invention relates to an electromechanical microstructure (1) consisting of a first mechanical part (102) which is made from a first conductive material and which comprises (i) an elastically-deformable area (104) having a given thickness value and an exposed surface (2) and (ii) a first organic film (4) having a given thickness, which is disposed over the entire exposed surface (2) of the aforementioned deformable area (104). The invention is characterised in that (a) the thickness of the first film (4) is such that the elastic response of the deformable area (104) comprising the first film (4) does not change by more than 5 % in relation to the response of the

bare deformable area (104) or (b) in that the thickness of the first film (4) is ten times smaller than the thickness of the deformable area (104). The invention is suitable for the production of electromechanical microstructures.

(57) Abrégé : Microstructure électromécanique (1) comprenant une première partie appelée partie mécanique (102) réalisée dans un premier matériau conducteur de l'électricité, et qui comprend d'une part une zone déformable de manière élastique (104) ayant une valeur d'épaisseur et une surface exposée (2), et d'autre part un premier film organique (4) ayant une épaisseur, présent sur l'ensemble de la surface exposée (2) de la dite zone déformable (104), caractérisé en ce que l'épaisseur du premier film (4) est telle que la réponse élastique de la zone déformable (104) munie du premier film (4) ne change pas de plus de 5 % par rapport à la réponse de la zone déformable nue (104) ou en ce que l'épaisseur du premier film (4) est inférieure à dix fois l'épaisseur de la zone déformable (104). Application à la fabrication de microstructures électromécaniques.



WO 2004/018349 A3

WO 2004/018349 A3



En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

**MICROSTRUCTURE A SURFACE FONCTIONNALISEE PAR DEPOT
LOCALISE D'UNE COUCHE MINCE ET PROCEDE DE FABRICATION
ASSOCIE**

5

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

L'invention se situe dans le domaine des microcomposants comportant une microstructure électromécanique réalisée par micro-usinage et une
10 fonctionnalisation apportée par une couche organique réalisée en surface. L'invention se situe en particulier dans le domaine des capteurs.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

15 La présente invention s'applique aux microstructures électromécaniques, réalisées par micro-usinage selon les techniques MEMs (MicroElectroMechanical Systems) connues basées sur l'utilisation de masques successifs pour effectuer des
20 opérations localisées de micro-usinage chimique ou mécanique. Ces microstructures, lorsqu'elles comportent un élément mécanique se déformant de manière élastique sous l'effet d'une force, associé à des moyens de mesure du déplacement, peuvent par exemple servir de
25 capteur de force : capteur de pression, capteur d'accélération, capteur de contact, jauge de contrainte, ...

L'utilisation en particulier de structures micro-usinées sur silicium mono-cristallin permet
30 d'obtenir des éléments ayant de très hautes performances mécaniques (absence d'hystérésis, réponse

purement élastique sans déformation plastique) pour des encombrements très réduits (de l'ordre du millimètre).

Il est souvent nécessaire d'apporter des fonctions supplémentaires à ces structures à partir de
5 couches minces déposées de manière locale en surface.

A titre d'illustration, les microstructures électromécaniques fabriquées par micro-usinage de silicium sont utilisées pour des capteurs de pression miniatures pouvant être utilisés in vivo dans le
10 domaine médical, en particulier lorsqu'elles sont intégrées au sein de microsystèmes (composant intégrant des fonctions de mesure, de traitement du signal et de communication). Les techniques classiques d'encapsulation des capteurs de pression, comme par
15 exemple l'encapsulation à l'intérieur d'une cellule étanche déformable remplies d'un bain d'huile, ne sont pas adaptées à ces microstructures quand la taille finale du composant est un paramètre critique. Les capteurs de pression peuvent être utilisés, comme les
20 capteurs chimiques, avec la partie sensible du capteur - une membrane - en contact direct avec le milieu à caractériser.

Il peut donc être nécessaire de fonctionnaliser cette partie du capteur pour lui conférer des
25 propriétés particulières vis-à-vis de son environnement.

Ceci est un exemple d'une fonction particulière qui peut être ajoutée à une microstructure électromécanique à partir de dépôts localisés en couche
30 mince. De manière plus générale mais non exhaustive, les fonctionnalisations suivantes peuvent être apportées à ce type de composants. On peut citer :

- la protection d'une zone en contact avec l'extérieur vis à vis de son environnement,
- la modification des propriétés chimiques d'une zone en contact avec l'extérieur pour la rendre compatible
5 avec son environnement (biocompatibilité, lubrification pour faciliter la mise en place, absence de dégradation ...),
- la préparation de l'assemblage mécanique du composant (assemblage de puces entre elles, assemblage de puces
10 sur substrats),
- la préparation de l'interconnexion électrique avec un autre composant (contact électrique entre puces, contact électrique entre puces et substrats).

15 **Problème général de pré-conditionnement**

L'objectif de l'étape de pré-conditionnement est de manière générale d'obtenir une fonctionnalisation de la surface des microstructures permettant de faciliter les étapes suivantes de
20 conditionnement. Lorsque cette étape est collective, elle permet de diminuer le coût final du composant. La qualité d'un procédé de pré-conditionnement se juge, au delà de son coût, par la simplification qu'il permet des étapes suivantes de conditionnement.

25 Il existe aujourd'hui différentes méthodes connues de pré-conditionnement permettant d'apporter différentes fonctions à ce type de microstructures ou composants, en particulier lorsqu'ils sont appelés à être assemblés de manière compacte au sein d'un
30 micro-système.

Fonctionnalisation de la membrane

Pour apporter des propriétés particulières à l'élément sensible d'une microstructure électromécanique à partir du dépôt d'une couche mince, on connaît la fonctionnalisation de la membrane d'un capteur à partir d'une couche mince réalisée en phase liquide par trempage ou par centrifugation. Ces techniques peuvent par exemple être utilisées pour le dépôt de silicones (de type PDMS par exemple) pour des capteurs de pression utilisés in vivo pour des applications médicales [Development of a completely encapsulated intraocular pressure sensor, Walter P. et al, Ophthalmic Research (2000), 32, p 278-284].

On connaît également le dépôt en phase vapeur par plasma (CVD) d'une couche d'un polymère. On sait par exemple déposer par cette technique un polymère particulier, le parylène, connu pour ses propriétés de biocompatibilité [Microfluidic plastic capillaries on silicon substrates : a new inexpensive technology for bioanalysis chips, P. F. Man et al, présenté à la conférence MEMS 1997, Jan. 26-30 1997, Nagoya, Japan].

Ces techniques sont difficilement compatibles avec un cahier des charges imposé à la microstructure, en particulier lorsque celle-ci est utilisée pour réaliser un capteur de haute précision devant être utilisé sur de longues périodes sans calibration.

Ces techniques rendent difficiles le contrôle précis de l'épaisseur réalisée et de l'homogénéité du dépôt pour de faibles épaisseurs. De plus, la liaison entre la couche et la surface à fonctionnaliser n'étant pas une liaison covalente, les qualités fonctionnelles de la couche ne sont garanties que pour des épaisseurs

significatives. En conséquence il est difficile de garantir à partir de ces techniques connues une couche fonctionnelle ne changeant pas les performances mécaniques de la microstructure, en particulier si
5 l'élément mécanique est réalisé en silicium monocristallin ayant des épaisseurs inférieures à la dizaine de microns.

Par exemple, les couches réalisées par dépôt d'un film parylène par plasma sont reconnues comme
10 uniformes, sans perforations, avec une faible perméabilité à la moisissure et de bonnes propriétés diélectriques pour des épaisseurs supérieures à 10 microns et il est difficile de contrôler une épaisseur à mieux que quelques microns. Pour des structures dont
15 la membrane est d'une épaisseur typique de quelques microns, un film d'épaisseur supérieure à 5 μm divise la sensibilité du capteur d'un facteur supérieur à 2. Il est de plus reconnu que l'adhérence des films parylène est de qualité médiocre.

20 Les couches réalisées par dépôt de silicones sont excellentes pour une protection à court terme mais se dégradent rapidement dans le temps. Le problème des bulles d'air qui sont piégées dans la couche est à l'origine de défauts d'adhérence qui se propagent dans
25 le temps.

Il est à noter qu'il est également difficile d'utiliser ces techniques pour réaliser des dépôts sélectifs de manière collective sans recourir à la mise en place de masques mécaniques complexes et coûteux.

30 On connaît pour répondre aux problèmes d'adhérence des couches et d'efficacité à faible épaisseur, des techniques de laboratoire reposant sur

la fonctionnalisation d'une surface à partir de liaisons covalentes : monocouches auto-assemblées par trempage ou par impression par micro-contact [Delamarche E., Michel B., Gerber Ch., Langmuir (1994), 10, p 2869 et Kumar A., Whitesides G.M., Applied Physics Letters (2002), 63, p 1993]. Ces techniques sont restreintes à quelques couples matériau de la couche - matériau de la surface (même s'ils peuvent parfois servir de primaire pour l'accrochage d'autres matériaux moléculaires) comme par exemple des thiols sur de l'or, des silanes sur de la silice ou plus généralement des couches d'oxydes. Bien que connus, les problèmes liés à leur mise en œuvre font qu'ils sont peu utilisés industriellement.

De manière générale, les techniques existantes limitent le choix des propriétés des matériaux pouvant être utilisés et rendent difficile le dépôt sélectif et le contrôle de l'épaisseur.

20 Préparation de l'interconnexion électrique

Pour réaliser l'interconnexion électrique entre la microstructure et un substrat ou un autre composant, on connaît la technique de report de puces (technique dite de "flip-chip"). L'interconnexion électrique et mécanique est effectuée au moyen de bossages de matériau fusible conducteur réalisés sur les plots de connexion de la microstructure et soudés par un traitement thermique aux plots de connexion du substrat de report disposé en regard.

Le pré-conditionnement connu associé à cette méthode de micro-packaging comporte la préparation des bossages à partir de différentes méthodes : collectives

par électrodéposition, évaporation, sérigraphie, ... ou individuelles par stamping, dispensing, ..., à partir de différents matériaux (matériau fusible avec ou sans plomb, polymère fusible, ...).

5 Les techniques connues sont satisfaisantes sur l'aspect d'épaisseur de la couche qui n'est pas critique pour cette fonctionnalisation mais la liaison mécanique assurée par le bossage doit être fiabilisée lors du conditionnement dans la plupart des
10 applications car les différentes méthodes de dépôt utilisées n'assurent pas une bonne liaison mécanique entre le substrat et le bossage. De plus ces techniques mises au point pour les composants électroniques sont moins bien adaptées aux microstructures quand leur plot
15 de contact est de taille inférieure à la centaine de microns.

La fiabilité de l'interconnexion mécanique peut être améliorée par application d'un matériau de remplissage diélectrique, ou "underfill", entre la puce
20 et le substrat qui permet d'encaisser la différence de coefficients de dilatation thermique de la puce et du substrat.

Cette méthode utilise une étape supplémentaire après le pré-conditionnement intervenant après le
25 report donc non collective et est difficile à mettre en œuvre pour des microstructures de faible taille et possédant sur la même face des plots de connexion et une surface sensible (capteur).

Il existe pour répondre à ce problème, par
30 exemple (WO 0057467), des solutions qui permettent d'appliquer lors du pré-conditionnement le matériau de remplissage sur toute la surface d'une plaquette de

puces avant sa dissociation en réalisant une enduction sélective d'un matériau adhésif excluant les zones des plots de contact de chaque puce. L'enduction sélective peut être réalisée, avant ou après formation de
5 bossages sur les plots de contact, par sérigraphie ou par jet de matière. L'étape délicate de remplissage par capillarité de l'interstice situé entre la puce et le substrat de façon individuelle après le report de la puce est ainsi évitée.

10 Il existe également (US6137183), des solutions de pré-conditionnement consistant à appliquer sur toute la surface d'une plaquette de puces avant leur dissociation une colle conductrice anisotrope, en film ou en pâte. De cette façon, on réalise les
15 interconnexions électriques et mécaniques en une unique étape.

Les méthodes décrites ci-dessus permettent uniquement de préparer les composants aux étapes d'assemblage mécanique et électrique. Elles doivent
20 donc être associées à une méthode différente pour réaliser les opérations de protection ou de fonctionnalisation des parties mécaniques.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

Il existe donc un besoin pour des
25 microstructures comportant en surface des fonctionnalisations réalisées à partir d'un dépôt local de matériau en couche mince. Ces microstructures étant réalisées de manière collective sur une plaquette, il existe un besoin pour des plaquettes adaptées au
30 traitement collectif de ces composants.

La présente invention concerne une microstructure électro-mécanique réalisée en général,

de façon collective, par micro-usinage sur laquelle sont ajoutées une ou plusieurs fonctions apportées par le dépôt localisé d'une couche mince. La couche mince déposée présente de bonnes qualités d'adhérence à la surface de dépôt, la liaison étant une liaison covalente. Les épaisseurs de matière apportée et leur homogénéité sont bien contrôlées. Il devient ainsi possible de garantir une bonne reproductibilité et des performances stables dans le temps. Contrairement à l'art antérieur, tous les avantages apportés sont apportés simultanément sans que l'un soit obtenu au détriment de l'autre.

La présente invention concerne également une plaquette permettant la fonctionnalisation collective de microstructures ou puces électromécaniques ou électroniques et de substrats avant les étapes de micropackaging, packaging ou assemblage effectuées lors du conditionnement. On entend par puce un élément miniaturisé fabriqué de façon collective (par lot) par exemple avec les technologies connues de l'électronique et/ou de la micro électronique.

La plaquette permet de manière plus générale la fonctionnalisation collective de composants électroniques ou électro-mécaniques à partir d'une technique de dépôt localisé d'une couche mince. Les plaquettes selon l'invention sont particulièrement adaptées au pré-conditionnement collectif de composants avant leur assemblage au sein de microsystèmes.

La plaquette décrite ici, permet de pré-conditionner une puce de façon collective (donc à faible coût unitaire), dans un encombrement extrêmement réduit (sensiblement de la taille du motif la puce). Il

permet d'apporter de multiples fonctionnalités à la puce par l'utilisation d'une technique générique permettant de faciliter globalement les problèmes d'encapsulation et d'interconnexion. Elle n'impose pas
5 de restriction sur la taille des composants et des surfaces à traiter. Le pré conditionnement des puces ou microstructures de la plaquette dégrade de façon négligeable les performances de chaque puce ou microstructure par rapport à leurs performances avant
10 pré-conditionnement.

L'invention a pour but de proposer une microstructure électromécanique de haute précision à déformation élastique comportant des fonctions apportées par dépôt électrochimique localisé d'une
15 couche mince organique en surface de la partie élastique. L'utilisation de couches organiques peut potentiellement fournir un choix important de fonctions issues de la chimie organique.

Un but de l'invention est également de proposer
20 une telle microstructure qui peut comporter différentes fonctions apportées par des films organiques, y compris hors de la partie élastique sans dégradation sensible des qualités intrinsèques du composant.

L'invention a finalement pour but de proposer
25 un microcomposant réalisé à partir d'une microstructure assemblée sur un support.

Pour atteindre ces buts, l'invention a plus précisément pour objet une microstructure électromécanique comprenant une première partie appelée
30 partie mécanique réalisée dans un premier matériau conducteur de l'électricité, et qui comprend d'une part une zone déformable de manière élastique ayant une

valeur d'épaisseur et une surface exposée, et d'autre part un premier film organique ayant une épaisseur, présent sur l'ensemble de la surface exposée de la dite zone déformable, caractérisé en ce que l'épaisseur du premier film est telle que la réponse élastique de la zone déformable munie du premier film ne change pas de plus de 5% par rapport à la réponse de la zone déformable nue ou en ce que l'épaisseur du premier film est inférieure à dix fois l'épaisseur de la zone déformable.

Une épaisseur du premier film peut être choisie pour ne pas modifier la réponse élastique de la zone déformable munie du premier film ou pour ne pas modifier la stabilité dans le temps de la réponse élastique de la zone déformable munie du premier film. Ce choix doit tenir compte de la qualité souhaitée pour la zone déformable munie du premier film, de l'effet mécanique du film et des fluctuations dans le temps qui lui sont associées. Cela conduit à limiter la modification provenant du film à des valeurs inférieures respectivement à 1% ou 5%.

Ces conditions peuvent également se traduire en terme d'épaisseur du film qui ne doit pas dépasser dix fois l'épaisseur de la zone déformable élastique en premier matériau pour les films les plus souples à deux fois pour les films d'élasticité intermédiaire.

Le film organique est lié de manière covalente à la surface de la zone déformable pour obtenir une forte adhésion et garantir sa fonctionnalité dès les faibles épaisseurs.

Le film organique est préférentiellement réalisé à partir d'une réaction chimique électro-

initiiée permettant l'électro-greffage de monomères sur la surface conductrice, initiant l'accrochage ou la croissance d'une molécule organique isolante de longueur donnée. Cette technique permet de garantir à la fois la localisation spatiale du film et de contrôler son épaisseur. Les films sont préférentiellement réalisées avec un taux de couverture élevé rendant les couches homogènes et denses.

Ce premier film peut apporter simultanément différents types de fonctions à la surface de la zone déformable, comme une protection chimique de la surface ou une fonctionnalisation garantissant différentes propriétés chimiques.

Dans une réalisation particulière, la microstructure comporte différents films organiques sur différentes parties, y compris sur des parties non élastiques. Ces films organiques peuvent combiner différentes propriétés, comme conducteur ou isolant, lubrifiant, adhésif - permettant de faciliter le conditionnement de la microstructure.

L'invention peut être appliquée à la réalisation d'un capteur comprenant une microstructure électromécanique micro-usinée sur semi-conducteur. Ce capteur peut par exemple être un capteur de pression, un capteur tactile ou une jauge de contrainte.

L'apport de fonctions de non cyto-toxicité et d'anti-adhésion cellulaire à la surface de la zone déformable du capteur permet par exemple son utilisation dans le domaine biomédical.

La fonctionnalisation de la surface des contacts électriques avec un revêtement adhésif ou thermofusible permet un assemblage électrique et

mécanique de la microstructure électromécanique sur un support. La réalisation d'un joint d'étanchéité avec un revêtement biocompatible, adhésif ou thermofusible permet l'isolation d'une partie électrique par rapport
5 à une partie mécanique de la microstructure.

L'invention a également pour objet la plaquette comportant un ensemble de microstructures réalisées, de préférence, par un procédé collectif, la plaquette permettant ainsi la fonctionnalisation simultanée d'un
10 ensemble de plages identiques des microstructures. Ces plages identiques définissent une famille de plages à fonctionnaliser, une plaquette pouvant comporter différentes familles.

Dans un premier mode de réalisation, cette
15 plaquette comporte une électrode commune différente pour chaque famille, cette électrode reliant électriquement toutes les plages appartenant à cette famille de plages.

Dans un second mode de réalisation, une même
20 électrode commune est utilisée pour plusieurs familles, chaque famille étant de plus caractérisée par une surface conductrice nue (avant sa garniture) de nature chimique différente au sens de l'électro-greffage.

Dans un troisième mode de réalisation,
25 l'électrode commune est connectée aux différentes plages d'une même famille via des impédances caractérisant une famille considérée. Ces impédances sont des diodes caractérisées par un seuil de conduction, un seuil de conduction nulle étant par
30 convention attribué à un court-circuit. Une diode peut être utilisée pour relier l'électrode commune à une ou plusieurs plages.

Les diodes sont orientées de manière à permettre le passage du courant électrochimique lors de la réalisation de film organique sur les plages de la famille considérée. La diode est réalisée de manière à
5 ce que son courant de fuite avant le seuil soit inférieur au courant électrochimique résiduel avant la formation de du film organique. Dans un mode de réalisation particulier, chaque plage d'une famille est associée soit à une unique diode, soit de façon
10 biunivoque à une diode de chaque microstructure.

Ces modes de réalisation, électrode commune unique, électrode commune pour des familles caractérisées par la nature chimique de la surface, électrode commune pour des familles caractérisées par
15 les diodes utilisées, peuvent être combinés au sein d'une même plaquette. En particulier une électrode commune peut être utilisée pour des familles caractérisées de manière croisée à la fois par la nature chimique de leur surface et par les diodes
20 utilisées.

Dans un mode particulier de l'invention, l'électrode commune peut être associée à des diodes permettant un adressage simultané des plages d'une même famille, chaque plage d'une microstructure étant reliée
25 à l'électrode commune via une diode permettant de tester séparément les microstructures avant découpage de la plaquette.

L'électrode commune peut être réalisée par métallisation à la surface de la plaquette. Les diodes
30 peuvent être réalisées par implantation locale permettant de créer des jonctions à semi-conducteurs de type np ou pn.

Dans un mode préférentiel, le report de l'ensemble des contacts électriques sur une même surface plane de référence permet l'assemblage sur un support plan. Dans ce mode de réalisation, le report
5 des contacts sur des couches inférieures peut être réalisé via des métallisations sur des pans inclinés micro-usinés. Dans le cas d'une microstructure réalisée à partir du micro-usinage de surface d'une plaquette de SOI, la surface plane de référence peut être la surface
10 épitaxiée.

La microstructure, selon des modes de réalisation de l'invention, peut être interconnectée à un support dit d'interconnexion réalisé sur semi-conducteur comportant des pistes et différentes
15 familles de plots d'interconnexion électrique, dont l'une des familles au moins comporte un revêtement adhésif réalisé par greffage électro-initié.

Les motifs du support d'interconnexion (plots, pistes, joint d'étanchéité) sont réalisés en utilisant
20 la sélectivité par les matériaux ou par des diodes réalisées par dopage local. Ce dopage local est également utilisé pour la réalisation des pistes du support, une polarisation appropriée permettant de garantir l'isolation entre pistes. Dans ce mode de
25 réalisation, le substrat semi-conducteur du support peut être utilisé comme l'électrode commune.

La microstructure, selon des modes de réalisation de l'invention, peut être interconnectée à un support dit d'interconnexion lui-même comprenant un
30 composant électronique fabriqué à partir de l'assemblage d'une partie électronique active et d'un capot fonctionnalisable réalisé en partie comme le

support d'interconnexion. Ce dernier assemblage peut être réalisé au niveau des plaquettes par des méthodes connues (wafer bounding et report de contact). De préférence, la fonctionnalisation par électrochimie du capot se fait après l'assemblage.

L'invention peut être utilisée pour réaliser un microsystème comportant une ou plusieurs microstructures telles que décrites ci-dessus, assemblées sur un support d'interconnexion silicium dont l'une au moins des microstructures est assemblé par utilisation d'un revêtement adhésif. Dans le cas d'un capteur, le support d'interconnexion possède une ouverture disposée en regard de la surface sensible (en contact avec l'environnement) du capteur.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description qui va suivre, en référence aux figures des dessins annexés. Cette description est donnée à titre purement illustratif et non limitatif.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La figure 1 est une représentation schématique d'une plaquette de silicium comportant un ensemble de capteurs micro-usinés et d'un circuit électrochimique de garniture.

La figure 2 est un diagramme indiquant, en fonction d'une tension de polarisation appliquée à une plage conductrice, le courant électrochimique traversant un circuit électrochimique de greffage.

Les figures 3a à 3i représentent de façon schématique des coupes transversales d'exemple de microstructures selon l'invention.

Les figures 4a à 4f représentent différents modes de réalisation de plaquette comportant des microstructures selon l'invention.

La figure 5 est une représentation schématique d'une réalisation particulière d'une microstructure permettant de réaliser un capteur de pression conforme à l'invention comprenant une membrane fonctionnalisée. Elle comporte une partie A représentant une coupe transversale de la microstructure et une partie B
10 représentant une vue de dessus.

La figure 6 est une représentation schématique d'un microsystème réalisé à partir de l'assemblage sur un support d'interconnexion, d'une microstructure selon l'invention, d'un composant électronique dédié (ASIC). Elle comporte une partie A représentant une coupe transversale du microsystème après assemblage, une partie B représentant une vue de dessus avant assemblage du support d'interconnexion, et des parties C et D représentant schématiquement une vue de dessus
15 avant assemblage du circuit intégré et de la microstructure respectivement.

La figure 7 est une modélisation de la configuration permettant la fonctionnalisation sélective de deux familles de plages reliées électriquement. Elle comporte une partie A représentant de façon schématique, la topologie de la configuration et une partie B représentant une modélisation électrique de la partie en solution du circuit électrochimique.
25

La figure 8 indique les modifications du diagramme de la figure 2 pour le circuit électrochimique modélisé figure 7.
30

La figure 9 est une représentation schématique d'une réalisation particulière d'une microstructure conforme à l'invention permettant de réaliser un capteur de pression comprenant une membrane
5 fonctionnalisée, des contacts électriques recouverts d'un film organique et un joint d'étanchéité. Elle comporte une partie A représentant une coupe transversale de la microstructure et une partie B représentant une vue de dessus.

10 La figure 10 décrit le diagramme associé aux étapes successives de fonctionnalisation de la microstructure de la figure 9.

La figure 11 est une représentation schématique d'un support d'interconnexion en silicium comprenant
15 une antenne de couplage permettant d'assembler une microstructure selon l'invention et un circuit intégré formant un composant électronique d'interface. Elle comporte une partie A représentant une coupe transversale du support d'interconnexion et une partie
20 B représentant une vue de dessus.

La figure 12 est une coupe schématique d'un microsystème réalisé par l'assemblage d'un support d'interconnexion tel que décrit sur la figure 11 après fonctionnalisation avec une microstructure telle que
25 décrit sur la figure 9 après fonctionnalisation et un composant électronique classique assemblé par wire-bonding.

La figure 13 est une représentation schématique d'un composant électronique conforme à l'invention
30 comprenant une partie électronique active et un capot de protection permettant d'obtenir des contacts électrique recouverts d'un adhésif. Elle comporte une

partie A représentant une coupe transversale du composant et une partie B représentant une vue de dessus.

La figure 14 est une coupe schématique d'un microsysteme réalisé par l'assemblage d'un support d'interconnexion en silicium comprenant une antenne de couplage, tel que décrit sur la figure 11, après fonctionnalisation, avec une microstructure, telle que décrite sur la figure 9, après fonctionnalisation, et un composant électronique tel que décrit sur la figure 13, après fonctionnalisation.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Dans la description qui suit, des parties identiques, similaires ou équivalentes sur une même figure sont repérées par les mêmes signes de référence. Par ailleurs, et dans un souci de clarté des figures, tous les éléments ne sont pas représentés selon une échelle uniforme. De plus des zones réalisées dans un matériau ou le matériau constituant ladite zone sont représentées par le même numéro de référence.

Circuit électrochimique et substrat de capteur

La figure 1 montre une plaquette de silicium 100 particulière, conforme à l'invention.

La plaquette de silicium 100 comprend une pluralité de microstructures 1 réalisés à sa surface. Les microstructures 1 sont représentés schématiquement par une partie mécanique 102 comportant une zone déformable 104 sous la forme d'une membrane. Les microstructures 1 sont susceptibles de recevoir une garniture par voie électrochimique permettant de

fonctionnaliser leur membrane 104. Les membranes 104
nues représentent des plages à garnir. Elles sont
électriquement reliées par une électrode commune 106 à
un plot d'adressage commun représenté symboliquement
5 par la référence 108 sur la figure 1. Le plot
d'adressage commun 108 peut être disposé ou non sur la
plaquette de silicium 100.

La référence 120 indique un potentiostat pour
la réalisation d'un montage de préférence à 3
10 électrodes. Le potentiostat 120 est relié à une
électrode de travail 110, connectée au plot d'adressage
commun 108, à une électrode de référence 122 et à une
contre-électrode 112. La contre-électrode 112, et les
plages conductrices à garnir 104 sont mises en contact
15 avec un même milieu électrochimique 114 de façon à
former ensemble avec la plaquette 100, le circuit
électrochimique 116. Dans le montage à 3 électrodes
utilisé, les potentiels sont mesurés par rapport à
l'électrode de référence 122.

20 On applique un potentiel au plot d'adressage
commun 108 soit par un montage à 2 électrodes, soit, de
préférence et comme représenté figure 1, par un montage
à 3 électrodes de façon à ce que ce potentiel soit égal
à une valeur V donnée par rapport à une référence.

25 La composition du bain électrochimique peut
être largement variable en fonction du type de
garniture que l'on souhaite former sur les plages
conductrices. On entend par garniture un revêtement
organique réalisé en couche mince par voie
30 électrochimique.

Voltamogramme

La figure 2 est un diagramme, plus précisément un voltammogramme, indiquant en ordonnée l'évolution d'un courant électrochimique dans le circuit 116 représenté figure 1. Le courant est donné en fonction d'un potentiel appliqué à une plage conductrice 104 par rapport à l'électrode de référence 122. Ce potentiel est reporté en abscisse. Les courant I et tension V sont indiqués en échelle arbitraire.

Le diagramme de la figure 2, donné à titre d'illustration, correspond à un procédé de garniture particulier obtenu par réaction électro-initiée : il s'agit d'un électro-greffage couplé à une croissance chimique de polymère, tel qu'il peut être obtenu par électro-réduction ou électro-oxydation de monomères vinyliques ou de monomères cycliques clivables par attaque nucléophile ou électrophile, ou encore par l'électro-réduction ou l'électro-oxydation de précurseurs électro-clivables, en particulier lorsque leurs produits d'électro-réduction ou d'électro-oxydation sont des radicaux réactifs, notamment par l'électro-réduction de sels de diazonium, de sulfonium, de phosphonium ou d'iodonium. L'électro-greffage de monomères permet de fixer de façon covalente des polymères sur les plages conductrices ou semi-conductrices. Ces polymères "poussent" sur la surface à partir du premier monomère électro-réduit sur la surface conductrice 104, par croissance chimique. Seule la première étape d'accrochage du premier monomère sur la surface est électrochimique, la croissance étant, elle, purement chimique. On a donc bien une réaction électro-initiée. L'électro-greffage de sels de

diazonium et analogues conduit - en général - à des couches qui ne croissent pas. C'est donc un cas particulier d'une réaction électro-initiée, réduite à sa plus simple expression.

5 Dans la suite, les tensions sont indiquées en valeur absolue, et sont implicitement celles de l'électrode de travail, mesurées par rapport à une électrode de référence. Comme indiqué plus haut, elles ne correspondent à la tension effectivement appliquée
10 expérimentalement que dans le cas d'un montage à 3 électrodes (la chute ohmique dans le circuit électrochimique étant supposée compensée par le potentiostat). Dans le cas d'un montage à 2 électrodes, il aura fallu imposer une tension V' différente de V ,
15 non mentionnée sur le graphique. La polarité constante de la tension appliquée pour une garniture donnée, est appelée polarité de la garniture. Lorsque la tension de polarisation est comprise entre une valeur nulle et une valeur de démarrage V_s , un courant électrique très
20 faible, voire indétectable, traverse le circuit. En tout état de cause, ce courant est insuffisant pour produire un dépôt détectable a posteriori par des moyens d'analyse des surfaces. On considérera, de ce fait et étant donné les objectifs recherchés, que la
25 copolymérisation considérée ici est une réaction électro-initiée qui n'a lieu qu'à partir d'une tension de polarisation minimale.

A partir d'une tension de démarrage V_s , et jusqu'à une tension de seuil de garniture V_g un courant
30 faible circule dans le circuit électrochimique 116. Ce courant ne traduit cependant pas nécessairement un phénomène de garniture. Il correspond à des réactions

parasites concurrentes qui promeuvent essentiellement une chimie couplée se déroulant en solution, et ne délivrant donc pas de dépôt organique significatif.

En effet, le courant électrochimique traversant
5 le circuit n'est pas exactement corrélé à la croissance d'un matériau de garniture sur les plages conductrices. Le courant électrochimique traduit au moins deux phénomènes distincts et concurrents. Un premier phénomène est le phénomène recherché et correspondant à
10 la formation de la garniture sur les plages conductrices. Un autre phénomène correspond à la formation parasite de polymères dans le bain électrochimique, indépendamment du support de garniture. Les polymères ainsi formés se fixent
15 éventuellement sur les plages conductrices par sorption physique mais leur fixation n'est pas stable, ils sont éliminés par rinçage.

La garniture proprement dite s'établit à partir d'une tension de seuil V_g . On désigne par V_{sat} un
20 potentiel appelé "potentiel de saturation", qui est en général supérieur à un potentiel de pic V_p pour lequel le courant en fonction du potentiel appliqué présente un maximum. Le "potentiel de saturation" V_{sat} est un potentiel à partir duquel l'épaisseur de matériau
25 greffé ne change pas avec le temps d'application de la tension à la plage conductrice. Ladite épaisseur est la limite asymptotique de l'épaisseur maximale que l'on peut obtenir dans un bain électrolytique donné. Ce potentiel correspond aussi à une valeur minimale
30 permettant, à partir de balayages voltammétriques de potentiel effectués entre une valeur inférieure ou égale à V_g et une valeur d'arrêt supérieure ou égale à

cette valeur minimale V_{sat} , d'obtenir des courbes -une courbe par valeur d'arrêt- donnant l'épaisseur du film en fonction du nombre de cycles, par exemple en conditions voltammétriques ou en multicroûneaux, les
5 différentes courbes obtenues présentant toutes cette même asymptote, indépendante de la valeur exacte du potentiel d'arrêt utilisé. C'est aussi le potentiel minimal avec lequel, moyennant un nombre de cycles voltammétriques suffisant effectués entre une valeur
10 inférieure à V_g et une valeur d'arrêt supérieure au potentiel de saturation V_{sat} , on parvient à saturer les sites de la plage conductrice en chaînes polymères électro-greffées. Dans l'intervalle de tension compris entre V_g et V_{sat} , le phénomène de garniture est
15 prédominant. Cet intervalle est appelé la largeur de potentiel de garniture.

En augmentant encore la tension de polarisation, au-delà de V_{sat} , le phénomène de garniture des plages conductrices devient minoritaire
20 par rapport à d'autres phénomènes concurrents tels que la formation de matériaux en solution dans le bain électrochimique, mais le dépôt de polymères électro-greffés à la surface se stabilise.

Ainsi, la polarisation des plages à garnir est
---25 idéalement maintenue au moins égal au potentiel de saturation V_{sat} .

Les valeurs des différents potentiels, V_s , V_g , V_p , V_{sat} du voltammogramme dépendent à la fois de la nature
N de la surface conductrice d'une plage à garnir et du
30 type de garniture X. Ceci sera rappelé lorsque nécessaire par la notation $V[X/N]$ par la suite.

Principe greffage localisé homogène

Il est difficile d'envisager des résolutions latérales et en épaisseur élevées avec des techniques d'électrochimie conduisant à des revêtements organiques dont l'épaisseur est une fonction fortement croissante avec le temps de traitement et la valeur locale du champ électrique, ce qui est notamment le cas pour les réactions électro-suivies, comme l'électro-déposition de métaux ou de poly-électrolytes, ou encore l'électro-polymérisation, par exemple de précurseurs de polymères conducteurs (pyrrole, aniline, thiophènes et dérivés). Ces réactions électro-suivies ont en commun de provoquer la formation d'un dépôt (non greffé dans le cas des dépôts organiques), dont la quantité de matière - donc en général l'épaisseur - est proportionnelle à la charge (intégrale temporelle du courant électrique) passée dans le circuit pendant le protocole. Les inhomogénéités de potentiel, provoquées par des différences de chutes ohmiques par exemple, conduisent à des épaisseurs très différentes. Des inhomogénéités locales de champ électrique, provoquées par des effets de pointe, conduisent à des effets de bord importants. On veut dire que la garniture déborde de la plage conductrice d'implantation d'une façon mal contrôlée en sorte que la résolution spatiale de la garniture et donc la densité des plages conductrices (rapport entre le nombre de plages ayant chacune une surface et la surface totale du substrat sur lequel se trouvent ces plages) est limitée.

Le greffage électrochimique à partir de réactions électro-initiées telles que décrites précédemment permet par contre de réaliser un greffage

localisé car il est par nature moins sensible aux inhomogénéités de champ électrique. Ce greffage localisé permet de traiter des supports avec une grande densité de plages, sans utilisation de masques.

5 L'épaisseur locale d'un revêtement réalisé à partir d'une réaction électro-initiée utilisant le greffage de monomères isolants pour accrocher certaines chaînes organiques ou initier leur croissance, dépend de la longueur de la chaîne formant la molécule du
10 produit greffé et de la densité de greffage. La molécule étant choisie de manière à ce que sa longueur de la chaîne soit une donnée intrinsèque de la solution utilisée, le procédé conduit donc à une saturation de l'épaisseur du revêtement et limite les effets de bord.

15 Seul le taux de couverture de la plage par la garniture, défini par le rapport entre la surface de la garniture couvrante et la surface de la plage, est une fonction dépendant de la cinétique électrochimique de la réaction de greffage. Un premier niveau
20 d'homogénéité du revêtement est obtenu dès que le potentiel à la surface de chaque plage se trouve dans une fenêtre de potentiel garantissant une cinétique de greffage minimale. Cette condition moins contraignante celle décrite ci-après facilite la mise en œuvre
25 pratique en limitant les effets des inhomogénéités du potentiel. Le taux de greffage défini comme étant le nombre de sites de la surface greffés sur le nombre total de sites disponibles de la surface, qui est alors obtenu est typiquement supérieur à 30%. Ce taux de
30 greffage correspond à un taux de couverture de 60%.

Lorsque l'homogénéité en épaisseur est un paramètre critique pour la qualité du revêtement

obtenu, les effets des variations de potentiel peuvent même être évités en utilisant le procédé dans un mode de saturation : en répétant le balayage de la tension entre un potentiel inférieur à V_g et un potentiel se situant au delà du potentiel de saturation jusqu'à obtenir une saturation du nombre de sites greffés, l'épaisseur du revêtement est une valeur intrinsèque qui ne dépend plus de la valeur exacte du potentiel local mais juste de sa présence dans une fenêtre de potentiel au delà du potentiel de saturation. Ce mode fournit un taux de greffage élevé (supérieur à 60%, qui correspond le plus souvent au taux de greffage maximal compte tenu de l'encombrement stérique entre chaînes voisines. Ces taux de greffage assurent des taux de couverture supérieurs à 90%, ce qui signifie que le revêtement est couvrant ou quasiment couvrant).

Effet de la résistance d'accès

Les inhomogénéités du potentiel peuvent provenir de l'existence d'une résistance de valeur finie le long de l'électrode commune 106. En effet, en se référant à la figure 1, le potentiel contrôlé est celui appliqué par le potentiostat 120, au niveau du plot d'adressage commun 108, mesuré par rapport à l'électrode de référence 122. Or c'est le potentiel présent localement entre chaque plage à garnir 104 et l'électrode de référence 122 qui gouverne la réaction électro-initiée.

Pendant la phase de garniture, le potentiel V dépend du courant circulant dans l'électrode commune 106. Le modèle le plus simple pouvant être utilisé comporte une résistance R prenant en compte la chute de

potentiel due à l'électrode commune 106. Par rapport à la figure 1, il s'agit, pour une plage donnée, de la résistance associée à la longueur de la ligne joignant cette plage au point de raccordement commun 108. Cette
5 résistance est variable d'une plage à l'autre puisque les longueurs de ligne 106 entre le plot commun d'adressage 108 et chacune des plages sont en général différentes les unes des autres.

Le courant I_c traversant une résistance placée
10 entre le point 108 et une plage conductrice 104 est la somme des courants électrochimiques. Il induit une chute de potentiel

$$\delta V = R \cdot I_c$$

Ce courant présente un maximum I_m au niveau du
15 potentiel de pic V_p pour le domaine utilisé. Si l'on suppose que l'opérateur impose un potentiel $V = V_{sat} + \delta V_{sat}$, alors tant que la ddp δV_{sat} est grande devant la chute de potentiel maximum due à la résistance R , soit $\delta V_{max} = R \cdot I_m$, le voltammogramme, donc la zone de
20 potentiel de greffage, est peu modifié par la présence de la résistance. En d'autres termes, tant que $\delta V_{max} \leq \delta V_{sat}$, le potentiel est partout supérieur à V_{sat} , et le film déposé par réaction électro-initiée est partout de la même épaisseur, quelle que soit la cartographie de
25 chute ohmique locale sur l'électrode de travail 110. Cette condition est remplie quand la valeur de la résistance en série R est faible devant l'impédance différentielle R_g de traitement du plot définie, de façon conventionnelle par

30 $R_g = (V_p - V_g) / I_m$

De manière générale, la résistance R est une résistance équivalente déterminée à partir de la chute de potentiel le long de l'électrode commune 106 entre la plage conductrice à garnir 104 et l'extrémité de l'électrode commune correspondant au point 108, calculée pour la valeur maximum de courant I_m la traversant divisée par le courant nécessaire pour traiter la plage. Pour le calcul de cette résistance R , on doit en particulier tenir compte de l'effet des courants nécessaires pour le traitement simultané des autres plages. Cette résistance R est appelée résistance d'accès ou résistance d'électrode de la plage.

D'autre part, le courant électrochimique maximum I_m correspond à une densité de courant par unité de surface à greffer. Il est donc proportionnel à la surface de la plage. Cette densité de courant permet de définir par analogie une résistance surfacique différentielle de traitement caractéristique du procédé électrochimique utilisé.

Un premier ordre de grandeur de la résistance à ne pas dépasser pour la résistance d'accès R peut être donné par l'approche suivante. La valeur typique mesurée pour le greffage de la densité de courant est de l'ordre de 1 mA/cm². Pour des plages de 100 μ m de côté ceci correspond un courant de 100 nA. La largeur typique de V_p - V_g est de l'ordre de 300 mV. Ceci donne une impédance différentielle de greffage R_g de l'ordre de 3 M Ω . Pour des plages conductrices qui seraient individuellement alimentées par une électrode de résistance R , tant que cette résistance R est faible

devant cette valeur de 3 M Ω , la chute ohmique due à l'électrode commune 106 n'a pas d'effet sur la garniture. La généralisation s'effectue en remplaçant la résistance R par la résistance d'électrode de la
5 plage citée plus haut.

Première application à des capteurs

Pour un grand nombre d'applications, en particulier dans le domaine biomédical, il est
10 nécessaire de fonctionnaliser la surface d'une membrane d'une microstructure appartenant à un capteur, pour lui donner par exemple des propriétés de biocompatibilité ou pour limiter l'adhésion cellulaire susceptible de polluer le capteur. Il est à noter que ces deux
15 fonctions ne sont pas nécessairement réalisées simultanément car un revêtement peut être considéré comme biocompatible justement parce qu'il favorise la colonisation cellulaire.

Pour des applications demandant une stabilité
20 de la réponse du capteur sur du long terme, cette fonctionnalisation doit être réalisée à partir d'un dépôt d'épaisseur contrôlée permettant d'évaluer exactement les effets du film sur la réponse du capteur non seulement à un temps $t=0$ correspondant au début de
25 la durée de vie du capteur mais aussi de préférence à un temps t quelconque de cette durée de vie. L'objectif est de ne pas perdre le bénéfice apporté par l'utilisation d'une microstructure électro-mécanique stable, comme par exemple une membrane 104 en silicium
30 monocristallin, suite à la fonctionnalisation par un film organique par nature moins stable dans le temps. Ceci est particulièrement important lorsque la

structure mécanique est réalisée à partir d'un monocristal.

L'élasticité d'une couche mince est une fonction du module d'élasticité E du matériau et de son épaisseur h . En première approximation, un revêtement (2) sur un élément élastique (1) nécessite une pression de compensation dP donnée par

$$dP = P \times E_2/E_1 \times (h_2/h_1)^3$$

dP est par définition la pression supplémentaire à appliquer au niveau du revêtement pour obtenir une pression P sur l'élément élastique, par exemple une membrane nue 104 en silicium monocristallin. L'équation précédente donne une estimation par défaut de l'effet du revêtement car elle ne tient pas compte de l'adhésion entre les deux matériaux, le matériau organique constituant la garniture et le matériau élastique constituant la membrane. Par simulations numériques, on obtient des valeurs plus proches de la réalité qui montrent que cette valeur approchée peut être augmentée d'un facteur très variable suivant les cas.

On peut idéalement demander que la présence du revêtement ne modifie pas, pour une sensibilité en pression δP recherchée, la réponse du capteur. On appelle s l'indice de fluctuation mécanique dans le temps du revêtement. Pour le critère énoncé,

$$s = \text{Max}(dP[t] - dP[t=0]) / dP[t=0]$$

où $dP[t]$ est la valeur de la pression de compensation au cours du temps, la valeur maximum étant évaluée sur la durée d'utilisation du capteur. Avec cette définition, les conditions sur la couche sont données par

$$dP[t=0] (1 + s) < \delta P \quad (1)$$

Une condition moins contraignante peut être imposée en acceptant que la présence de la couche modifie la réponse de la membrane nue mais de manière stable dans le temps. Cette condition suppose une calibration du capteur après l'encapsulation. Dans ce cas, la définition de la stabilité relative de la couche est légèrement différente

$$s = \text{Max}(|dP[t] - dP[t=0]|) / dP[t=0]$$

la présence de la valeur absolue, permet de tenir compte également des diminutions de la pression de compensation. Les deux définitions se rejoignent pour les faibles valeurs de s. Avec cette définition, les conditions sur la couche sont données par

$$s \times dP[t=0] < \delta P \quad (2)$$

Ainsi pour un capteur de haute précision comme un capteur absolu utilisé dans le domaine médical pour mesurer une pression physiologique (système implanté), la précision recherchée δP est de l'ordre de 0,1 % (1 mbar sur 1 bar).

Soit dP/P la variation de pression relative liée à la présence du film appelée la transmission du film. La condition la plus contraignante (1) impose dans ce cas une transmission inférieure à 0,1%. La seconde condition (2) autorise une transmission comprise entre 1 et 5% suivant la valeur de l'indice s de fluctuation mécanique du film dans le temps (de 10% à 50%).

Des simulations numériques ont été réalisées pour un polymère d'élasticité 1 GPa (Parylène) sur une membrane silicium d'élasticité 200 GPa de 4 μm

d'épaisseur. Pour un indice de fluctuation mécanique dans le temps de la couche de polymère de 10%, la première condition (1) impose une épaisseur de la couche de polymère inférieure à 1 μm . La deuxième
5 condition (2) permet d'utiliser des épaisseurs allant jusqu'à 3 μm . Cette épaisseur de la couche de polymère dépend faiblement de l'élasticité de ladite couche. Des simulations supplémentaires ont montré que l'épaisseur de la couche pouvait varier d'environ dix fois
10 l'épaisseur de la membrane pour les matériaux les plus souples mais devait rester inférieure à l'épaisseur de la membrane pour les matériaux d'élasticité intermédiaire.

Il est important de noter que ces conditions
15 sur l'épaisseur doivent pouvoir être garanties avec une bonne précision car l'élasticité de la couche est une fonction très rapide de son épaisseur. D'autre part, l'épaisseur utilisée doit être compatible avec la fonction apportée par la couche, en particulier
20 lorsqu'il s'agit d'une fonction de protection. Ces deux conditions sont remplies avec les garnitures apportées par réactions électro-initiées particulières décrites dans ce texte.

Les figures 3a à 3i montrent de façon
25 schématique différentes formes de réalisation de structure électromécanique 1 selon l'invention.

Sur la figure 3a une microstructure électromécanique 1 comprend une première partie 102 appelée partie mécanique, comprenant une zone
30 déformable 104 de manière élastique. La zone 104 est réalisée dans un premier matériau conducteur de l'électricité déformable de manière élastique. La zone

104 a une valeur d'épaisseur et une surface exposée 2. Un premier film organique 4 ayant une épaisseur, est présent sur la surface exposée 2 de la zone déformable 104 en premier matériau. Conformément à l'invention, 5 l'épaisseur du premier film 4 est telle qu'une réponse élastique de la zone déformable 104 ne change pas de plus de 5% par rapport à une réponse de la zone 104 du premier matériau seul, ou en ce que l'épaisseur du premier film 4 est inférieure à dix fois l'épaisseur de 10 la zone déformable 104.

De préférence l'épaisseur du premier film 4 est telle que la réponse élastique de la zone déformable 104 de la partie mécanique 102, munie du premier film 4, ne change pas de plus de 1% par rapport à la réponse 15 élastique de la zone déformable 104 seule.

Le premier film 4 est constitué d'une couche d'une molécule de longueur fixe liée de manière covalente à la surface exposée 2 de la zone déformable 104 du premier matériau, et dans une matière qui peut 20 être déposée à partir d'une réaction électro-initiée.

Le taux de couverture de la surface exposée 2 par le premier film 4 est supérieur à 60 % et de préférence supérieur à 90 %.

Dans le mode de réalisation représenté sur la 25 figure 3b, la partie mécanique 102 comporte à sa surface, une zone annulaire 5, entourant la surface exposée 2. La zone annulaire 5 comporte elle-même une surface 6 et est réalisée dans un deuxième matériau conducteur de l'électricité, différent au sens de la 30 réaction électro-initiée du premier matériau de la partie mécanique 102. Un deuxième film organique 7 est présent sur la surface 6 de la dite zone annulaire 5.

Ce deuxième film 7 est un film réalisé dans une matière pouvant être déposée à partir d'une réaction chimique électro-initiée.

Le mode de réalisation représenté figure 3c est
5 un mode particulier de réalisation du mode représenté figure 3b dans lequel le premier matériau conducteur de la zone déformable 104 est un semi-conducteur dopé. Le second matériau conducteur de la zone annulaire 5 est le même semi-conducteur ayant un dopage de type opposé
10 à celui du premier matériau. Une jonction formant diode est ainsi créée entre le second matériau de la zone annulaire 5 et le premier matériau de la zone déformable 104.

Le mode de réalisation de la figure 3d est un
15 mode particulier de réalisation dans lequel la microstructure 1 électromécanique comporte un groupe de premiers plots 8 de contact sur une position extérieure à la zone annulaire 5. Le groupe de premiers plots 8 peut ne comporter comme représenté figure 3d qu'un seul
20 plot 8.

Les premiers plots de contact 8 peuvent être réalisés dans un troisième matériau conducteur de l'électricité, différent au sens de la réaction électro-initiée du premier matériau de la zone
25 déformable 104 et du second matériau de la zone annulaire 5 ou différent de l'un seulement, de ces premier 104 ou deuxième matériaux 5.

Dans le mode de réalisation représenté figure 3e, ou 3f un troisième film organique 10 est en outre
30 présent à la surface 9 des premiers plots de contact 8. Ce troisième film 10 est dans une matière qui peut être déposée à partir d'une réaction électro-initiée.

Les modes de réalisation des figures 3e ou 3f diffèrent l'un de l'autre par le fait que dans un cas la surface annulaire se trouvant sous le second film 7 est réalisé dans un matériau 5 différent du premier matériau conducteur constituant la zone déformable 104, alors que dans l'autre cas le second matériau conducteur se trouvant sous le second film 7 est réalisé dans un matériau 5 différent du premier matériau conducteur par le fait que son dopage est d'un type différent, par exemple n, du dopage du premier matériau, par exemple p, les premier et second matériaux conducteurs étant les mêmes semi-conducteurs.

Dans l'exemple représenté figure 3g la microstructure 1 électromécanique comporte une deuxième partie 11 mécaniquement solidaire et électriquement isolée de la première partie 102. La seconde partie 11 comporte en surface un ou plusieurs deuxièmes plots 12 de contact réalisés dans un matériau différent au sens de la réaction électro-initié du matériau constitutif de la seconde partie 11. Un quatrième film organique 14 est présent à la surface 13 des deuxièmes plots de contact 12. Ce quatrième film 14 est un film réalisé dans une matière qui peut être obtenue à partir d'une réaction chimique électro-initiée.

Dans l'exemple représenté figure 3h, la microstructure 1 électromécanique comporte une troisième partie 15, isolée électriquement de la première partie 102, réalisée dans un matériau conducteur de l'électricité. La deuxième partie 11 et la troisième partie 15 sont électriquement reliées l'une à l'autre par exemple par une liaison 20. Un quatrième film organique 14 est présent à la surface 13

des deuxièmes plots de contact 12. Ce quatrième film 14 est dans une matière qui peut être déposée à partir d'une réaction électro-initiée.

L'exemple représenté figure 3i correspond à
5 l'un des cas représentés et décrit avec les figures 3a à 3h dans lequel un plot de raccordement d'électrode 19 est réalisé dans la partie 102 dans un matériau conducteur différent du premier matériau 102 et situé en dehors de la surface exposée 2 et de la zone
10 annulaire 5 si celle ci est présente. Le premier matériau 102 peut être par exemple de préférence un semi-conducteur dopé d'un premier type et le matériau de plot 19 le même semi-conducteur d'un type opposé au premier type.

15 Dans un mode de réalisation représenté figure 9, la partie mécanique 102 de la microstructure 1 se présente sous la forme d'une couche de silicium monocristallin, venant au dessus d'une couche isolante 16, par exemple en silice. La deuxième partie 11 est
20 également portée par cette même couche de matériau isolant 16 en sorte que les première 102 et deuxième 11 parties sont solidaires de cette couche isolante 16. Dans ce mode, la troisième partie 15 est constituée par une couche de silicium sur lequel repose ladite couche
25 isolante 16. La dite couche isolante 16 comporte un évidement 18 situé immédiatement sous la zone déformable 104. Cet évidement 18 permet à la zone déformable 104 couche en silicium monocristallin 102 de se déformer. Ce mode de réalisation de la
30 microstructure électromécanique 1 sera décrit de façon plus détaillée plus loin.

Dans ce mode de réalisation la microstructure électromécanique 1 selon l'invention est destinée à un usage médical ou vétérinaire, et le premier film 4 organique est dans un matériau tel que la surface exposée 2 de la zone déformable 104 couverte de ce film 4 présente des fonctions de biocompatibilité, de non cyto-toxicité et/ou d'anti-adhésion ou anti-prolifération cellulaire. Le deuxième film 7 est un film présentant des fonctions de biocompatibilité et de non cyto-toxicité.

Avant de décrire en détail le mode de réalisation particulier, des exemples de plaquette 100 portant plusieurs microstructures 1 selon l'une des formes de réalisation de l'invention seront succinctement décrites en liaison avec les figure 4a à 4f. Ces figures sont destinées à faire apercevoir les différentes façons dont une ou plusieurs électrodes communes lient électriquement ensemble selon les cas des parties identiques des microstructures 1. Afin de mieux faire apercevoir la correspondance avec les figures 3, les microstructures 1 sont représentées en coupe transversale et le parcours des électrodes commune est représenté en vue de dessus. Les figures 4a à 4f ne comporte que deux microstructures 1 identiques, mais il faut comprendre qu'elles en comporte normalement bien d'avantage, qui ne sont pas nécessairement identiques entre elles. Pour aérer la présentation les numéros de référence ont été répartis entre les deux microstructures de chaque figure.

Dans l'exemple représenté figure 4a une première électrode commune 106a relie électriquement entre elles toutes les parties mécaniques 102 réalisées

dans le premier matériau conducteur. Les microstructures 1 peuvent comporter en plus de la zone déformable 104, comme représenté figure 4a, une zone annulaire 5 sur lequel est présent un deuxième film 7 et un plot de contact 8, sur lequel est présent un troisième film 10, telle que décrit en relation avec les figures 3.

Dans les exemples représentés figure 4b et 4c, les microstructures 1 sont respectivement les microstructures 1 représentées figure 3c et 3f.

Dans l'exemple représenté figure 4b, la plaquette 100 comporte une première électrode 106b commune reliant électriquement toutes les zones annulaires 5 entre elles. La polarité nécessaire pour électro-initier le premier film 4 correspond au sens passant de la diode créée par le dopage dans le sens zone annulaire 5 vers partie mécanique 102.

Dans une variante de réalisation représentée figure 4c, la première électrode commune 106a relie électriquement toutes les parties mécaniques 102 entre elles. La polarité nécessaire pour électro-initier le deuxième film 7 correspond au sens passant de la diode créée par le dopage dans le sens de la partie mécanique 102 vers la zone annulaire 5.

Dans l'exemple représenté figure 4d, les microstructures 1 sont identiques à celles représentées figure 3f. Une première électrode commune 106b relie électriquement entre elles toutes les zones annulaires 5. La polarité nécessaire pour électro-initier les premier 4 et troisième film 10 est identique et correspond au sens passant de la diode créée par le

dopage dans le sens zone annulaire 5 vers partie mécanique 102.

Dans la figure 4e, les microstructures 1 représentées sont identiques aux microstructures des figures 3e ou 3f mais comportent en plus une deuxième partie 11 mécaniquement solidaire et électriquement isolé de la première partie 102. La figure 4e représente uniquement une microstructure identique à la microstructure de la figure 3e mais qui comporte en plus une deuxième partie 11. La plaquette 100 comporte une première électrode commune 106a reliant entre elles toutes les premières parties mécaniques 102. Elle comporte en outre une seconde électrode commune 106c reliant entre elles toutes les secondes parties 11.

Dans l'exemple représenté figure 4f les plaquettes 100 comportent un ensemble de microstructures 1 telles que décrites en relation avec la figure 3i réalisées à la surface de la plaquette par un procédé collectif. La plaquette 100 comporte une première électrode commune 106d reliant électriquement entre eux tous les plots d'électrodes 19. La polarité nécessaire pour électro-initier les films organiques 4, 7, 10 correspond au sens passant de la diode créée par le dopage entre les plots d'électrode 19 et les parties mécaniques 102.

La figure 5 illustre un exemple particulier de mise en œuvre de l'invention pour des dispositifs électromécaniques nécessitant une garniture. Le substrat est une plaquette de silicium sur laquelle sont micro-usinées des microstructures 1 électromécaniques destinées à être utilisées pour réaliser des capteurs de pression. La figure 5 représente une seule

de ces microstructures 1. Elle comporte une partie A représentant une coupe transversale et une partie B représentant une vue de dessus.

La plaquette 100 à partir de laquelle est
5 réalisée la microstructure 1 est un substrat SOI (Silicon On Insulator) composé d'une partie inférieure 15, recouverte d'une couche de silice 16 et d'une couche de silicium monocristallin 102 augmentée par épitaxie, typiquement d'épaisseur micrométrique (partie
10 supérieure du substrat dite partie mécanique 102). La gravure locale par des moyens chimiques de la couche de silice 16 permet de réaliser une cellule sous vide 18. L'étanchéité de la cellule 18 après gravure est assurée au moyen d'un bouchon 21 venant fermer une ouverture
15 pratiquée dans la couche de silicium monocristallin 102 pour la gravure de la couche isolante 16. La partie supérieure 104 de la cavité 18, constituée par une partie centrale libérée de la couche 102 de silicium monocristallin fait office de membrane 104 se déformant
20 sous l'effet d'une pression. La déformation de la membrane 104 se traduit par une modification d'une valeur de capacité mesurée entre les deux plans de silicium 15 et 102 grâce à des contacts électriques 22 et 25 réalisés par dépôt local d'or, sur la couche 15
25 et la couche 102 respectivement. Pour obtenir un accrochage optimum entre l'or et le silicium une couche d'interface, typiquement à base de titane et de nickel est utilisée. Pour améliorer le contact électrique, un sur dopage peut être réalisé sous les plots de contact
30 22, 25. Dans la suite du texte, un dépôt d'or sur silicium sous entend l'utilisation d'une couche d'accrochage intermédiaire et/ou d'un sur dopage. La

métallisation peut également être réalisée par tout autre dépôt métallique connu.

Une garniture sous forme d'un film 4 est déposée à la surface de la membrane 104. A titre
5 d'exemple de mise en œuvre, avec des bains contenant des monomères vinyliques et/ou des molécules cycliques clivables, on peut réaliser notamment des revêtements dont les propriétés peuvent être ajustées. Ainsi, l'électro-greffage de l'hydroxy-éthyl méthacrylate
10 (HEMA), du méthyl méthacrylate (MMA), du butyl méthacrylate (BMA), de poly éthylène glycol di-méthacrylate (PEG-di-MA), de la N-vinyl pyrrolidone (NVP), et plus généralement de monomères vinyliques activés fonctionnalisés par des substituants
15 (moléculaires ou macromoléculaires) de nature biocompatible, permettent d'obtenir des films polymères présentant de bonnes propriétés de biocompatibilité, notamment au sens de la norme ISO 10993. Les films obtenus par électro-greffage sont en général isolants,
20 à taux de greffage élevé, mais il n'est pas rare d'observer que l'isolation électrique, notamment en solution, est d'autant plus favorisée que le polymère électro-greffé est plus hydrophobe. Le dépôt d'un revêtement biocompatible 4 sur la membrane 104 va
25 permettre de rendre la surface en contact avec l'environnement biocompatible (surface exposée), le bouchon 21 étant soit un matériau biocompatible, soit recouvert d'un matériau non organique biocompatible par des techniques de dépôt de couche mince
30 microélectronique.

Dans l'exemple représenté figure 5, la zone déformable 104, constituant la membrane est sensiblement circulaire. La partie non déformable de la couche 102 repose sur la couche de silice 16. Une
5 première excroissance 23 de la couche 102 descend selon une pente douce 318 créée par micro-usinage vers la couche isolante 16.

Pour permettre la fonctionnalisation collective des membranes 104 de l'ensemble des parties mécaniques
10 102 présentes sur une même plaquette 100, une électrode commune 106a telle que décrite sur la figure 1 ou les figures 4 permettant de relier l'ensemble des plages 102 à un point commun 108 en périphérie de la plaquette est réalisée grâce à une piste 106a en or parcourant la
15 couche de silice 16 sur l'ensemble de la plaquette 100. Ainsi la référence 24 désigne une partie de la piste 106 traversant de part en part une microstructure électromécanique 1. La piste 24 est sur chaque microstructure reliée électriquement à la couche 102 de
20 cette microstructure électromécanique 1 par une piste d'or 25 reposant sur la pente 318 créée par micro-usinage de la couche épitaxiée 102. Ces couches sont revêtues d'une couche de passivation. Des plots d'interconnexion 26, 26a à un support d'interconnexion
25 402 qui sera décrit plus loin sont ouverts, suivant une méthode connue, dans la couche de passivation déposée sur la métallisation Au.

Sélectivité par matériau

30 Un premier procédé de dépose de garniture sur différentes plages conductrice de la microstructure

électromécanique 1 utilisant la sélectivité par matériau sera maintenant décrit.

Il a été noté que les différents potentiels caractéristiques utilisés pour la description d'une
5 réaction électro-initiée dépendent de la nature du matériau de la surface conductrice. On définit des matériaux de nature différente au sens d'une réaction électro-initiée comme étant des matériaux qui diffèrent l'un de l'autre par, au moins par exemple, l'un des
10 paramètres suivants : travail de sortie électronique dans le vide, solvation de la surface par le solvant d'électrolyse, acidité de Brönsted dans le solvant d'électrolyse.

Ainsi, pour une garniture X donnée, tous les
15 autres paramètres étant égaux par ailleurs, le potentiel $V_g[X/Au]$ nécessaire pour initier la réaction électro-initiée sur l'or est plus faible que celui $V_g[X/Si]$ sur le silicium. En pratique, des cycles successifs en tension entre le potentiel nécessaire à
20 initier la réaction et un potentiel supérieur où le rendement de la réaction est optimisé, est réalisé. La fonctionnalisation de la membrane en silicium à partir du potentiel de saturation $V_{sat}[X/Si]$ entraîne une formation plus importante de polymères en solution à
25 cause de la présence de la surface en or associée à un potentiel de saturation $V_{sat}[X/Au]$ inférieur. Cet effet peut être évité en appliquant successivement lors d'une étape I le potentiel $V_{sat}[X/Au]$ jusqu'à saturation des
30 plages en or, puis lors d'une étape II le potentiel $V_{sat}[X/Si]$ pour la fonctionnalisation des membranes.

Il est également possible de fonctionnaliser la surface des membranes en laissant les contacts électriques de tout revêtement.

Lors d'une première phase I de garniture, une première garniture A est appliquée sur les contacts par un potentiel $V_{\text{sat}}[\text{A/Au}]$ permettant le greffage de la garniture A sur les contacts en or mais pas sur la membrane en silicium. L'écart typique entre les deux potentiels $V_{\text{sat}}[\text{X/Au}]$ et $V_{\text{sat}}[\text{X/Si}]$ est en effet supérieur à la largeur typique de potentiel de garniture (ce qui signifie que $V_{\text{sat}}[\text{X/Au}]$ est inférieur à $V_{\text{g}}[\text{X/Si}]$). La garniture A ne se greffe pas sur les zones en silicium pour le potentiel $V_{\text{sat}}[\text{A/Au}]$.

Une seconde garniture B est réalisée sur la surface des membranes par application du potentiel approprié $V_{\text{sat}}[\text{B/Si}]$. Aucune garniture B n'est réalisée à la surface des zones ayant été fonctionnalisée par la garniture A même si le potentiel $V_{\text{s}}[\text{B/Au}]$ est inférieur au potentiel appliqué. En effet, les plages préalablement garnies restent insensibles au nouveau traitement, notamment lorsque leur garniture préalable est isolante : par "garniture isolante", on entend ici une garniture qui empêche la reprise d'une nouvelle réaction électro-initiée. Si cette nouvelle réaction est par exemple une réaction d'électro-greffage, (i) le non gonflement de la première garniture par un solvant de la nouvelle réaction ; (ii) l'insolubilité du monomère de la nouvelle réaction dans la première garniture ; (iii) l'occupation maximale (taux de greffage maximal) des sites de la plage conductrice du fait de la première garniture ; sont - indépendamment -

des causes pouvant conduire à une isolation (au sens électrochimique) de la plage déjà garnie.

5 Finalement, un traitement chimique sélectif permettant d'enlever la garniture A sans attaquer la garniture B est réalisée, par exemple en utilisant un protocole de potentiel adapté dans un solvant spécifique à A. La garniture A est utilisée comme masque moléculaire permettant de protéger temporairement les contacts de l'opération de garniture
10 des membranes par la garniture B. La garniture B étant par exemple un film de Poly-HEMA, on peut par exemple masquer préalablement certaines zones avec un film A de 4-nitro phényl diazonium, ce film pouvant être ensuite électro-gommé par un potentiel très cathodique dans
15 l'eau.

Besoin de sélectivité

De manière plus générale, l'utilisation de garnitures différentes sur certaines plages
20 conductrices de la face avant de la microstructure permet d'apporter différentes fonctions supplémentaires, par exemple lors d'une étape de pré-conditionnement réalisée de manière collective simultanément sur tous les capteurs, donc avant découpe
25 du substrat de silicium.

Pour un grand nombre d'applications, il est avantageux de pouvoir apporter d'autres fonctions à la surface de la microstructure lors de sa phase de pré-conditionnement pour faciliter les phases ultérieures
30 de montage.

Ces fonctions seront mieux comprises à partir de l'exemple suivant décrivant une des utilisations

possibles de ce type de microstructures en tant que composant d'un capteur de pression.

La microstructure peut être utilisée au sein d'un microsystème tel que décrit dans [Miniature
5 pressure acquisition microsystem for wireless in vivo
measurements, Renard S. et al, présenté à 1st annual
international IEEE EMBS Special topic conference on
microtechnologies in medicine and biology, October 12-
14, à Lyon en France]. Un tel microsystème 200
10 représenté figure 6 est réalisé par assemblage :

d'une microstructure électromécanique 1 formant
l'élément sensible du capteur représenté en vue de
dessus de façon schématique figure 6 partie D,

d'un circuit électronique 400 de type ASIC
15 comprenant notamment un convertisseur de capacité en
signal numérique et un coupleur permettant une
alimentation à distance par champ magnétique et une
transmission sans fils des mesures.

La figure 6 comporte en outre une partie A
20 représentant une coupe transversale du microsystème 200
après assemblage et une partie B représentant une vue
de dessus avant assemblage d'un support
d'interconnexion 402.

L'ASIC 400 traite notamment les données en
25 provenance de la microstructure 1 et forme un interface
entre la microstructure 1 et le support
d'interconnexion 402. L'ASIC 400 et la microstructure 1
sont montés sur le support d'interconnexion 402. Le
support d'interconnexion 402 comprend une antenne de
30 couplage 403 couplée à l'ASIC 400.

Pour cette utilisation dans un microsystème de mesure, la microstructure 1 a par exemple la forme de réalisation décrite figure 5.

Le support d'interconnexion 402 comporte des
5 premiers plots de raccordement 427 de l'ASIC 400 et des
second plots de raccordement 426 de la microstructure
1. Les premiers plots 427 de raccordement du support
402 sont en correspondance géométrique avec des plots
427' de raccordement de L'ASIC, en sorte que la figure
10 formée par les plots de l'ASIC peut être retournée sur
le support d'interconnexion 402 pour que les plots 427'
de l'ASIC 400 et les premiers plots 427 du support
d'interconnexion 402 puissent venir en coïncidence les
uns avec les autres. De même la microstructure 1 est
15 équipée de plots de raccordement 26, 26a figurés figure
5 partie B et 6 partie D par des carrés sur les pistes
conductrice par exemple d'or. Ces plots de la
microstructure 1 peuvent venir en coïncidence après
retournement avec les second plots du support
20 d'interconnexion 402. Dans l'assemblage représenté
figure 6 partie A, l'ASIC 400 et la microstructure 1
sont retournés sur le support d'interconnexion 402, les
plots 427' de raccordement de L'ASIC 400 et ceux 26,
26a de la microstructure 1 étant raccordées
25 mécaniquement et électriquement par exemple par une
méthode dite "flip chip" au premier et second plots du
support d'interconnexion 402 respectivement, au moyen
par exemple de billes insérées entre les plots 427',
26, 26a respectivement de l'ASIC 400 et de la
30 microstructure 1 et ceux 427, 426 du support
d'interconnexion 402. Des résines 406, 407 de
renforcement mécanique et de protection extérieure sont

utilisées pour terminer l'assemblage. De façon avantageuse, en position assemblée une ouverture traversante 405 du support d'interconnexion 402, se trouve face à la membrane 104 garnie du premier film 4.

5 La résine 406 tout en laissant libre l'accès à la membrane 104 au travers de l'ouverture 405, assure notamment une étanchéité et une isolation électrique entre la membrane 104 munie de son film 4 et le reste du microsystème 200.

10 Un microsystème 200 tel que montré figure 6 partie A, peut être utilisé de manière autonome pour des systèmes implantés pour le monitoring ponctuel de la pression, en particulier dans le domaine médical. Dans ce cas le support d'interconnexion 402 est de

15 préférence en matériau biocompatible (comme le polyimide). Dans le cas général, le support d'interconnexion 402 peut également servir à placer le composant 400 dans un boîtier. Le critère d'encombrement est particulièrement important pour les

20 systèmes implantés, ce qui exclue l'utilisation des méthodes classiques d'encapsulation.

Après la membrane 104, un second type de fonctionnalisation concerne donc la surface des plots d'interconnexion 26 liés électriquement à la membrane

25 104 et 26a liés électriquement au plan de silicium inférieur 15 (figure 5 partie A). Une méthode particulièrement adaptée connue consiste à monter comme décrit ci dessus en relation avec la figure 6, la microstructure 1 après découpe "face avant retournée"

30 vers le support d'interconnexion 402 (méthode dit de "flip-chip") en utilisant des billes fusibles pour l'interconnexion électrique et mécanique. Dans ce cas,

les plots d'interconnexion 26, 26a sont ouverts, suivant une méthode connue, dans une couche de passivation déposée sur la métallisation Au. Les billes peuvent être obtenues après recuit d'un dépôt réalisé à
5 partir de différentes techniques connues.

Il est également intéressant de pouvoir réaliser cette fonction à partir d'un revêtement polymère conducteur déposé en couche mince ("flip-chip polymère").

10 Dans ce mode d'assemblage "face avant retournée" d'une microstructure 1, le support 402 comporte également une fenêtre 405 en regard de la membrane 104 de la microstructure 1 pour permettre un contact direct vers un milieu à caractériser, contact
15 nécessaire pour la mesure de pression. L'isolation entre les contacts et le milieu, isolation nécessaire pour le bon fonctionnement d'un capteur incorporant la microstructure 1, doit être réalisée par un joint d'étanchéité (au niveau de la zone annulaire entourant
20 la surface exposée).

Ce joint peut être réalisé à partir des techniques connues comme expliqué en relation avec la figure 6, permettant de faire diffuser par capillarité une résine 406 entre le support 402 et la
25 microstructure 1 (technique dite "underfill") couplée à l'effet de capillarité pour que la résine ne recouvre pas la membrane 104 munie du film 4.

Il est également intéressant de chercher à réaliser ce joint à partir d'un polymère isolant. Ceci
30 correspond à un troisième besoin de fonctionnalisation.

Les différentes fonctionnalisations décrites demandent des polymères ayant des propriétés

différentes : contrainte sur l'épaisseur et fonctionnalisation de type chimique pour la membrane 104 de la microstructure 102, conductivité et propriété d'adhésion pour les contacts électriques 410-413 et
5 isolation et propriété d'adhésion pour la zone annulaire pour former un joint d'étanchéité.

Il est possible d'utiliser la sélectivité provenant du matériau pour disposer d'un premier moyen de sélectivité lorsque les deux plages à garnir sont ou
10 peuvent être connectées électriquement, par exemple en utilisant un dépôt d'or sur la surface de silicium comme décrit plus haut. Un autre moyen de sélectivité peut être utilisé dans le cas général.

15 Effet d'une diode

Un adressage sélectif est utilisé lorsqu'il est nécessaire de greffer des polymères différents sur des surfaces de même nature chimique à partir d'une même électrode commune. Ce choix d'une électrode commune
20 unique peut être un choix pour simplifier le réseau d'électrode lorsque le composant est fabriqué de manière collective sur une plaquette ou peut être imposé par la technologie de fabrication.

La figure 7 illustre un circuit équivalent de la configuration utilisée dans le cas de deux familles distinctes de plages utilisant une même électrode. La partie A de la figure représente la topologie de la configuration. A la surface d'un composant 500 inclus dans une plaquette 514 en comprenant plusieurs, se
25 trouvent deux types de plages 502 et 504 de même nature chimique, par exemple de l'or. Les deux ensembles de plages de type 502 et 504 forment respectivement des
30

familles 510 et 512 lorsque le composant 500 est répété sur la plaquette 514. Les plages 502 de la famille 510 sont reliées à une électrode commune 506 parcourant la plaquette. L'adressage sélectif est obtenu en
5 intercalant localement des diodes 508 entre les plages 504 de la famille 512 à garnir et l'électrode commune 506. La partie B de la figure 7 est une modélisation électrique d'une partie du circuit électrochimique.

Pendant l'opération de greffage, le potentiel V
10 existant entre une plage conductrice 504 à garnir et l'électrode de référence dépend du courant circulant dans le circuit d'adressage.

La figure 8 est le voltammogramme associé à la configuration décrite sur la figure 7. Il est établi en
15 fonction d'une tension V_r mesurée par un voltmètre entre la source et l'électrode de référence, non représentées sur le schéma, dans un montage classique à trois électrodes (cf. figure 1).

Le voltammogramme comprend deux courbes 600 et
20 602 associées respectivement à la garniture des plages des familles 510 et 512 pour une garniture donnée. La courbe 600 est identique à celle représentée figure 2 puisque le potentiel présent sur la plage 502 est identique à celui appliqué au niveau de la source 506.
- 25 Ce modèle ne tient pas compte de l'existence d'une résistance éventuelle le long de l'électrode commune considérée comme négligeable suivant les conditions décrites précédemment. La courbe 602 est elle différente à cause de l'existence de la diode 508 entre
30 la plage 504 et la source 516 : le potentiel présent sur la plage 504 n'est pas celui appliqué par la source 506.

Pour modéliser l'effet de la diode intercalée entre l'électrode commune et une plage conductrice, il est nécessaire de revenir sur le modèle électrique proposé figure 7 en examinant les effets transitoires
5 correspondant à l'établissement du potentiel.

Dans un modèle simple, la réaction électrochimique telle que décrite par le voltammogramme de la figure 2, peut être modélisée par une diode 518 de seuil V_s associée à une résistance en série R_g 520
10 permettant de rendre compte de la pente du voltammogramme. La diode 508 utilisée comme moyen de décalage peut être modélisée par une diode parfaite 522 associée à une résistance 524 en parallèle R_d permettant de rendre compte des courants de fuite. Le
15 modèle suppose que le courant électrochimique avant le seuil V_s est inférieur au courant de fuite de la diode intercalée. Si la diode est orientée dans le sens bloquant pour la polarité de tension utilisée, le seuil est considéré comme infini.

20 A partir d'une situation initiale où tous les potentiels sont nuls, la croissance du potentiel V_r appliqué au niveau de l'électrode 506 se traduit par l'apparition d'un faible courant de fuite à travers la résistance R_g permettant de charger électriquement la
25 plage conductrice 504 : le potentiel V au niveau de la plage conductrice 504 est égal au potentiel V_r . Tant que ces potentiels restent inférieurs au seuil V_s , il n'y a pas de réaction électrochimique. Lorsque les potentiels V et V_r atteignent la valeur V_s , il y a
30 apparition d'un premier courant électrochimique provenant essentiellement de la chimie en solution. Ce courant crée un décalage entre V_r et V provenant de la

résistance R_d . Le potentiel V au niveau de la plage conductrice est donc inférieur au potentiel V_r appliqué par la source. Cette différence a pour valeur asymptotique V_d qui correspond au seuil de conduction
5 de la diode.

On observe donc que la nouvelle courbe 602 est décalée, et plus précisément translatée d'une valeur δV vers des valeurs de tension plus élevées. Ce décalage est égal à V_d , seuil de conduction de la diode, pour
10 des courants supérieurs au courant de fuite de la diode. Si le courant de fuite de la diode est inférieur au courant électrochimique maximum avant le démarrage du greffage, le seuil de greffage V_g pour la famille 512 est décalé de la valeur du seuil de conduction de
15 la diode.

En conclusion, dans un bain électrochimique contenant un matériau de garniture donné, il est donc possible d'autoriser sélectivement la garniture de certaines plages dépourvues de moyens de décalage de
20 type diode ou pourvues de moyens de décalage de faible amplitude, tout en interdisant la garniture d'autres plages associées à des moyens de décalage de plus forte amplitude. L'amplitude du décalage est liée au seuil de conduction des diodes. L'application d'une tension
25 identique V_r par la source se traduira par des tensions V locales différentes déclenchant ou ne déclenchant pas la garniture selon le choix du maximum de polarisation.

Par exemple pour l'exemple illustré figures 7 et 8, supposons que les familles de plage 510 et 512
30 doivent respectivement recevoir des garnitures A et B. La diode est orientée de manière à être passante pour le signe du potentiel utilisé pour déclencher la

garniture B. Le potentiel de seuil de la diode est choisi supérieur à la largeur du potentiel de garniture de A sur Au. Une tension appliquée de valeur maximale $V_{sat}[A/Au]$ permettra la garniture de la première
5 famille de plages 510 mais ne sera pas suffisant pour la garniture du second groupe de plages 512.

Si le bain électrochimique B suivant est différent, les seuils de garniture $V_g[B/Au]$ peuvent être plus faibles ou plus élevées que ceux du premier
10 bain. Une garniture des plages conductrices non encore garnies peut avoir lieu sous l'application d'une tension de polarisation maximale $V_{sat}[B/Au] + V_d$, V_d étant de valeur finie de par le choix de l'orientation de la diode.

15 L'association de différentes plages de garniture à différents moyens de sélection à seuil, avec des seuils différents, permet donc bien de distinguer différentes familles de plages conductrices pouvant être garnies sélectivement.

20

Mise en œuvre pour les capteurs

La figure 9 représente un exemple de
réalisation d'une microstructure 1 pouvant être
utilisée dans un capteur de pression pouvant recevoir
25 trois fonctionnalisations différentes à sa surface. Elle est réalisée comme celle décrite figure 5 à partir d'un substrat SOI mais comporte des fonctions supplémentaires permettant une fonctionnalisation multiple.

30 Trois types de fonctions peuvent être apportés sur la face supérieure de la microstructure par greffage de polymères :

- la fonctionnalisation de la membrane 104 comme sur la microstructure décrite en relation avec la figure 5, par exemple pour garantir la non cyto-toxicité et l'anti-adhésion cellulaire sous forme d'un premier
5 film 4,
- la réalisation d'un joint d'étanchéité permettant de garantir l'isolation électrique entre les contacts 8, 12 et la zone de la membrane 104 après l'assemblage du capteur sur un support d'interconnexion 402 sous
10 forme d'un second film 7,
- la fonctionnalisation des contacts 8, et 12 pour la connexion électrique par flip-chip sous forme de films 10 et 14 respectivement.

Les contacts 8 et 12 permettent d'atteindre
15 électriquement respectivement la membrane 104 et la partie inférieure 15 du substrat (partie fixe de la capacité formée entre la membrane 104 et la couche inférieure de silicium 15). La détection de la déformation se fait par mesure de la variation de
20 capacité entre ces deux contacts. Il existe d'autres types de microstructures incluses dans des capteurs de pression à déformation comme les capteurs piezorésistifs qui pourraient nécessiter le même type de fonctionnalisation. Pour assurer une planéité
25 parfaite entre les deux contacts 8, 12 ce qui facilite l'assemblage ultérieur, le contact 12 est réalisé sur un plot réalisé sur la même couche de silicium 102 que la membrane 104 mais isolé de celle-ci par une gravure
28 de la couche supérieure de silicium 102. Un pan
30 incliné 710 micro-usiné en extrémité des couches supérieures 102 en silicium monocristallin et de la

couche isolante 16 sur laquelle repose la couche 102, permet d'assurer la connexion entre la couche inférieure de silicium 15 et les plots 12 par simple métallisation d'une piste 20 en surface. Une électrode 5 106c au niveau de la couche inférieure 15 du substrat permet d'adresser l'ensemble des contacts 12.

Dans l'exemple choisi, la partie supérieure 102 de la microstructure 1 est de type p. Une implantation locale 5 de type n est réalisée à la surface de la 10 couche 102. Cette implantation 5 couvre un pan incliné 318 réalisé comme décrit en relation avec la figure 5, situé de façon diamétralement opposée au plan 710 par rapport à la membrane 104, et couvre une zone annulaire de la couche 102 entourant ladite membrane 104. 15 L'implantation 5 autour de la membrane 104 définit une zone annulaire pour la réalisation d'un joint d'étanchéité à sa surface. Une électrode commune 106b réalisée par évaporation d'une couche d'or sur la couche isolante 16 en silice séparant électriquement et 20 mécaniquement les couches conductrices en silicium 102 et 15 permet de relier électriquement toutes les implantations 5 à une source commune de polarisation.

De part cette mise en œuvre, l'électrode commune 106b permet d'adresser l'implantation 5 par 25 l'intermédiaire d'un contact en or 29 couvrant une partie du plan incliné 318 et, via une diode réalisée à partir de la jonction np, la surface en silicium de la membrane 104 et enfin le contact en or 8 au travers de la diode et de la couche 102. La jonction np est une 30 diode passante pour des polarisations négatives. L'inversion des dopages permettrait d'obtenir une diode passante dans le sens inverse.

Greffage sélectif sur la microstructure

La figure 10 décrit sur un voltammogramme les cycles réalisés pour apporter les différentes garnitures à la microstructure telle que décrite figure 9.

Pour une garniture X donnée, il existe trois courbes de courant en fonction du potentiel appliqué au niveau de la source via l'électrode 106b.

La courbe 800 décrit le voltammogramme pour le greffage de X sur le plot de contact 8. Il est associé à des potentiels $V_g(X/Au)$ et $V_{sat}(X/Au)$ décalés de la tension seuil V_d de la diode soit $V_g(X/Au)+V_d$ et $V_{sat}(X/Au)+V_d$ noté 801 sur la courbe. La courbe 802 décrit le voltammogramme pour le greffage de X sur la zone annulaire 5 pour former le joint d'étanchéité sous la forme du second film 7. Ce greffage est associé aux potentiels $V_g(X/Si)$ et $V_{sat}(X/Si)$ noté 803 sur la courbe. La courbe 804 décrit le voltammogramme pour le greffage de X sur la membrane 104. Il est associé à des potentiels $V_g(X/Si)$ et $V_{sat}(X/Si)$, décalés par le seuil de la diode, soit $V_g(X/Si)+V_d$ et $V_{sat}(X/Si)+V_d$ noté 805 sur la courbe.

La première garniture A sous la forme d'un film 10 est réalisée sur l'ensemble des plots de contact 8 en polarisant l'électrode commune 106b au potentiel $V_{sat}(A/Au)+V_d$. Ce potentiel n'est pas suffisant pour déclencher la garniture par A des zones implantées 5 en silicium car $V(X/Au)+V_d$ est inférieur à $V(X/Si)$. Les garnitures des membranes 104 en silicium sont également hors d'atteinte d'autant plus à cause de la présence de la diode.

La seconde garniture B est réalisée sur l'ensemble des zones implantées 5 sous la forme d'un film 7 formant joints d'étanchéité 7 en portant l'électrode commune 106b au potentiel $803 V_{sat}(B/Si)$.

5 La membrane 104 n'est pas garnie à cause de la présence de la diode. Le plot de contact 8 n'est pas affecté par l'opération car il a été saturé par la garniture A.

La troisième garniture C sous la forme du premier film 4 est réalisée sur l'ensemble des
10 membranes 104 en portant l'électrode commune 106b au potentiel $805 V_{sat}(C/Si) + V_d$ correspondant au potentiel nécessaire à la garniture C sur le silicium augmenté du seuil de la diode citée ci-dessus. La zone annulaire 5 ainsi que les plots de contacts 8 ne sont pas affectés
15 par l'opération.

Pendant ces trois opérations, l'autre électrode commune 106c est maintenue à un potentiel nul. La garniture des contacts 12 se fait séparément à partir d'une garniture A. Elle peut également être effectuée
20 simultanément au dépôt de la première garniture A en utilisant une source supplémentaire permettant de porter la seconde électrode commune 106c au potentiel $V_{sat}(A/Au)$.

Pour la formation d'une garniture donnée, la
25 polarité du générateur est déterminée par la nature des monomères en solution. C'est elle qui détermine le choix de l'orientation de la diode 508 (figure 7) formée par la jonction np de façon à ce que celle-ci soit polarisée dans le sens passant pour qu'un courant
30 électrochimique puisse circuler une fois que le seuil de conduction de la diode 508 est franchi. Il est donc

nécessaire que les garnitures A et C soient associées à des potentiels de même polarité.

La garniture A correspond par exemple à une couche de PBMA dopé avec des sels d'argent, d'environ
5 0,5 μm d'épaisseur.

La garniture B correspond par exemple à une couche de Poly Butyl MéthAcrylate (PBMA).

La garniture C correspond par exemple à une couche de poly-(PEG-diméthacrylate) d'environ 0,5 μm
10 d'épaisseur.

Ces couches sont formées dans des bains de butyle méthacrylate et de PEG diméthacrylate, respectivement, dans la diméthyl formamide (DMF) en présence de perchlorate de tétraéthyl ammonium comme
15 électrolyte support. Ces trois garnitures sont associées à des polarités négatives ce qui est cohérent avec l'exemple d'implantation donnée pour la microstructure 1 de la figure 9.

20 Possibilité de tests des microstructures

Pour éviter le recours à des implantations de la couche 102, on peut aussi réaliser la zone annulaire
5 conductrice autour de la membrane 104 par dépôt d'une couche d'un autre matériau conducteur de l'électricité
25 (comme par exemple le cuivre) différent, au sens d'une réaction électro-initiée, de l'or et du silicium utilisés pour les contacts 8 et la membrane 104 respectivement, afin de sélectivement obtenir les trois fonctionnalisations différentes.

30 La configuration décrite en relation avec la figure 9 quand le dopage n'est pas utilisé pour réaliser la zone annulaire ou la configuration de la

figure 5, rendent difficile le test des microstructures 1 avant découpe de la plaquette 100 : ce test ne peut se faire que si les couches supérieures 102 des microstructures 1 sont électriquement isolées les unes des autres, les parties inférieures 15 étant par construction reliées entre elles sur une plaquette 100.

La mise en œuvre suivante permet de répondre à ce besoin. La connexion des différentes couches supérieures 102 des microstructures 1 à l'électrode commune 106b se fait via le plot dit plot d'électrode 29 réalisé sur une implantation 5 de dopage de type opposé à celui de la partie supérieure 102. La diode ainsi créée est choisie de manière à être passante lors des différentes opérations de garniture. La configuration de la figure 9 possède directement cette propriété, le plot 29 pouvant être considéré comme un plot d'électrode.

Ainsi, pour ces différentes configurations comportant un plot d'électrode 29, lors d'une phase de test, on utilise une configuration électrique permettant de maintenir entre l'électrode commune 106b pour la configuration figure 9 et les membranes 104 une tension inverse permettant de bloquer les diodes. Le blocage des diodes a alors pour effet d'isoler électriquement les différentes membranes 104 d'une structure à l'autre.

De manière pratique, le test des différentes microstructures 1 présentes sur la plaquette 100 est réalisé à partir d'un circuit de mesure externe comportant différents points de mesure ou d'alimentation destinés à être reliés aux contacts 8 et 12 reliés chacun respectivement à une armatures d'une

capacité formée entre les couches supérieures 102 et la couche inférieure 15. Le contact 8 est relié à l'armature 102 et le contact 12 à l'armature formée par la partie de couche 15 en regard de la couche 102. Les tensions sont mesurées par rapport à une référence choisie dans le circuit externe. Une tension supplémentaire, dites de polarisation, choisie en valeur absolue supérieure ou égale à toutes les autres tensions utilisées, est appliquée sur l'électrode 106b ou plus généralement sur le plot d'électrode 29. Son signe est opposé à celui utilisé pour l'opération de garniture : elle permet donc de bloquer les différentes diodes 508. Dans cette configuration, aucun courant ne circule entre les plots par l'intermédiaire du circuit de polarisation : le composant est fonctionnel et peut être testé ou utilisé normalement. L'application des tensions de test peut avoir lieu par l'intermédiaire d'un sabot de test.

En conclusion, les implantations peuvent donc être utilisées même sur la configuration de la microstructure décrite figure 5 ou quand de manière plus générale seule la sélectivité par les matériaux est utilisée, pour permettre le test des microstructures avant découpage de la plaquette.

Mise en œuvre pour un support d'interconnexion

La figure 11 décrit un substrat d'interconnexion 402 pouvant être utilisé pour l'assemblage mécanique et électrique individuel d'une microstructure 1 telle que décrite figure 9. La partie A représente une coupe transversale du support et la partie B une vue de dessus.

L'exemple donné correspond à un support fonctionnellement identique au support utilisé pour réaliser un microsystème de mesure de pression tel que décrit figure 6. Ce support est réalisé de manière collective sur une plaquette de silicium 900 de type n permettant de garantir une conductivité minimum typique de 10 Ω .cm. Cette plaquette peut être amincie suivant les techniques connues ce qui permet d'obtenir une épaisseur typique inférieure à 100 μ m. L'antenne 902 est réalisée par dépôt d'une couche d'or isolée du substrat principal 900 par une couche de silice 904. Quatre plots de contact 906 servent à connecter un ASIC 400 par exemple tel que décrit dans la figure 6. Les plots 908 sont utilisés pour la connexion électrique avec les plots 8, 12 de la microstructure 1 telle que représentée figure 9. Ces plots 908, 906 sont réalisés sur des implantations locales 910 de type p traçant également les pistes électriques du support 402. Un contact 916 est relié directement au substrat 900 sans dopage intercalaire. Le support comprend un évidement circulaire 405 obtenu par un usinage.

Dans cette configuration, le substrat conducteur 900 est utilisé comme électrode commune. Le dessous du substrat 900 comporte un dépôt métallique 918 permettant d'homogénéiser la résistance de l'électrode commune si la conductivité du substrat 900 n'est pas suffisante. La fonctionnalisation du support 402 par électrogreffage s'effectue au minimum en trois étapes pour déposer les garnitures A' et B' complémentaires de celles utilisées pour la microstructure 1 représenté figure 9.

Dans une première étape, le potentiel appliqué permet de fonctionnaliser le plot 916 avec une garniture A'. La partie non dopée de la face de dessus du substrat 900 n'est pas affectée car le silicium
5 demande un potentiel plus élevé. La partie dopée 910 et les contacts 906 et 908 sont en plus protégés par la diode entre le substrat 900 et la partie implantée 910.

Dans une seconde étape, une garniture A' est réalisée sur les contacts 908 et 916. Cette étape
10 requiert un potentiel plus élevé à cause de la diode. La partie non dopée de la face de dessus du substrat 900 n'est pas affectée car le greffage sur silicium requiert un potentiel plus élevé que le potentiel de greffage sur l'or augmenté du décalage de la diode.

15 Dans une troisième étape, le potentiel appliqué permet de fonctionnaliser le reste de la face de dessus du substrat 900 avec une garniture B'. La partie dopée 910 et les contacts 906 et 908 sont protégés par la diode.

20 L'orientation des diodes est déterminée par la polarité de la garniture A'. Dans notre exemple, cette polarité est négative. Il est possible lors d'une quatrième étape de recouvrir les zones dopées 910 pour finir l'isolation du support. Dans notre exemple, A'
25 est choisi identique à A et B' identique à B.

Le plot 916 est utilisé pour polariser positivement dans l'exemple donné le substrat à partir d'une tension fournie par l'ASIC 400. Cette tension, par exemple la tension maximum d'alimentation utilisée
30 dans le composant électronique 400 pour la polarisation des transistors, permet de garantir l'isolation électrique entre les différents contacts 906 et 908 en

cours de fonctionnement du microsystème. Il a été vérifié que la présence des diodes supplémentaires ne modifie pas la fonctionnalité du microsystème tel que décrit au dessus, y compris dans les phases
5 transitoires.

L'ASIC 400 peut également, lorsque la compatibilité des technologies le permet, être directement réalisé sur la couche 900 du support 402 pour éviter une interconnexion supplémentaire.

10

Produit obtenu

La figure 12 est une coupe schématique d'un microsystème 200 réalisé par l'assemblage d'un support 402 tel que décrit sur la figure 11 après
15 fonctionnalisation avec une microstructure 1 telle que décrite sur la figure 9 après fonctionnalisation et un composant électronique classique 400 assemblé par wire-bounding.

L'ASIC 400 est relié au support 402 par des
20 fils d'or 1010 thermosoudés (wire-bounding classique) comme indiqué sur la figure. Cette opération peut également être réalisée par flip-chip classique. La microstructure 1 est assemblée sur le support 402 par légère compression et chauffage pour permettre la
25 thermofusion des garnitures en regard. L'assemblage se fait via les garnitures 10, 14 des contacts 8, 12 respectivement de la microstructure 1 et les garnitures correspondantes du support déposées sur les plots 908. Ceci permet d'établir les contacts électriques en 1006.
30 L'assemblage se fait aussi via la garniture 7 de la zone annulaire 5 de la microstructure 1 et la garniture correspondante du substrat 900 du support 402 autour de

l'ouverture 405. Ceci permet d'établir un joint d'étanchéité en 1008. La face arrière du composant est noyée dans une résine 1012. On peut vérifier que dans cette configuration, la partie électrique du microsystème est effectivement isolée du milieu environnant alors que la membrane 104 de la microstructure 1 est en contact avec ce dernier via la garniture 4.

10 Méthode pour assembler un ASIC

Pour des soucis d'homogénéité du procédé, il peut être avantageux d'utiliser la même technique d'interconnexion électrique pour l'ASIC 400 associé à la microstructure 1 d'un microsystème. A cause de la rugosité de la surface d'un tel composant, il est difficile d'utiliser un composant standard sans des opérations supplémentaires de traitement de surface pour préparer l'assemblage. La figure 13 décrit une autre approche qui repose sur les technologies connues de "chip size package". Ces technologies utilisent une plaquette intermédiaire 1100 collée à une plaquette active 1102 comportant les ASICs 400 par wafer-bonding pour fournir une nouvelle couche d'interface avec l'extérieur. Le premier objectif connu de l'utilisation d'une telle technique est de transformer des plots de contacts 1104 de faible dimension en des plots standards 1110 et de fournir un boîtier intégré. Différentes solutions connues existent pour effectuer ce type de composant. La référence 7 décrit par exemple comment réaliser de manière collective le capot silicium 1100 au dessus du composant 1102 en reportant

les contacts 1104 du composant à la surface du capot en 1110.

Il est possible de greffer les garnitures nécessaires pour l'assemblage du composant sur cette
5 seconde plaquette 1100 en utilisant les mêmes principes que ceux décrit pour le support d'interconnexion 402. L'électrode commune est réalisée par le substrat 1100 et des implantations locales 1108 permettent d'assurer l'isolation entre contacts 1110 lorsque le substrat est
10 porté au potentiel adéquat par l'intermédiaire du contact 1112. Pour des raisons de tenue en température, il est préférable de réaliser le traitement après l'assemblage des deux plaquettes 1102 et 1100.

L'intérêt de cette mise en œuvre est alors de
15 fournir une solution alternative pour l'ASIC 400 à l'assemblage par billes fusibles, de mise en œuvre facile (faible température d'assemblage, pas de problème de nettoyage de la surface après l'opération, en particulier pour éliminer le flux présent dans les
20 billes fusibles, ...) et permettant d'augmenter la densité de contacts.

Produit obtenu

La figure 14 est une coupe schématique
25 transversale d'un microsystème 200 réalisé par l'assemblage d'un support d'interconnexion 402, tel que décrit sur la figure 11, après fonctionnalisation, avec une microstructure 1, tel que décrit sur la figure 9, après fonctionnalisation, et un ASIC 400 tel que décrit
30 sur la figure 13, après fonctionnalisation.

L'assemblage de la microstructure 1 sur le support d'interconnexion 402 est identique à ce qui a

été décrit en liaison avec la figure 12. L'assemblage de l'ASIC 400 tel que représenté figure 13 est réalisé par l'intermédiaire de garniture déposée sur les plots 1110 de l'ASIC 400 et de garniture déposée sur les
5 plots 906 du support 402 disposés en regard les uns des autres. La garniture respectivement des plots de l'ASIC 400 et des plots du support 402 sont de type A et A', thermofusible conductrice.

DOCUMENTS CITES

- [1] Development of a completely encapsulated intraocular pressure sensor, Walter P. et al, Ophthalmic Research (2000), 32, p 278-284.
- 5
- [2] Microfluidic plastic capillaries on silicon substrates : a new inexpensive technology for bioanalysis chips, P. F. Man et al, présenté à la conférence MEMS 1997, Jan. 26-30 1997, Nagoya, Japan.
- 10
- [3] Delamarche E., Michel B., Gerber Ch., Langmuir (1994), 10, p 2869 et
- [4] Kumar A., Whitesides G.M., Applied Physics Letters (2002), 63, p 1993
- [5] WO 0057467
- 15
- [5] US 6,137,183
- [6] Miniature pressure acquisition microsystem for wireless in vivo measurements, Renard S. et al, présenté à 1st annual international IEEE EMBS Special topic conference on microtechnologies in medicine and
- 20
- biology, October 12-14, à Lyon en France
- [7] FR 97014608

REVENDICATIONS

1. Microstructure électromécanique 1 comprenant une première partie appelée partie mécanique 102 réalisée dans un premier matériau conducteur de l'électricité, et qui comprend d'une part une zone déformable de manière élastique 104 ayant une valeur d'épaisseur et une surface exposée 2, et d'autre part un premier film organique 4 ayant une épaisseur, présent sur l'ensemble de la surface exposée 2 de la dite zone déformable 104, caractérisé en ce que l'épaisseur du premier film 4 est telle que la réponse élastique de la zone déformable 104 munie du premier film 4 ne change pas de plus de 5% par rapport à la réponse de la zone déformable nue 104 ou en ce que l'épaisseur du premier film 4 est inférieure à dix fois l'épaisseur de la zone déformable 104.

2. Microstructure électromécanique 1 selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'épaisseur du premier film 4 est telle que la réponse élastique de la zone déformable 104 munie du premier film 4 ne change pas de plus de 1%.

3. Microstructure électromécanique 1 suivant l'une des revendications 1 à 2, caractérisée en ce que le premier film 4 est constitué d'un film organique lié de façon covalente à la surface exposée 2 de la zone déformable 104.

4. Microstructure électromécanique 1 suivant la revendication 3, caractérisée en ce que le premier film 4 est constitué d'une couche d'une molécule de longueur fixe liée de manière covalente à la surface exposée 2 de la zone déformable 104 et en ce que le premier film

4 est réalisé dans une matière qui peut être déposée à partir d'une réaction électro-initiée.

5. Microstructure électromécanique 1 suivant la revendication 4, caractérisée en ce que le taux de
5 couverture de la surface exposée 2 par le premier film 4 est supérieur à 60%.

6. Microstructure électromécanique 1 suivant la revendication 4, caractérisée en ce que le taux de
couverture de la surface exposée 2 par le premier film
10 4 est supérieur à 90%.

7. Microstructure électromécanique 1 suivant l'une des revendications 4 à 6, caractérisée en ce qu'elle comporte à la surface de la partie mécanique 102, une zone annulaire 5, entourant la surface exposée
15 2, ayant elle-même une surface 6 et réalisé dans un deuxième matériau conducteur de l'électricité, différent au sens de la réaction électro-initiée du premier matériau de la partie mécanique 102, et en ce qu'un deuxième film organique 7 est présent sur la
20 surface 6 de la dite zone annulaire 5, ce deuxième film 7 étant un film réalisé dans une matière pouvant être déposée à partir d'une réaction chimique électro-initiée.

8. Microstructure électromécanique 1 suivant
25 l'une des revendications 4 à 6, caractérisée en ce que le premier matériau constituant la partie mécanique 102 est un semi-conducteur dopé et en ce qu'elle comporte à la surface de la partie mécanique 102, une zone annulaire 5, entourant la surface exposée 2, ayant
30 elle-même une surface 6 et réalisé dans un deuxième matériau réalisé par dopage de type opposé à celui du premier matériau et en ce qu'un deuxième film organique

7 est présent sur la surface 6 de la dite zone annulaire 5, ce deuxième film 7 étant un film réalisé dans une matière pouvant être déposée à partir d'une réaction chimique électro-initiée.

5 9. Microstructure électromécanique 1 suivant l'une des revendications 7 à 8, caractérisée en ce que la partie mécanique 102 comporte un ou plusieurs plots de contact 8 sur une position extérieure à la zone annulaire 5.

10 10. Microstructure électromécanique 1 suivant la revendication 7, caractérisée en ce que la partie mécanique 102 comporte un ou plusieurs premiers plots de contact 8 ayant une surface 9 réalisés dans un
15 troisième matériau, différent au sens de la réaction électro-initiée des premier et deuxième matériaux, sur une position extérieure à la zone annulaire 5 et en ce qu'un troisième film organique 10 est présent à la surface 9 des premiers plots de contact 8, ce troisième film 10 étant un film réalisé dans une matière pouvant
20 être déposée à partir d'une réaction chimique électro-initiée.

11. Microstructure électromécanique 1 suivant la revendication 8, caractérisée en ce que la partie mécanique 102 comporte un ou plusieurs premiers plots
25 de contact 8 ayant une surface 9 réalisés dans un troisième matériau, différent au sens de la réaction électro-initiée du premier matériau, sur une position extérieure à la zone annulaire 5 et en ce que un troisième film organique 10 est présent à la surface 9
30 des premiers plots de contact 8, ce troisième film 10 étant un film réalisé dans une matière pouvant être

déposée à partir d'une réaction chimique électro-initiée.

12. Microstructure électromécanique 1 selon l'une des revendications 10 à 11, caractérisée en ce qu'elle comporte une deuxième partie 11 conductrice de l'électricité, isolée électriquement et mécaniquement solidaire de la partie mécanique 102 comportant un ou plusieurs deuxièmes plots de contact 12 ayant une surface 13 réalisés dans un matériau différent au sens de la réaction électro-initié du matériau constitutif de la deuxième partie 11 et en ce que un quatrième film organique 14 est présent à la surface 13 des deuxièmes plots de contact 12, ce quatrième film 14 étant un film réalisé dans une matière pouvant être déposée à partir d'une réaction chimique électro-initiée.

13. Microstructure électromécanique 1 selon la revendication 12, caractérisée en ce qu'elle comporte une troisième partie 15, mécaniquement solidaire des première et deuxième parties mécanique 102 et 11, isolée électriquement de la première partie mécanique 102, réalisée dans un matériau conducteur de l'électricité et en ce que la deuxième partie et la troisième partie sont électriquement reliées.

14. Microstructure électromécanique 1 selon la revendication 12, caractérisée en ce que la première partie 102 est constituée par une première couche de silicium, et en ce que les première et deuxième parties 102 et 11 sont solidaires d'une même couche isolante 16.

15. Microstructure électromécanique 1 selon la revendication 13, caractérisée en ce que la première partie 102 est constituée par une première couche de

silicium monocristallin, et en ce que les première et deuxième parties 102 et 11 sont solidaires d'une même couche isolante 16 et en ce que la troisième partie 15 est constitué par une deuxième couche de silicium sur lequel repose la dite couche isolante 16.

16. Microstructure électromécanique 1 selon l'une des revendications 14 ou 15, caractérisée en ce que la couche isolante 16 comporte un évidement 18 situé immédiatement sous la zone déformable 104.

10 17. Microstructure électromécanique 1 suivant l'une des revendications 1 à 7 ou 10, caractérisée en ce que le premier matériau constituant la partie mécanique 102 est un semi-conducteur dopé et en ce qu'un dopage de type opposé à celui du premier matériau définit un plot d'électrode 19 à la surface de la partie mécanique 102 en dehors de la surface exposée 2.

15 18. Microstructure électromécanique 1 suivant l'une des revendications 1 à 17, caractérisée en ce que le premier film organique 4 est dans un matériau tel que la surface exposée 2 de la zone déformable 104 couverte de ce film 4 présente des fonctions de biocompatibilité, de non cyto-toxicité et/ou d'anti-adhésion ou anti-prolifération cellulaire.

20 19. Microstructure électromécanique 1 suivant l'une des revendications 7 à 17, caractérisée en ce que le deuxième film 7 est une film présentant des fonctions de biocompatibilité et de non cyto-toxicité.

25 20. Capteur de pression incorporant une microstructure électromécanique 1 suivant l'une des revendications 1 à 19.

30 21. Plaquette 100 comportant un ensemble de microstructures 1 selon l'une des revendications 1 à 7

ou selon la revendication 10, caractérisée en ce qu'elle comporte une première électrode commune 106a reliant électriquement toutes les parties mécaniques 102 entre elles.

5 22. Plaquette 100 comportant un ensemble de microstructures 1 selon la revendication 8, caractérisée en ce qu'elle comporte une première électrode commune 106b reliant électriquement toutes les zones annulaires 5 entre elles et en ce que la
10 polarité nécessaire pour électro-initier le premier film 4 correspond au sens passant de la diode créée par le dopage dans le sens zone annulaire 5 vers zone déformable 104 de la partie mécanique 102.

 23. Plaquette 100 comportant un ensemble de
15 microstructures 1 selon la revendication 8 ou la revendication 11, caractérisée en ce que qu'elle comporte une première électrode commune 106a reliant électriquement toutes les parties mécaniques 102 entre elles et en ce que la polarité nécessaire pour électro-
20 initier le deuxième film 7 correspond au sens passant de la diode créée par le dopage dans le sens de la zone déformable 104 vers la zone annulaire 5 de la partie mécanique 102.

 24. Plaquette 100 comportant un ensemble de
25 microstructures 1 selon la revendication 11, caractérisée en ce qu'elle comporte une première électrode commune 106b reliant électriquement toutes les zones annulaires 5 entre elles et en ce que la polarité nécessaire pour électro-initier les premier et
30 troisième films 4 et 10 est identique et correspond au sens passant de la diode créée par le dopage dans le

sens zone annulaire 5 vers la zone déformable 104 de la partie mécanique 102.

25. Plaquette 100 comportant un ensemble de microstructures 1 selon l'une des revendications 12 à 13, caractérisée en ce qu'elle comporte une première électrode commune 106a reliant électriquement toutes les parties mécaniques 102 entre elles et une deuxième électrode commune 106c réalisée en surface de la plaquette 100 reliant électriquement toutes les deuxièmes parties 11.

26. Plaquette 100 comportant un ensemble de microstructures 1 selon la revendication 17, caractérisée en ce qu'elle comporte une première électrode commune 106d reliant électriquement toutes les plots d'électrodes 19 et en ce que la polarité nécessaire pour électro-initier les films organiques 4, 7, 10 correspond au sens passant de la diode créée par le dopage dans le sens du plot d'électrode 19 vers la partie mécanique 102.

27. Microsystème 200 caractérisé en ce qu'il comporte une microstructure électromécanique 1 selon l'une des revendications 1 à 6, assemblée électriquement face avant retournée sur un support d'interconnexion 402 comprenant une ouverture débouchante 405 en regard de la partie déformable 104 de la microstructure 1.

28. Microsystème 200 caractérisé en ce qu'il comporte une microstructure électromécanique 1 selon l'une des revendications 7 à 9, assemblée électriquement face avant retournée sur un support d'interconnexion 402 comprenant une ouverture débouchante 405 en regard de la zone déformable 104 de

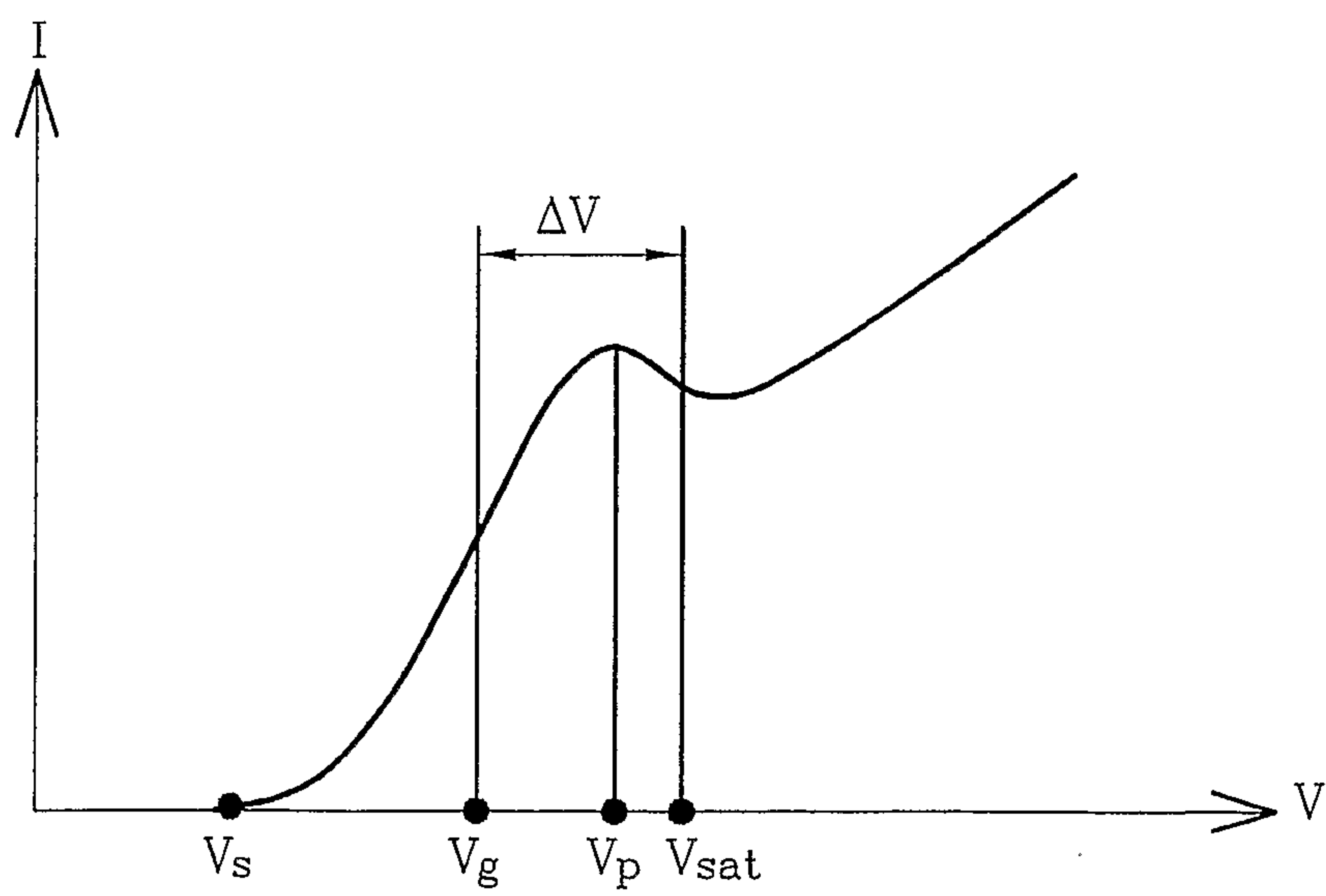
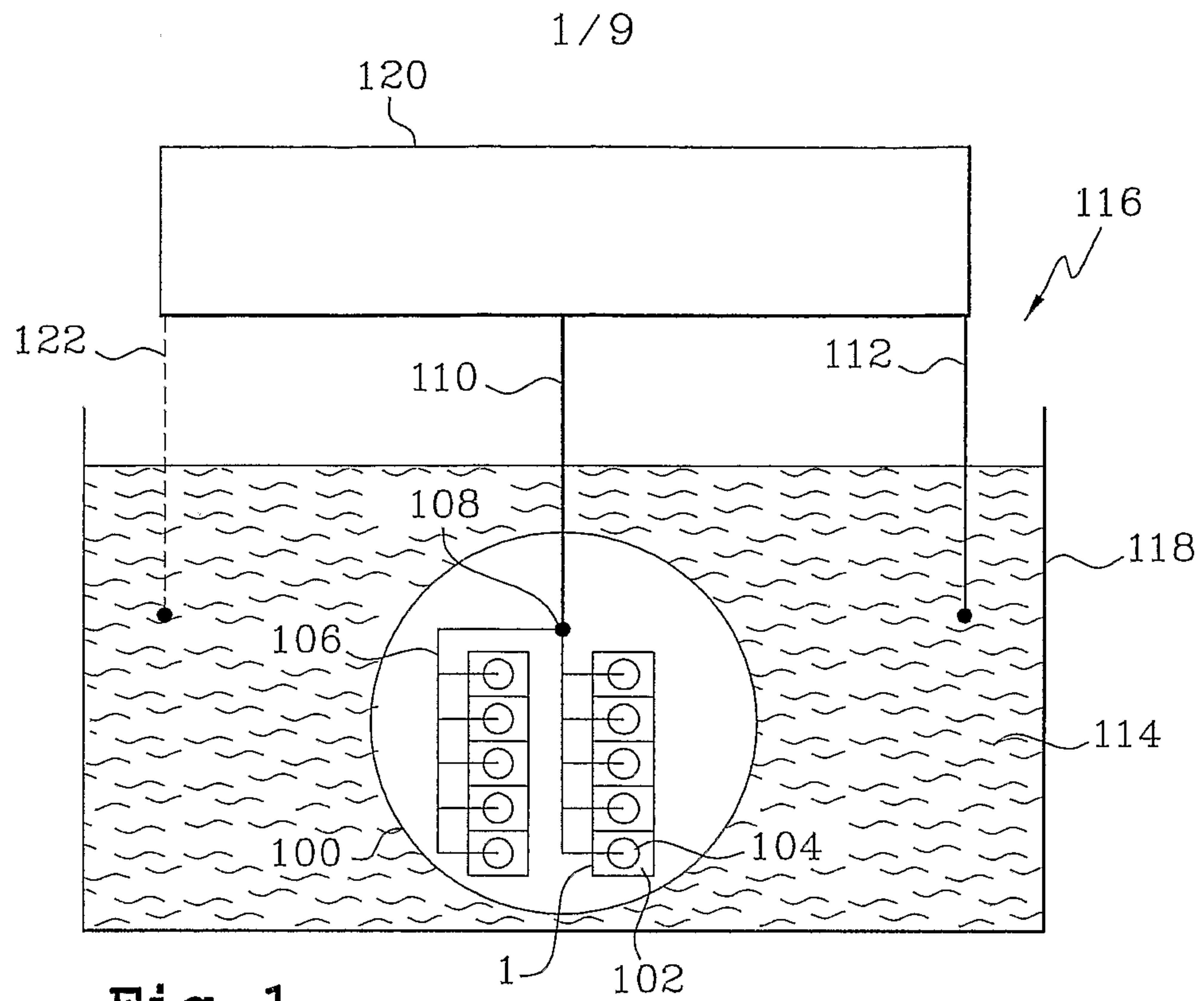
la microstructure 1, le film 7 de la zone annulaire 5 de la microstructure 1 étant dans une matière isolante thermofusible et venant en contact avec un substrat 900 du support 402 pour réaliser un joint d'étanchéité 1008
5 autour de la zone déformable 104 de la microstructure 1.

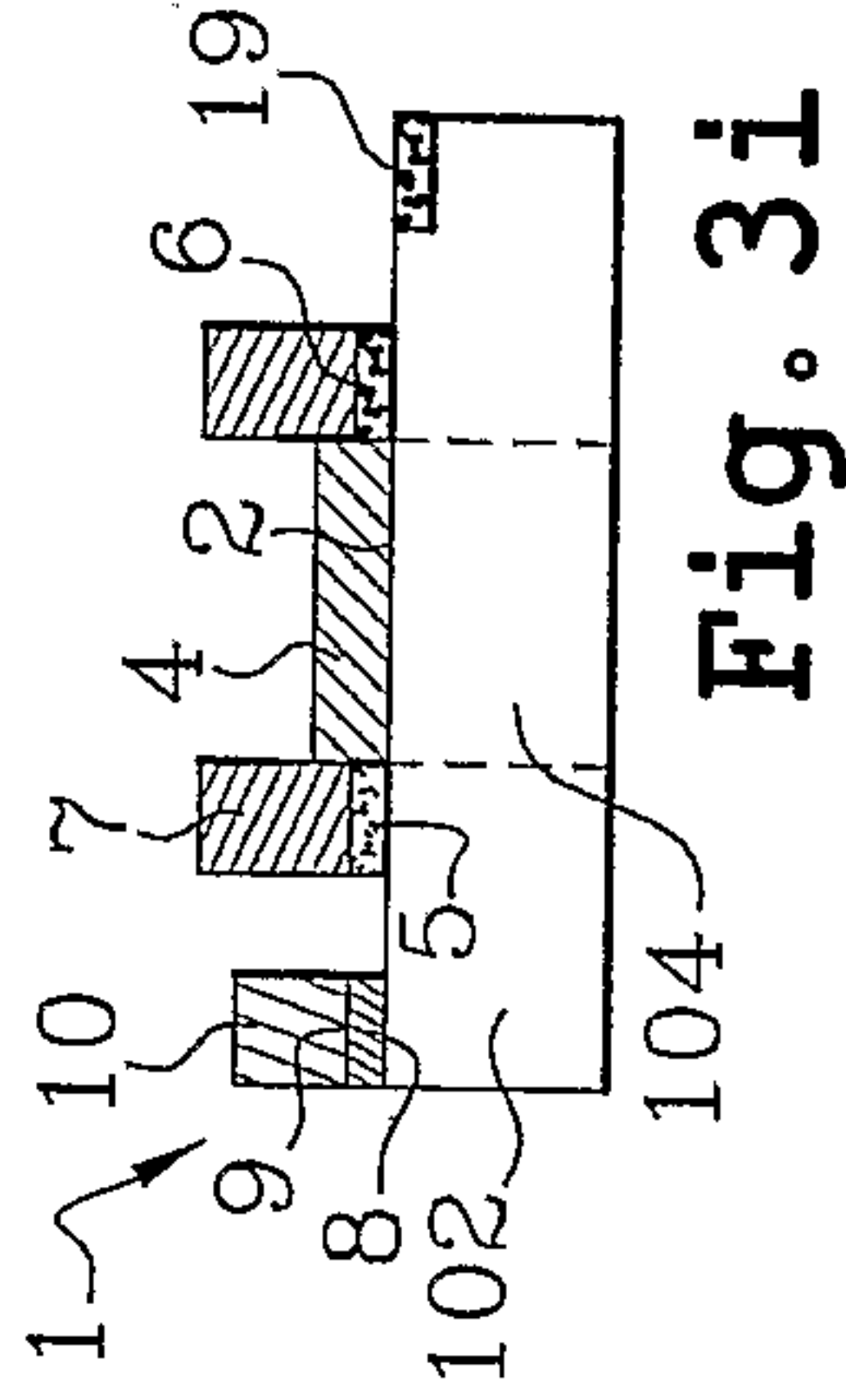
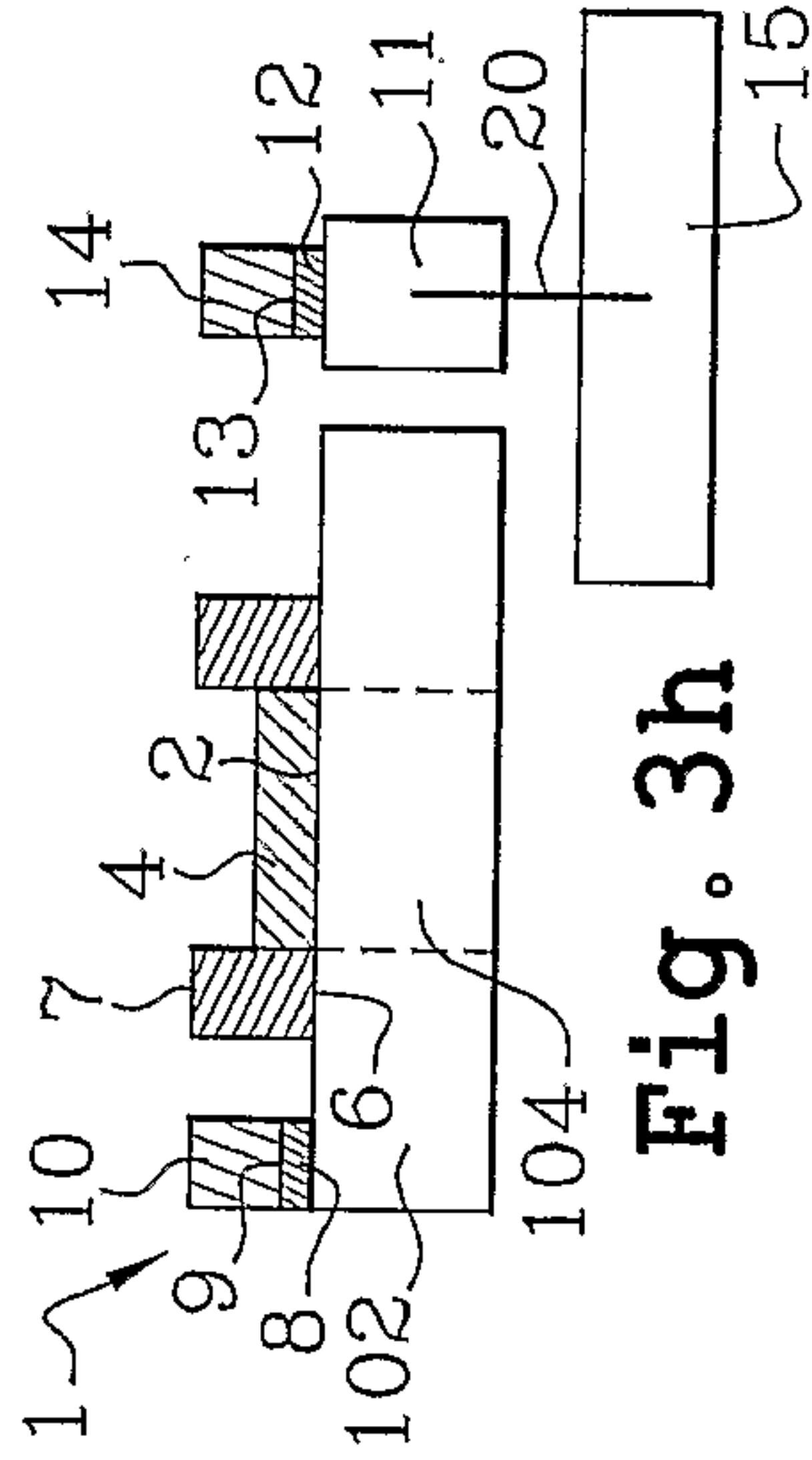
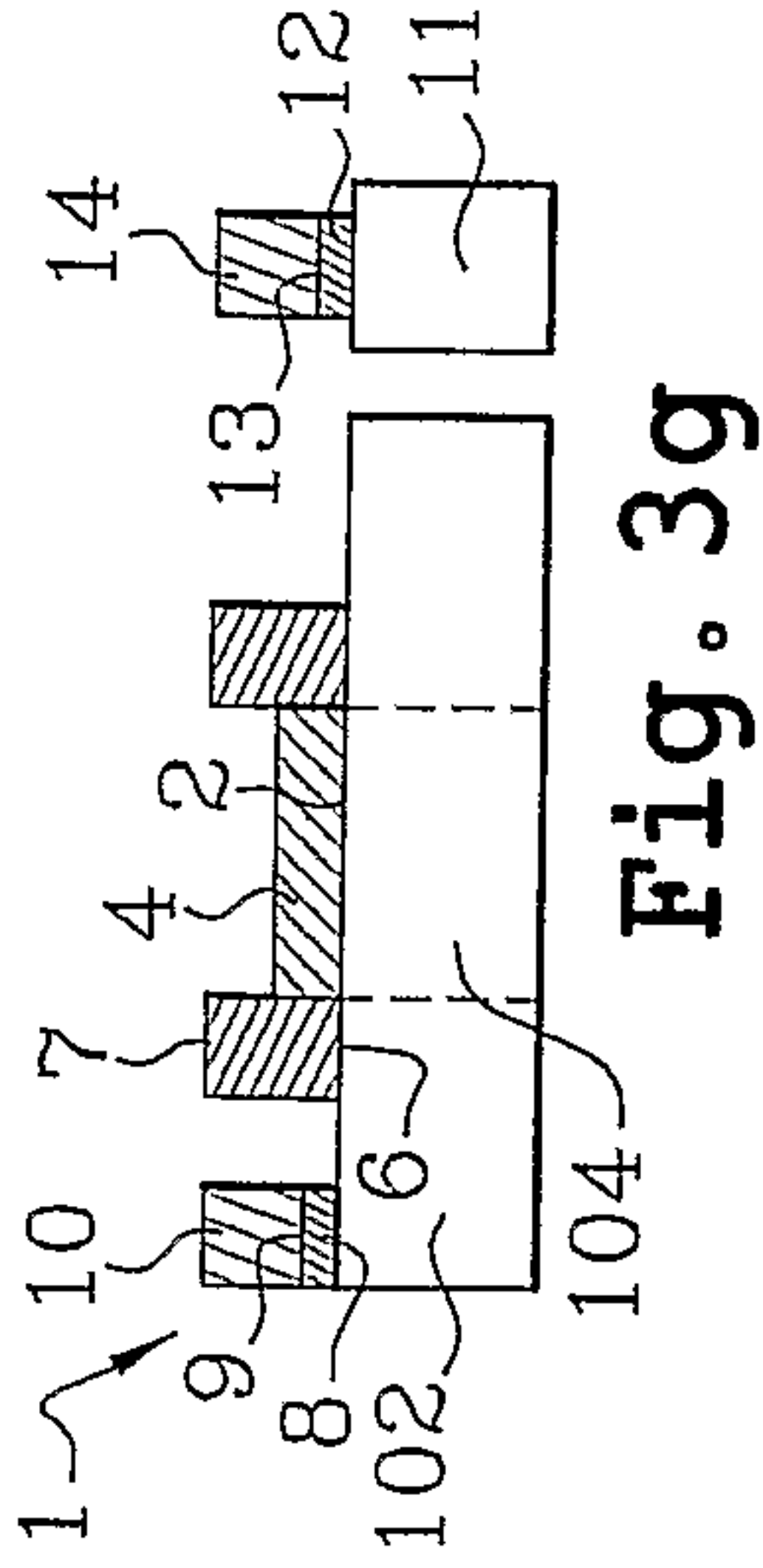
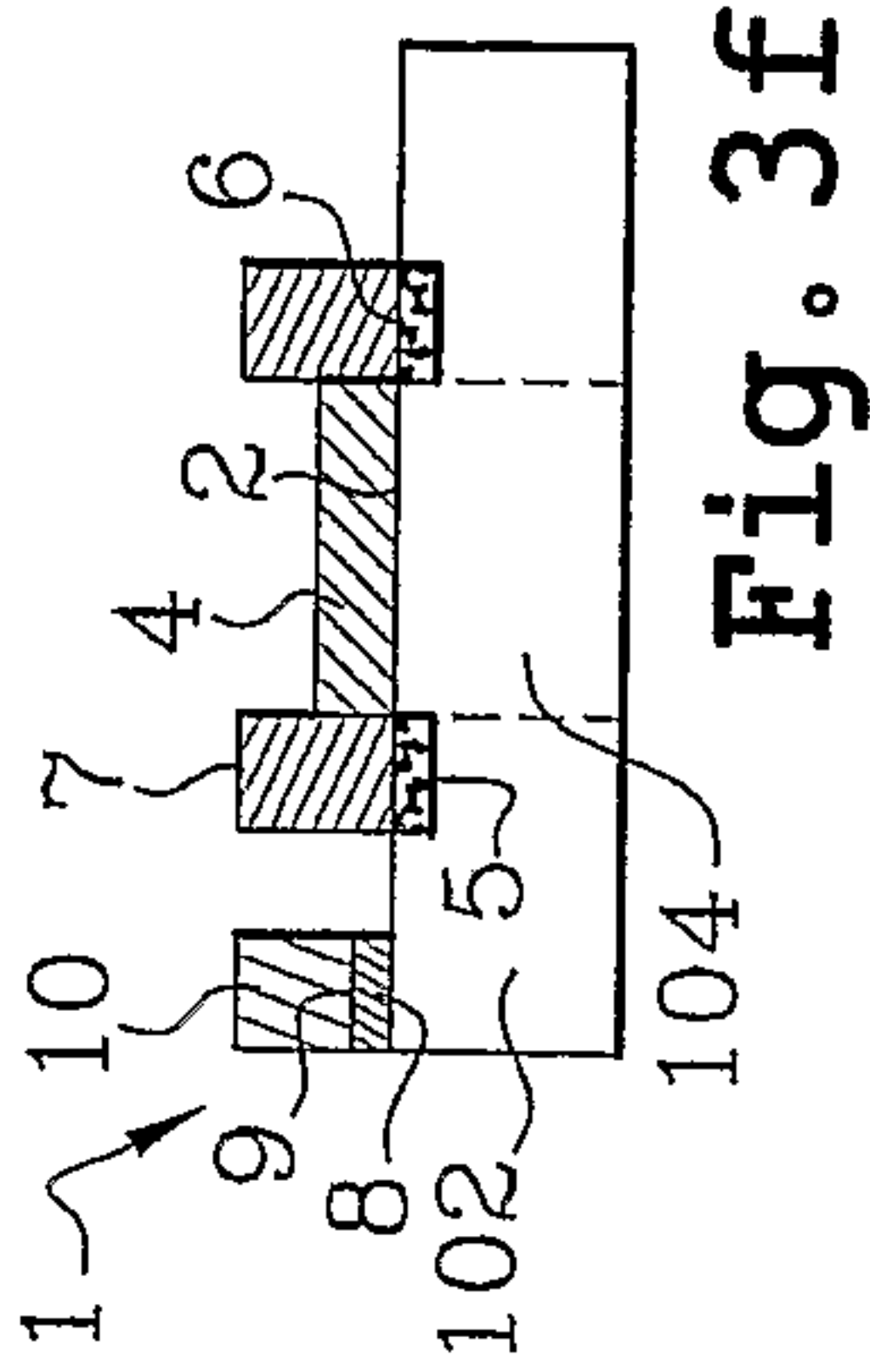
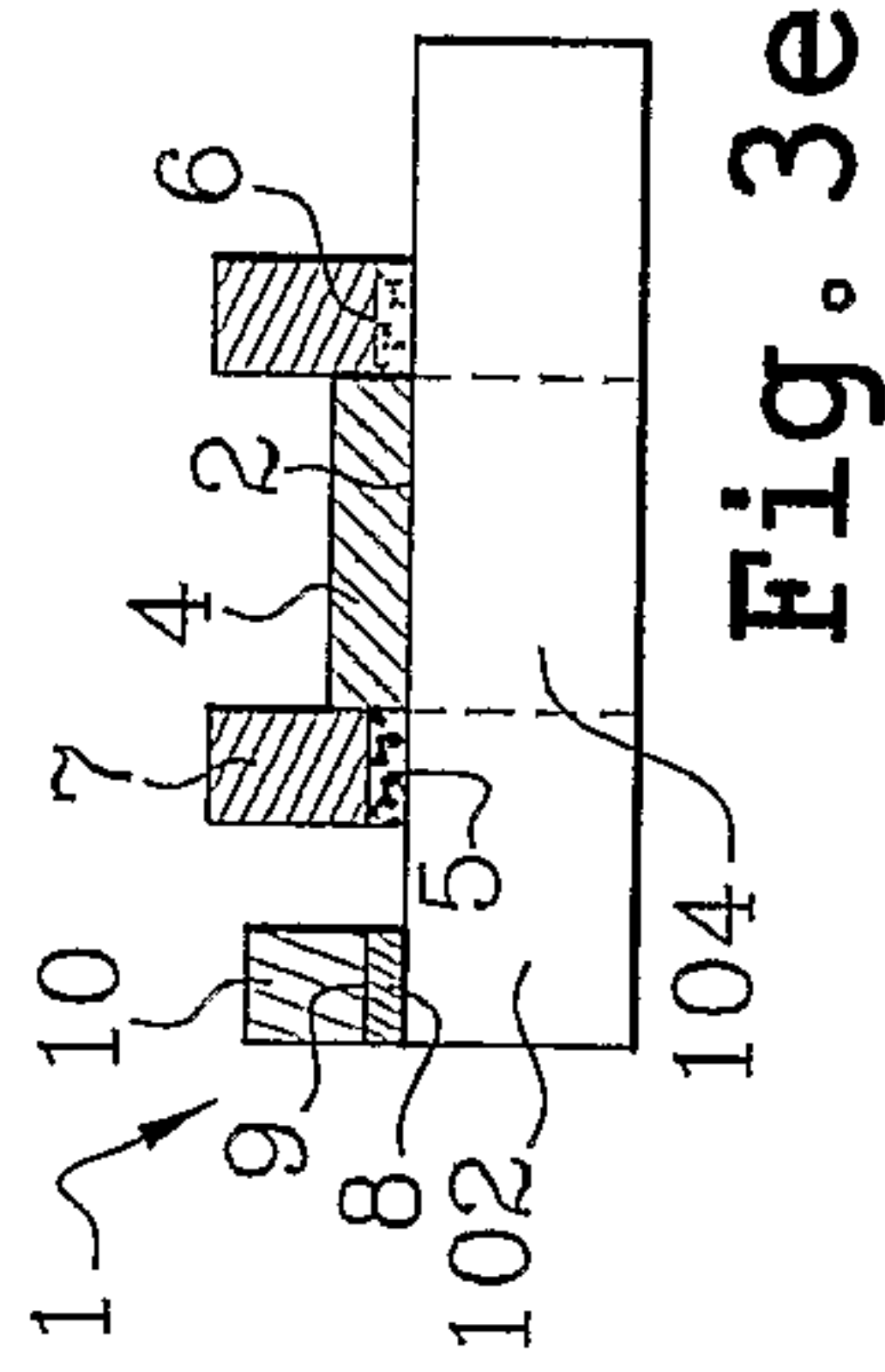
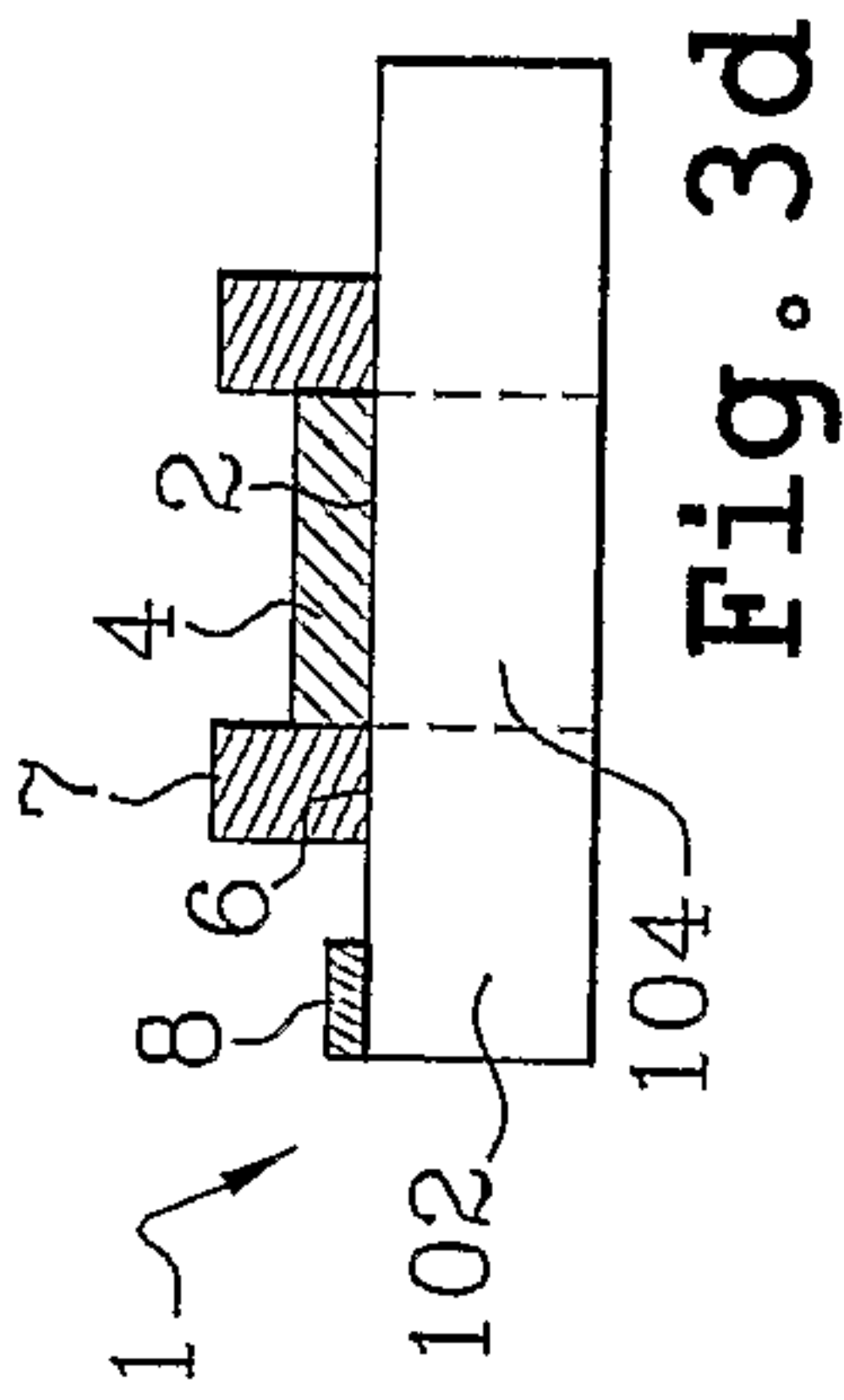
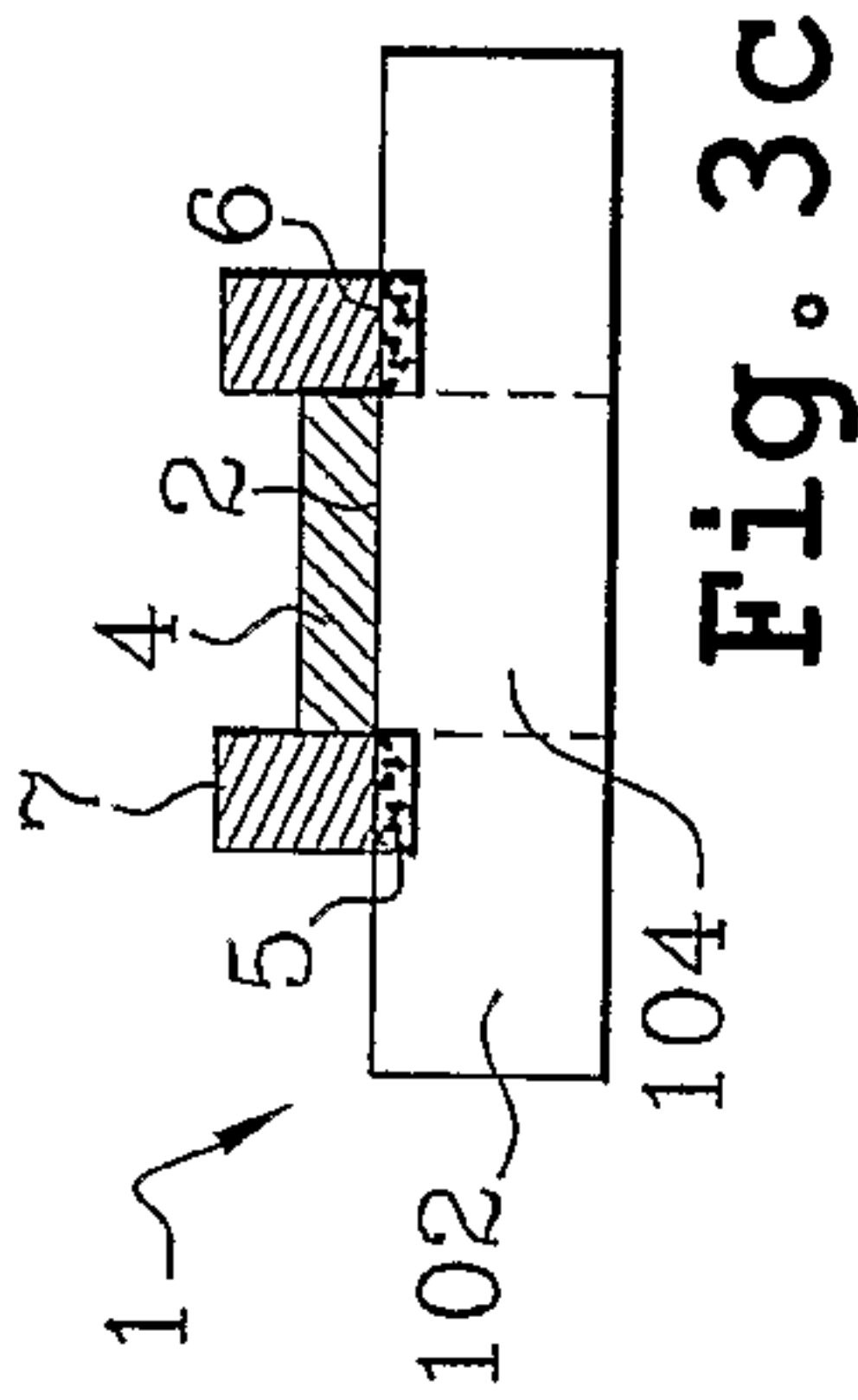
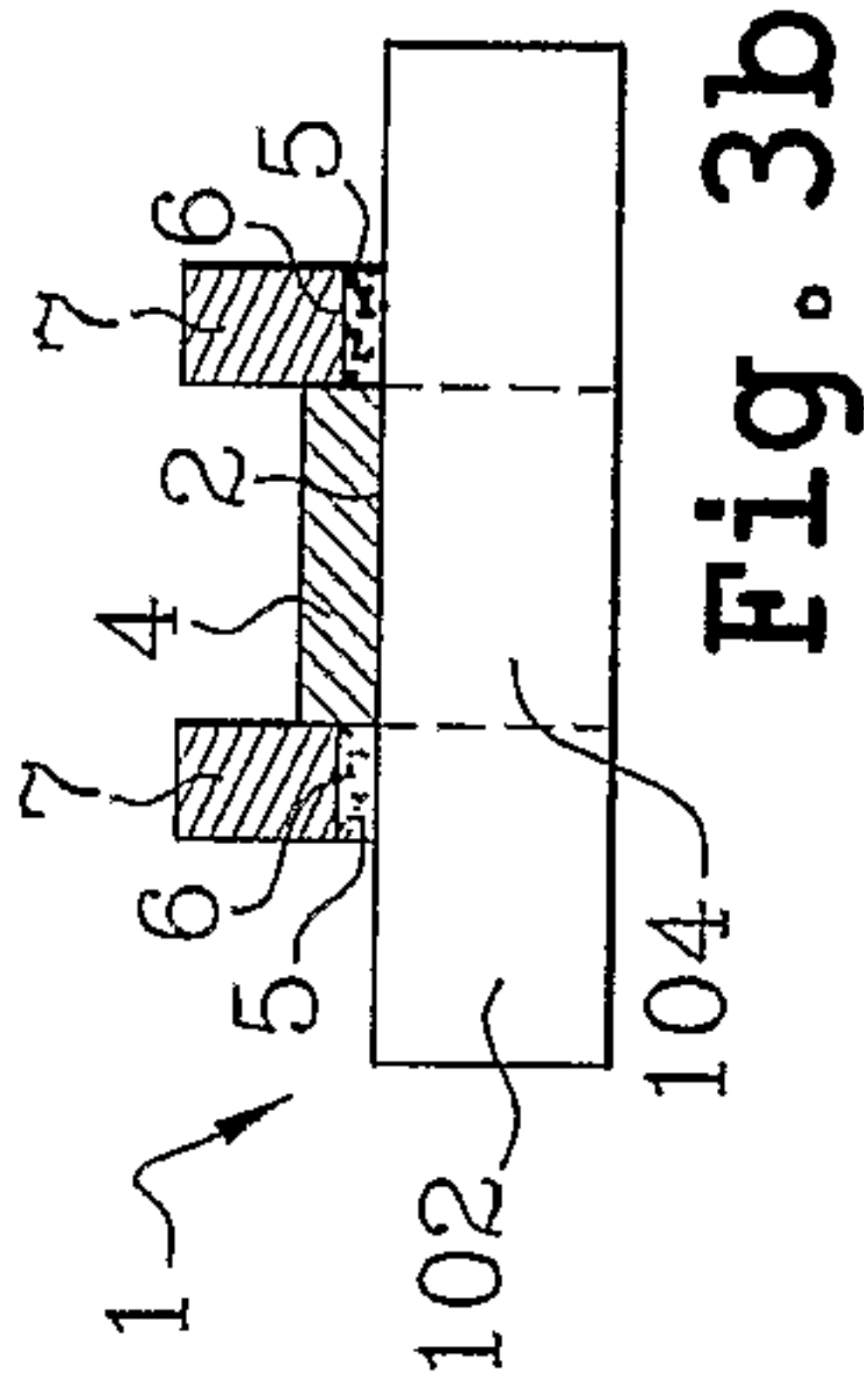
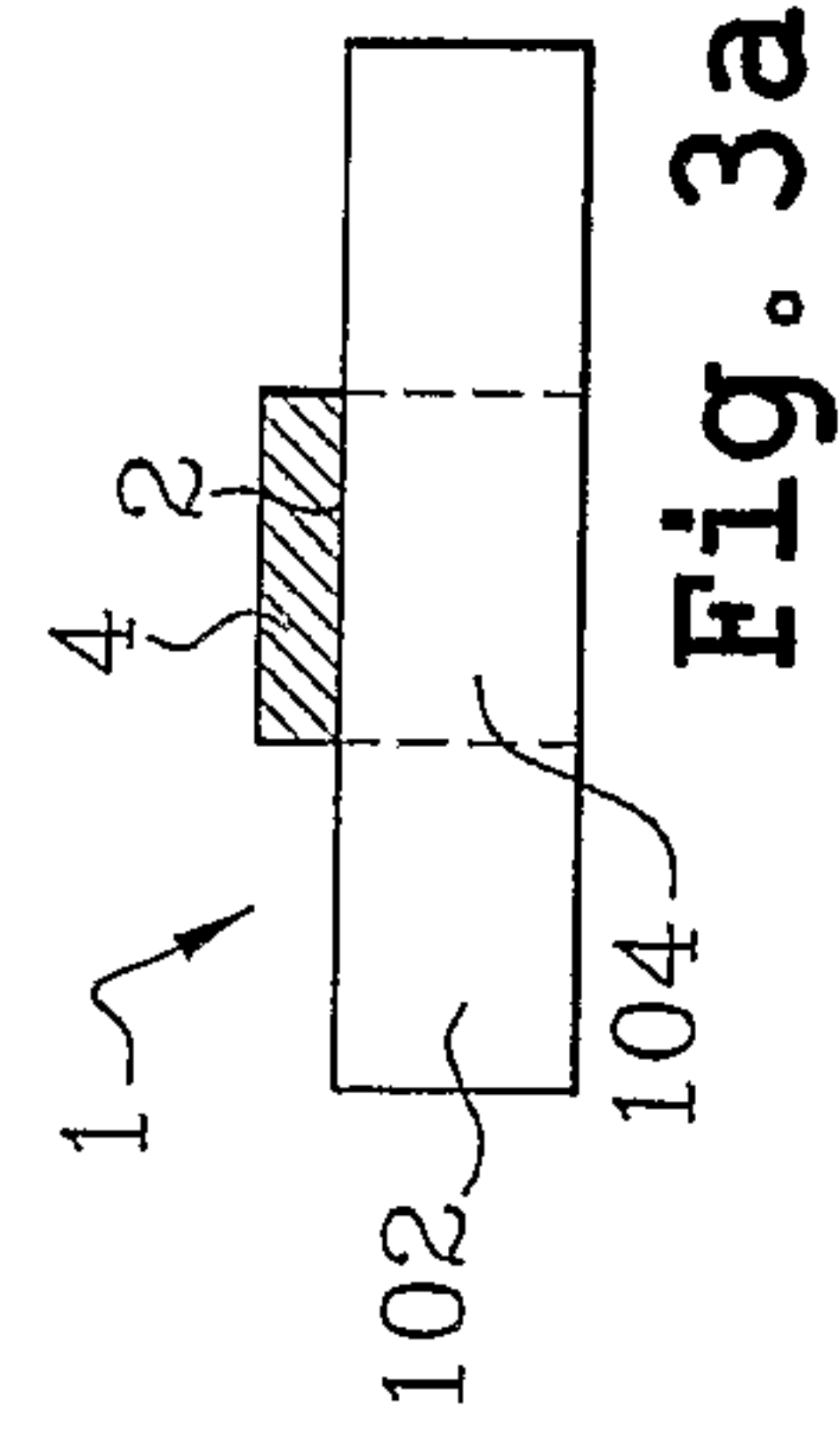
29. Microsystème 200 caractérisé en ce qu'il comporte une microstructure électromécanique 1 selon l'une des revendications 10 à 13, assemblée
10 électriquement face avant retournée sur un support d'interconnexion 402 comprenant une ouverture débouchante 405 en regard de la zone déformable 104 de la microstructure 1, le film 7 de la zone annulaire 5 de la microstructure 1 étant dans une matière isolante
15 thermofusible et venant en contact avec un substrat 900 du support 402 pour réaliser un joint d'étanchéité 7 autour de la zone déformable 104 de la microstructure 1, le film 10 ou 14 des plots de contact 8 ou 12 de la microstructure 1 étant dans une matière conductrice
20 thermofusible et venant en contact de plots 908 du support 402 pour réaliser une connexion mécanique et électrique 10, 14 entre la microstructure 1 et le support 402.

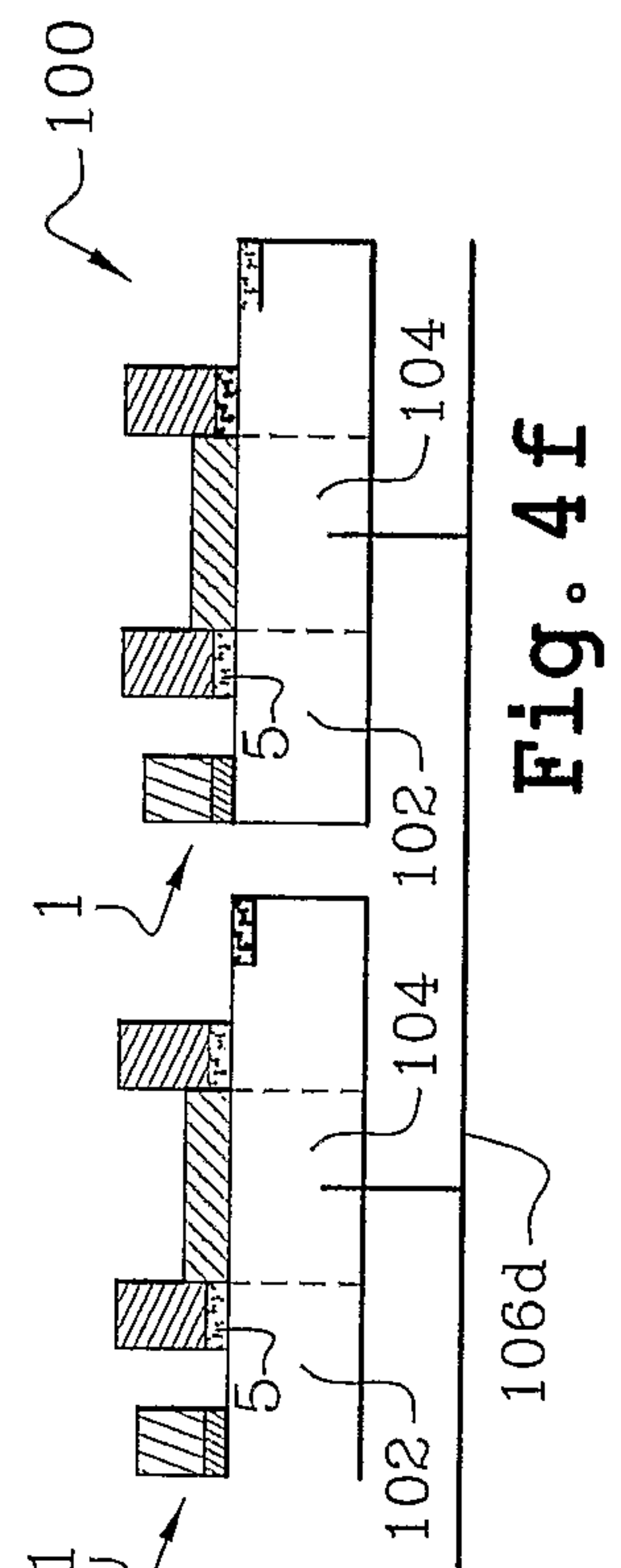
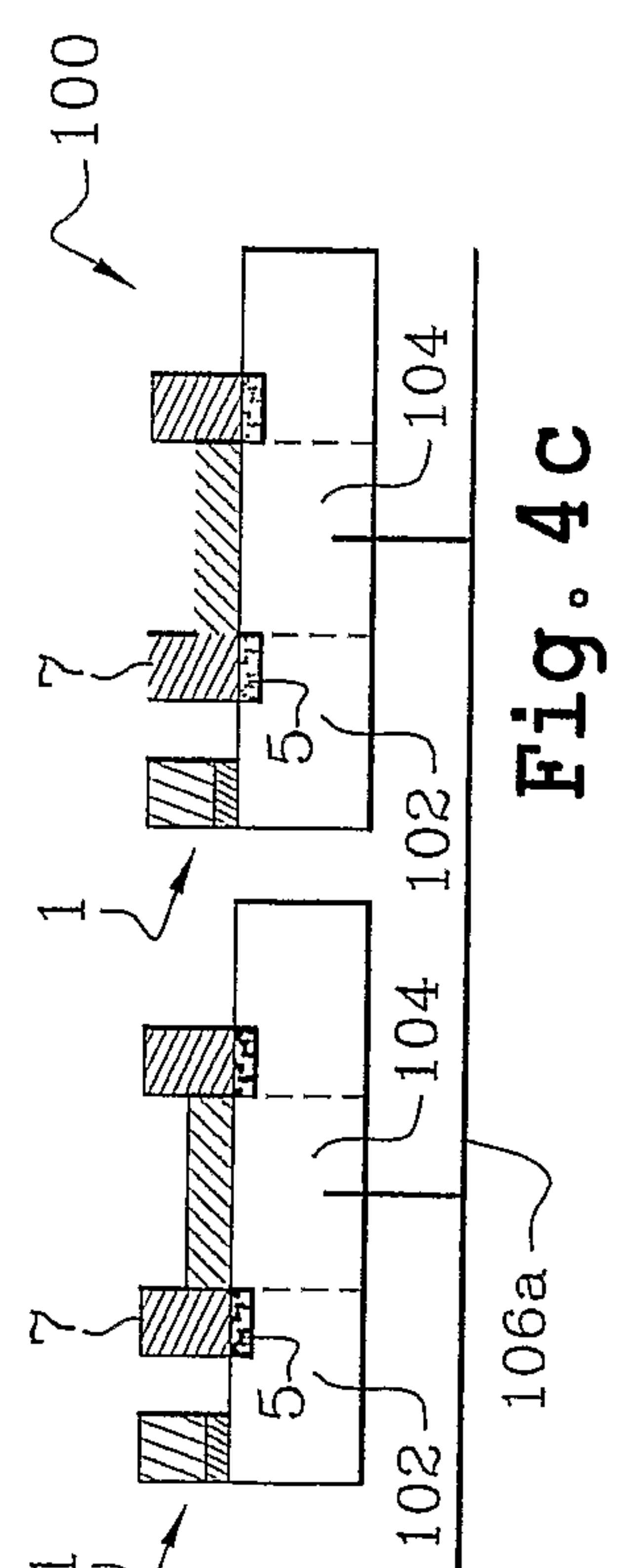
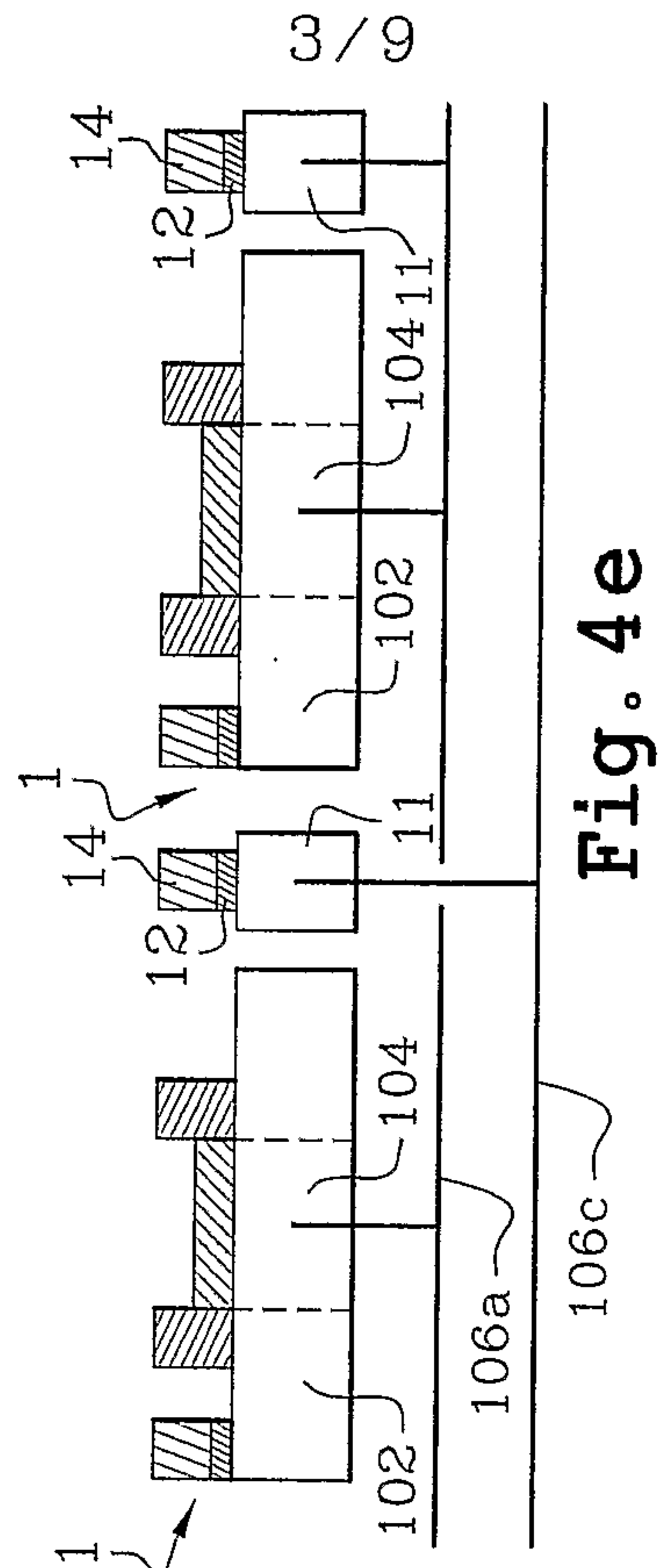
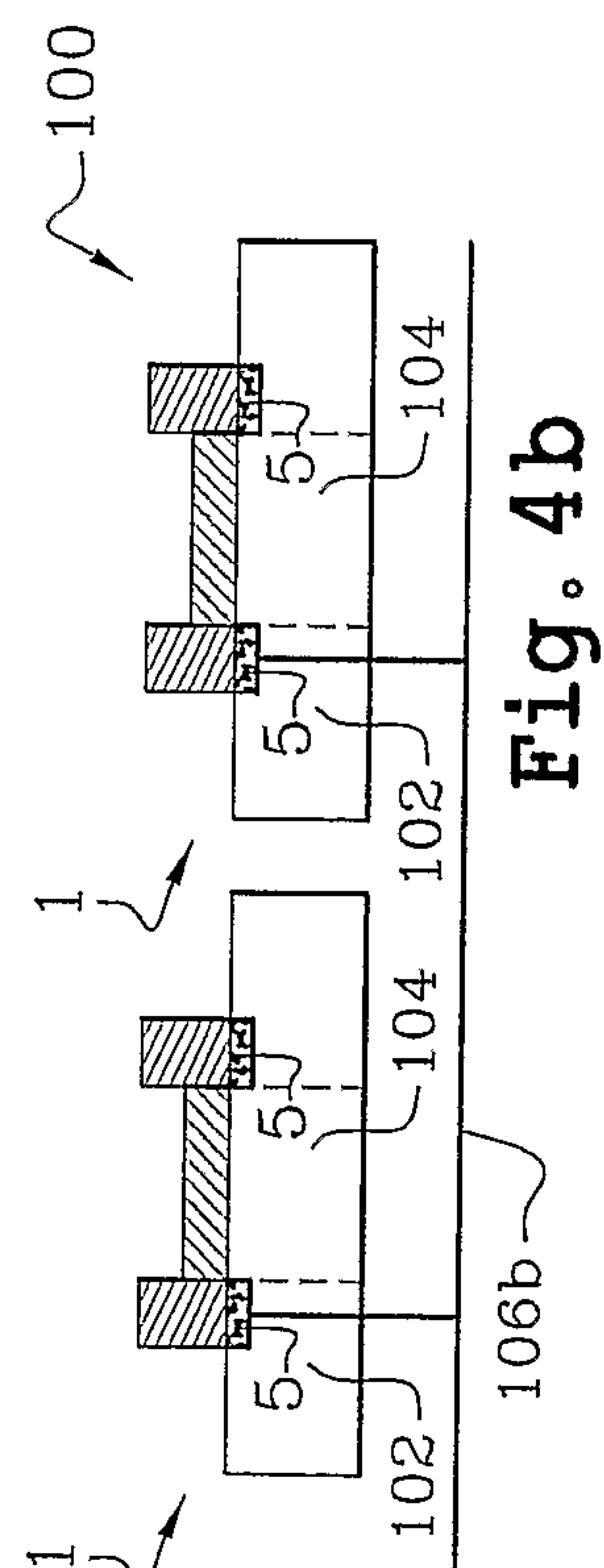
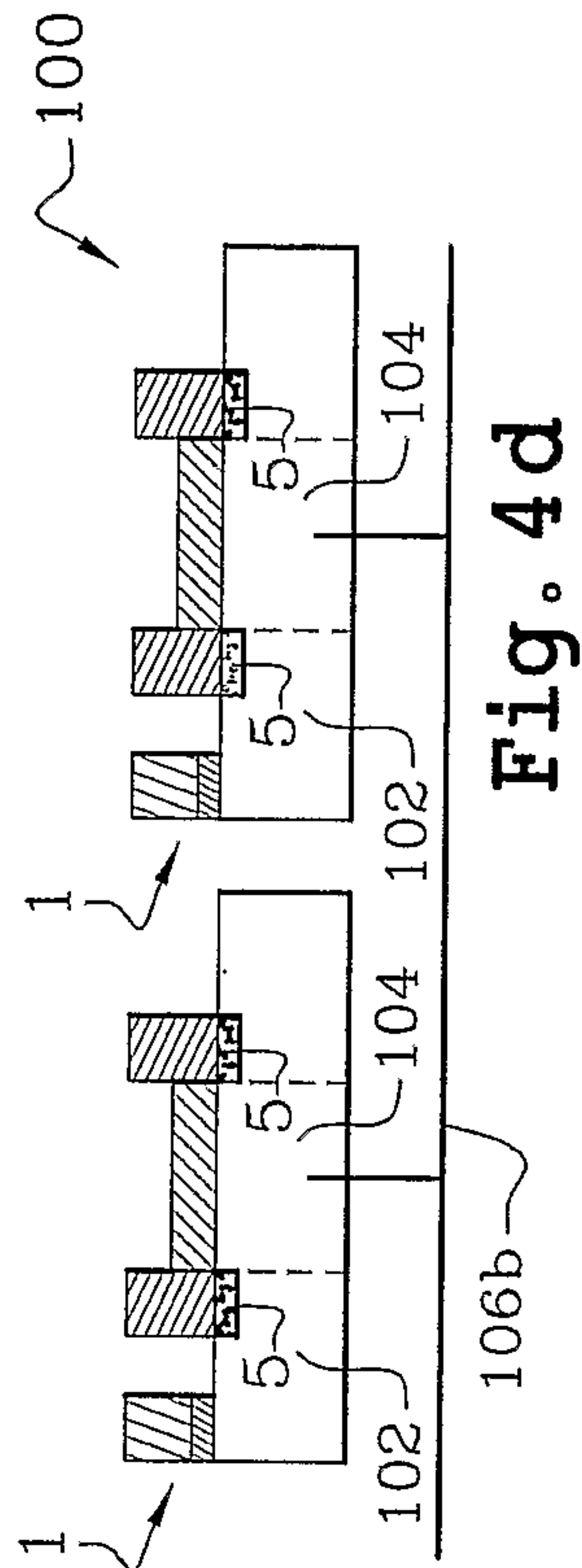
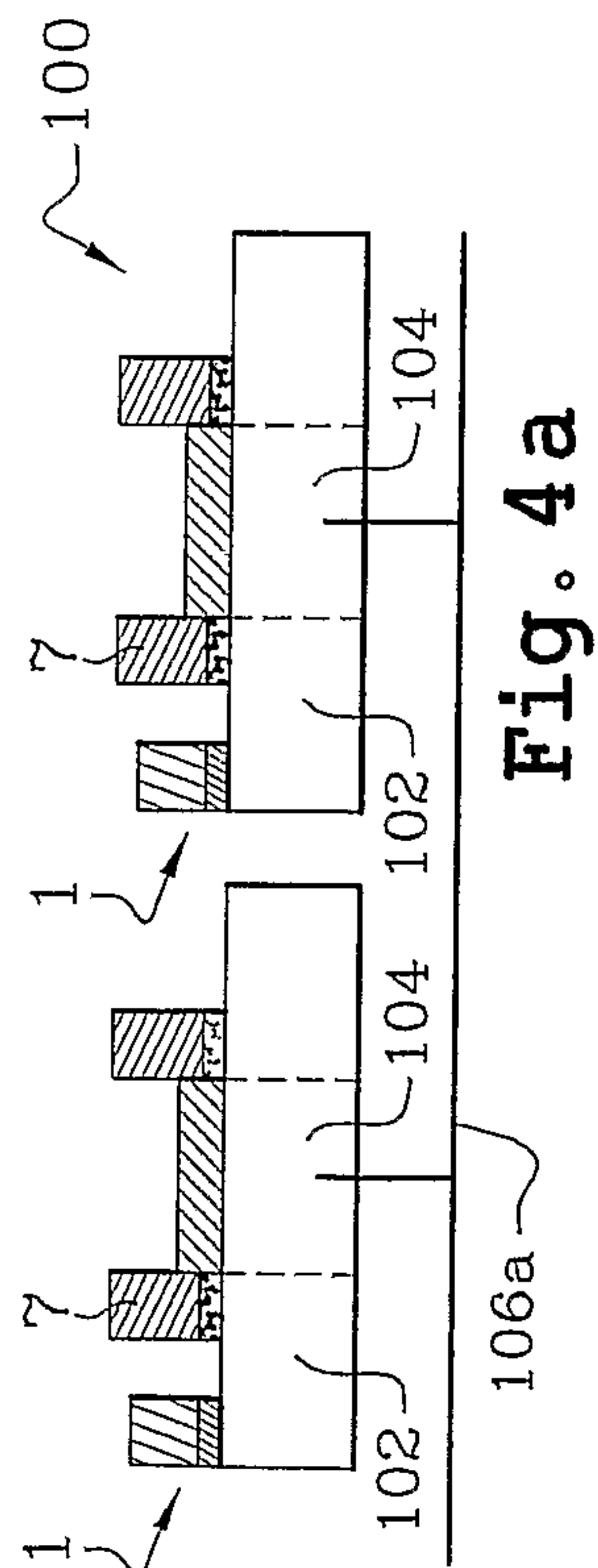
30. Microsystème 200 selon la revendication 29
25 caractérisé en ce que des plots de contact 908 du support 402 comporte un film réalisé dans une matière thermofusible conductrice obtenue à partir d'une réaction électro-initié, ces plots recouverts venant en contact des films 10, 14 des plots de contact 8, 12 de
30 la microstructure 1 pour assurer une connexion électrique et mécanique entre le support 402 et la microstructure 1 par thermosoudage.

31. Microsystème 200 selon l'une des revendications 28 à 30 caractérisé en ce qu'un substrat 900 du support 402 comporte un film réalisé dans une matière thermofusible isolante obtenue à partir d'une
5 réaction électro-initié, une partie du substrat 900 recouvert venant en contact du film 7 de la zone annulaire 5 de la microstructure 1 pour former un joint d'étanchéité 1008 autour de la zone déformable 104 de la microstructure 1 par thermosoudage.

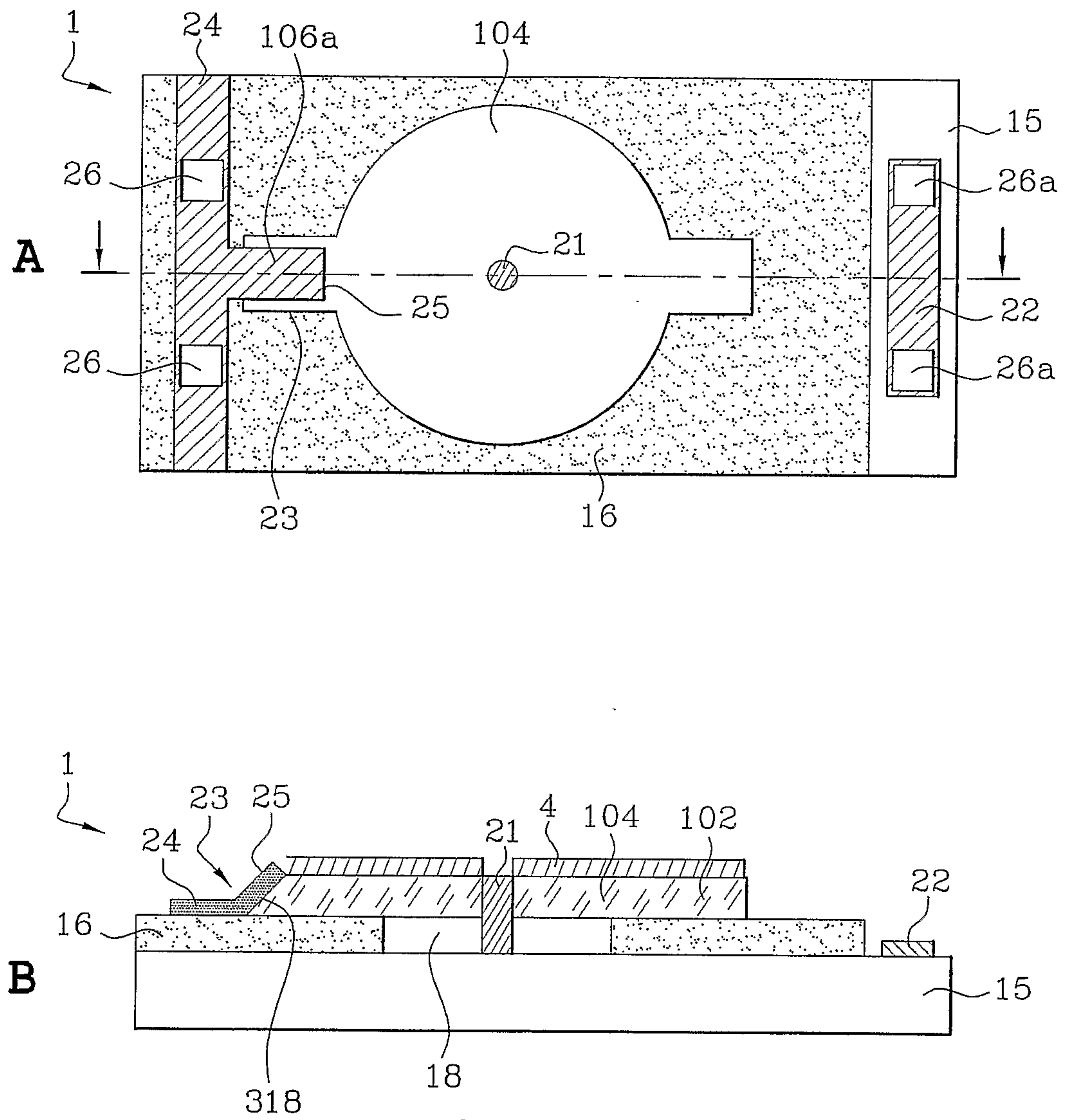
10 32. Microsystème 200 selon l'une des revendications 27 à 31 caractérisé en ce que le support 402 est réalisé à partir d'une plaquette en silicium, et en ce qu'il comporte un antenne de couplage 902 connectée à un composant électronique dédié 400 lui-
15 même assemblé sur le support 402.







4/9

**Fig. 5**

5/9

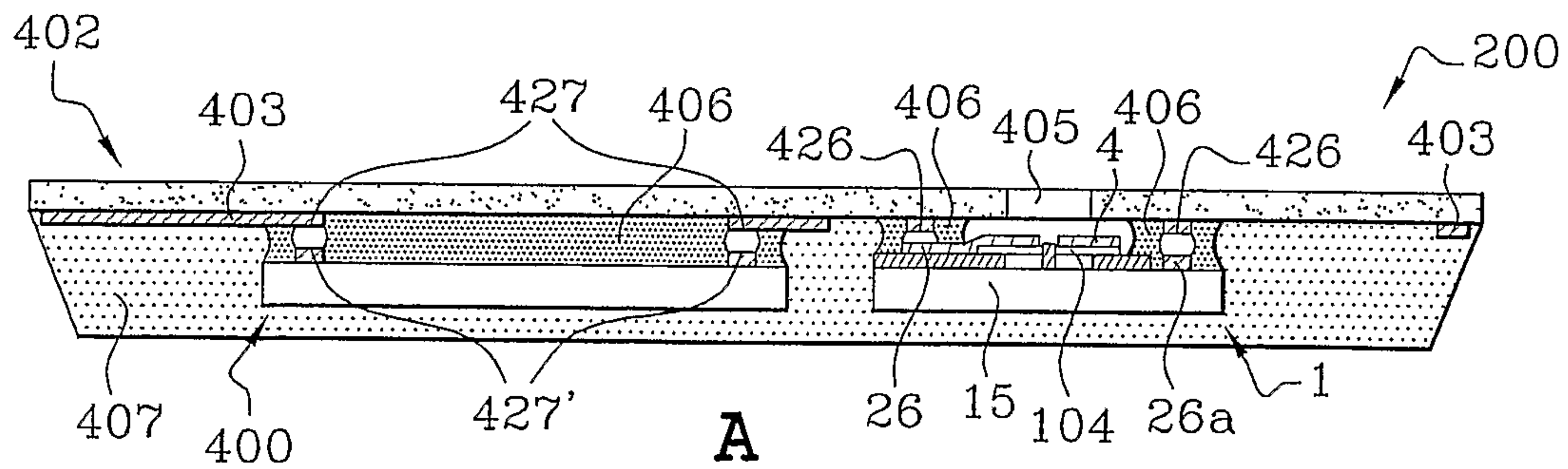
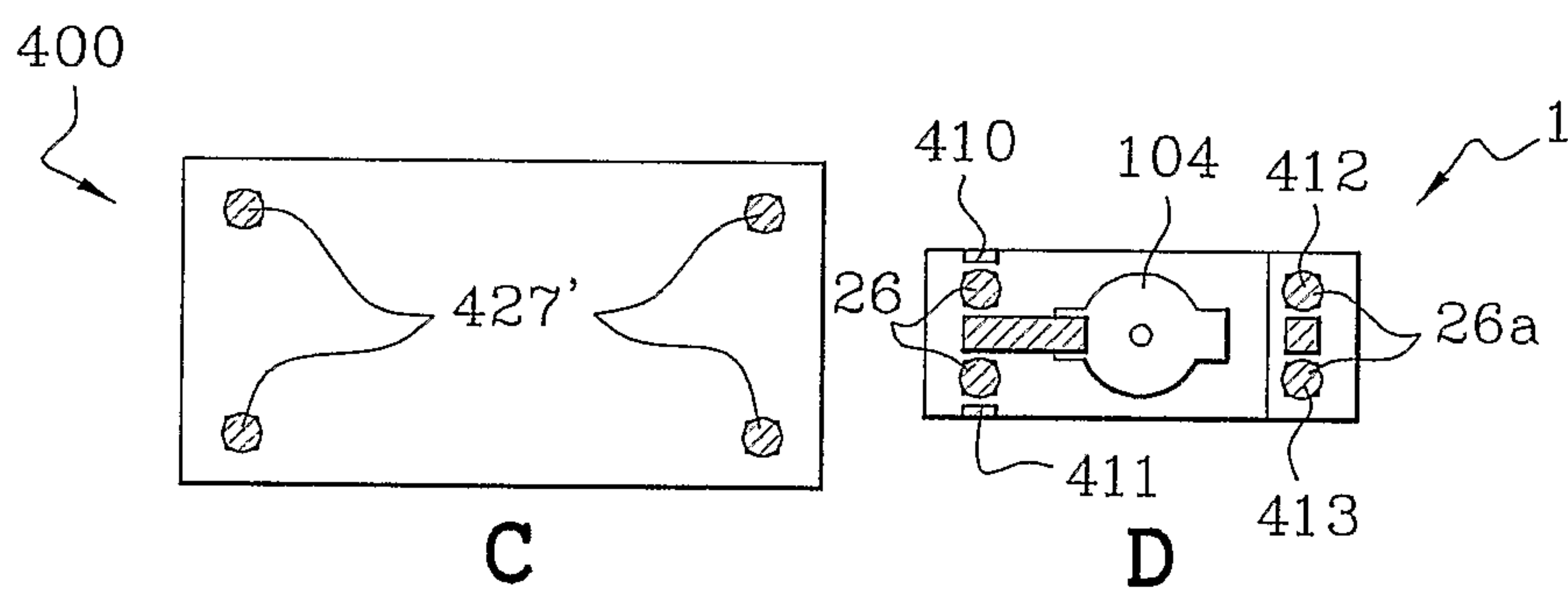
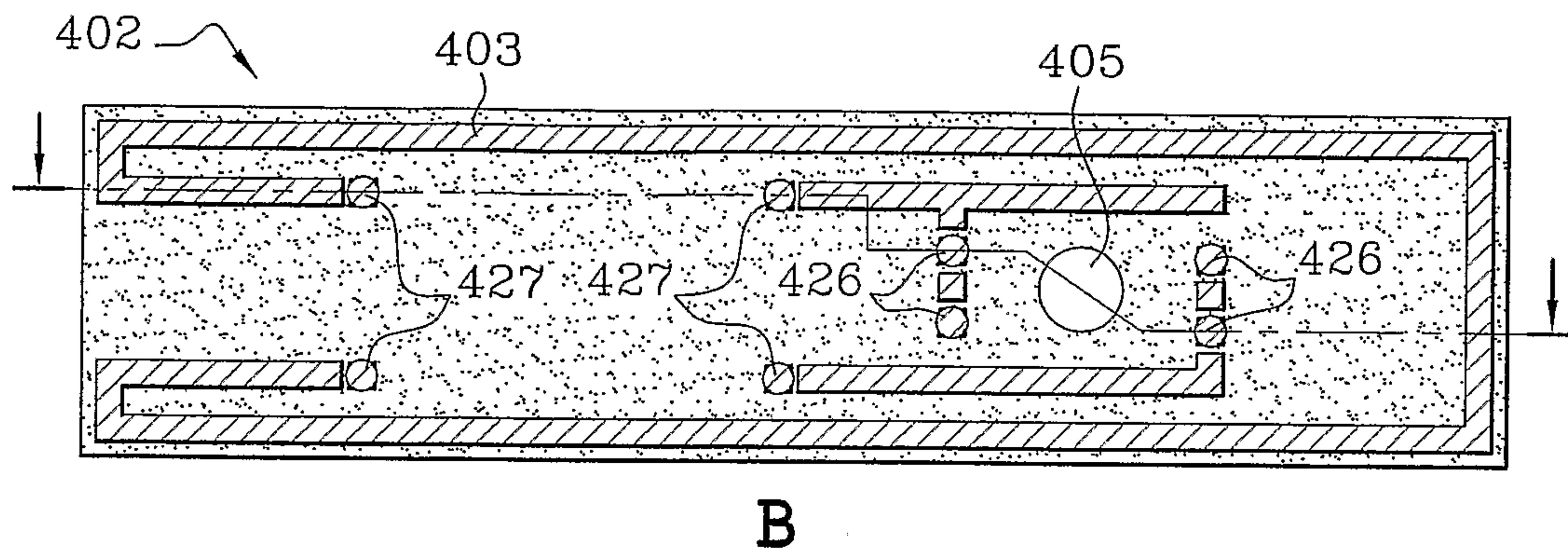


Fig. 6

6 / 9

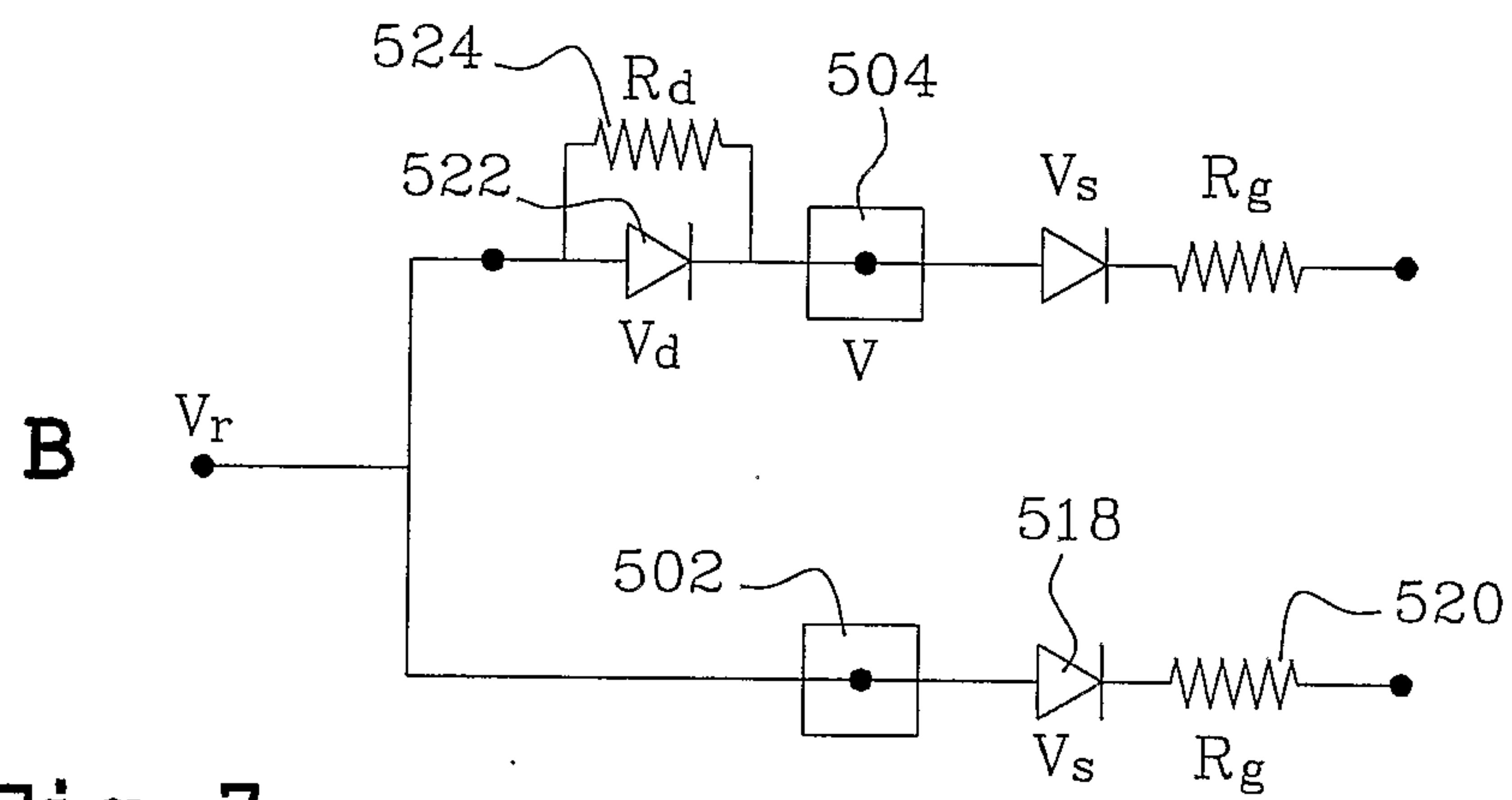
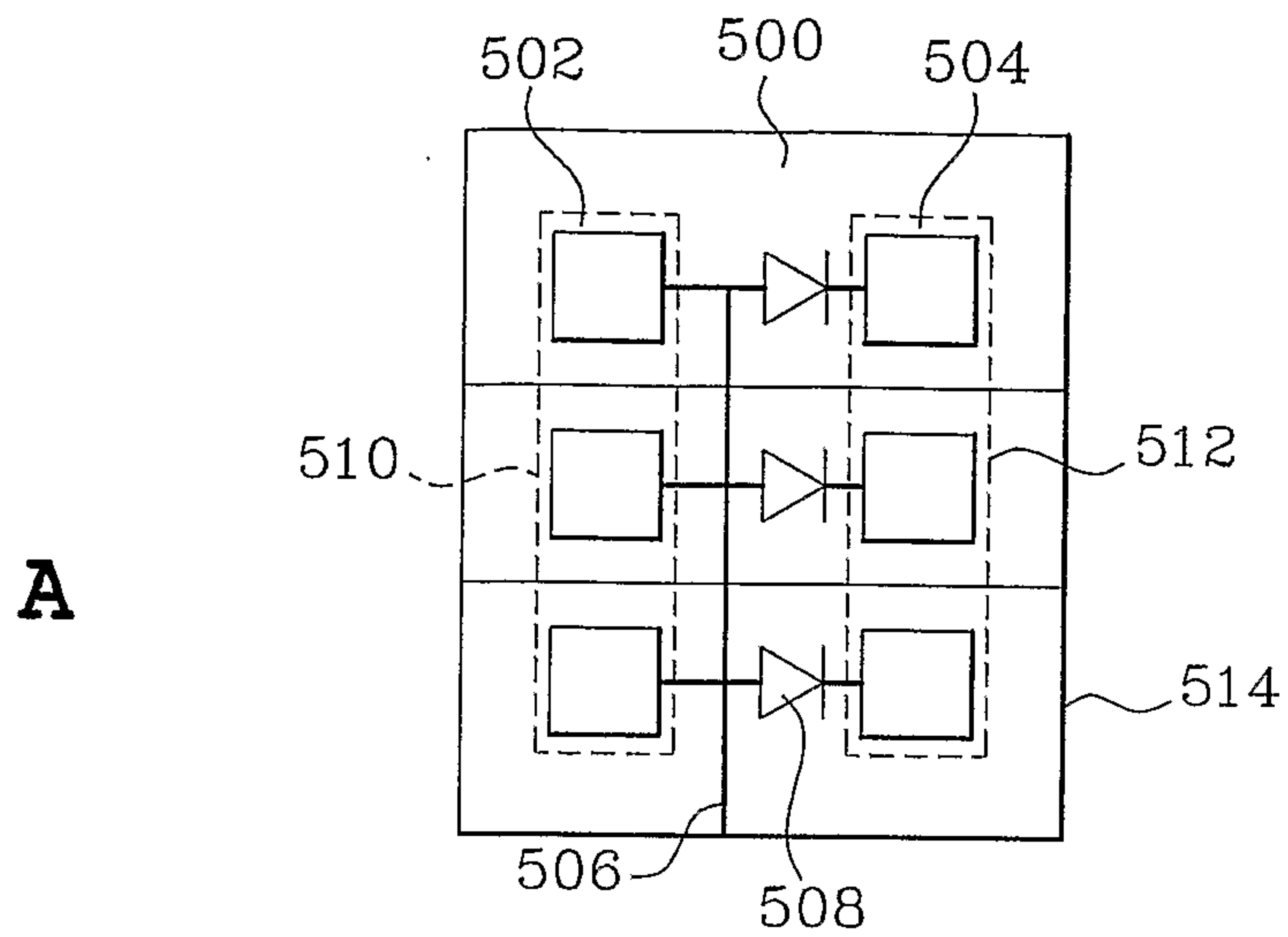


Fig. 7

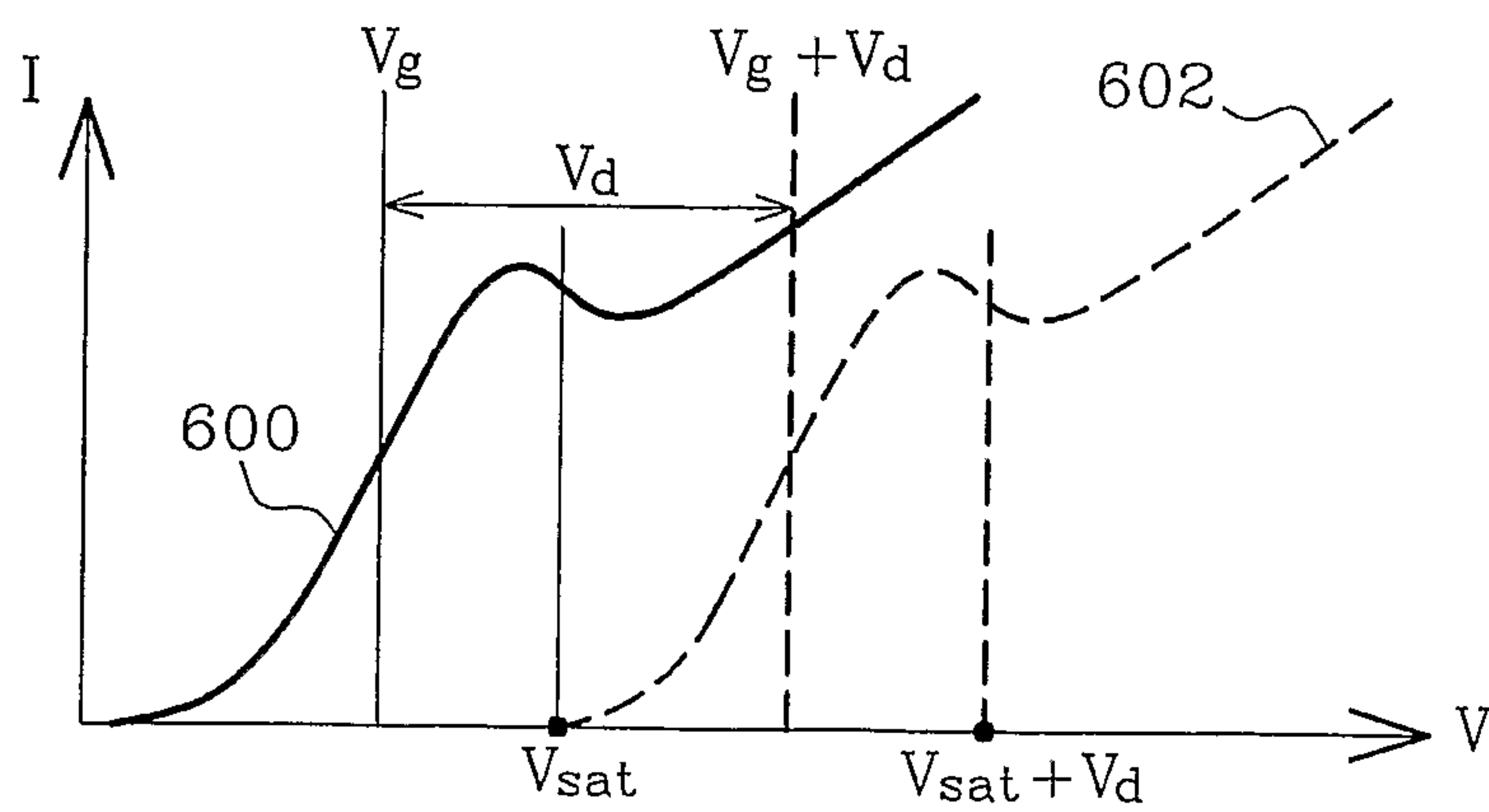
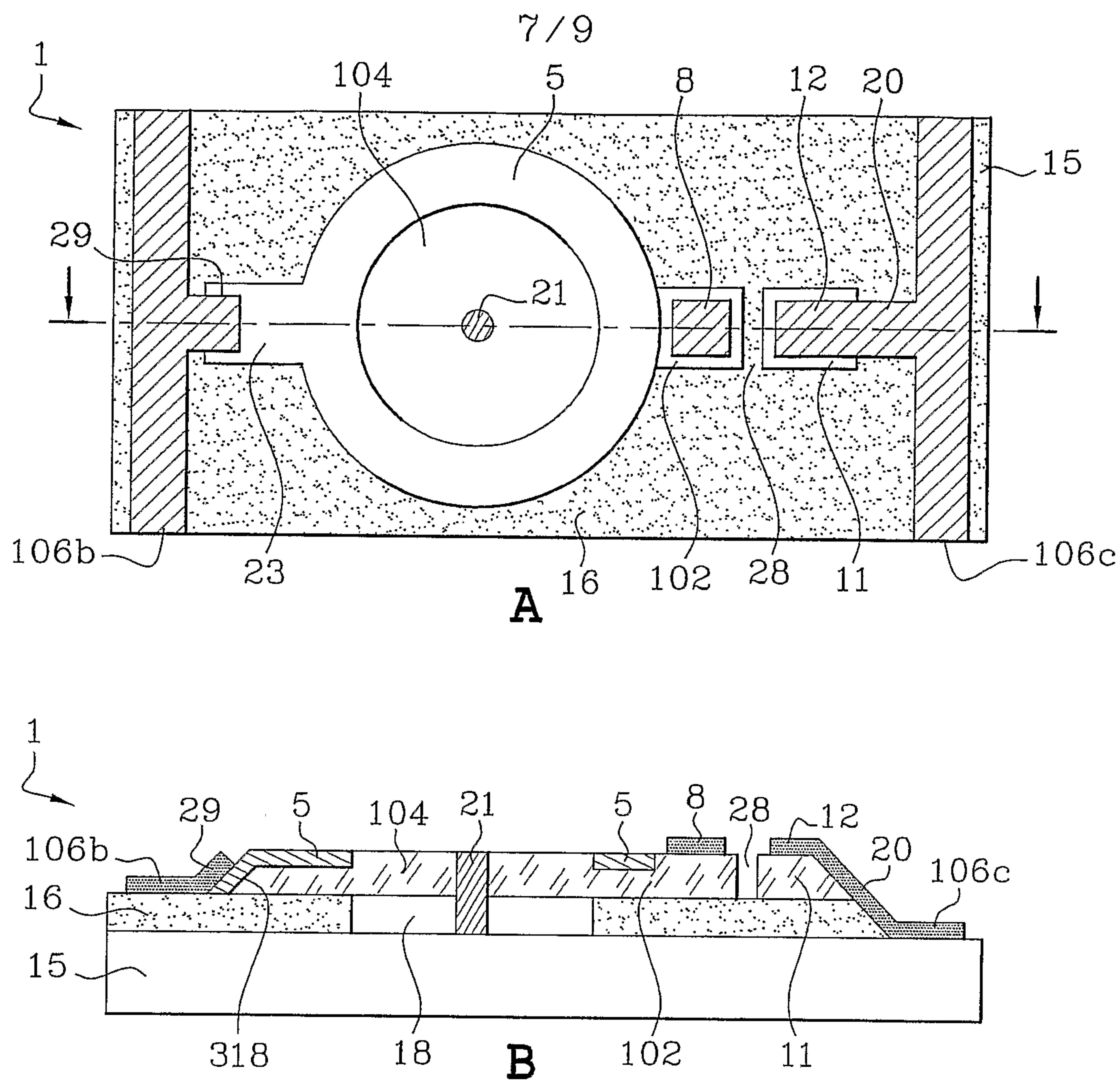
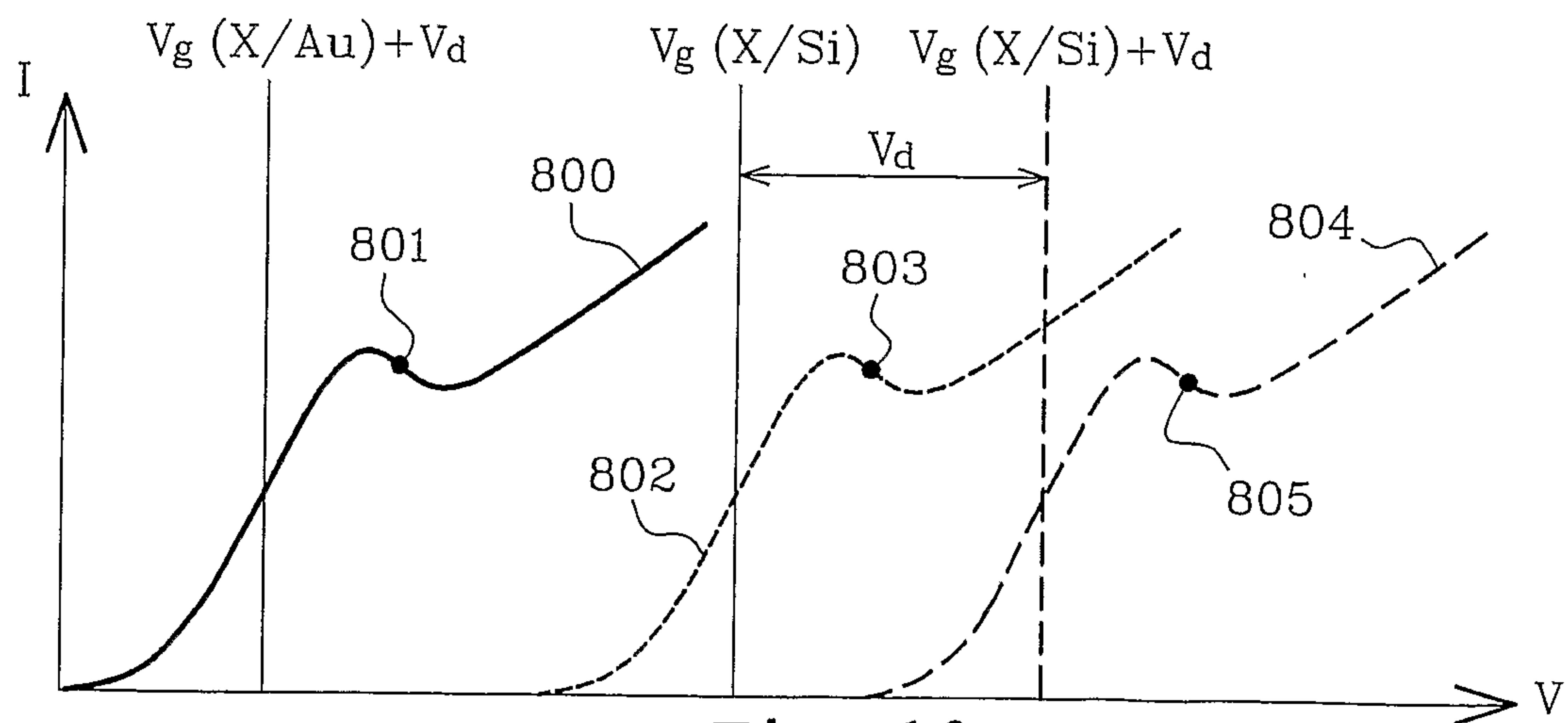


Fig. 8

**Fig. 9**

8/9

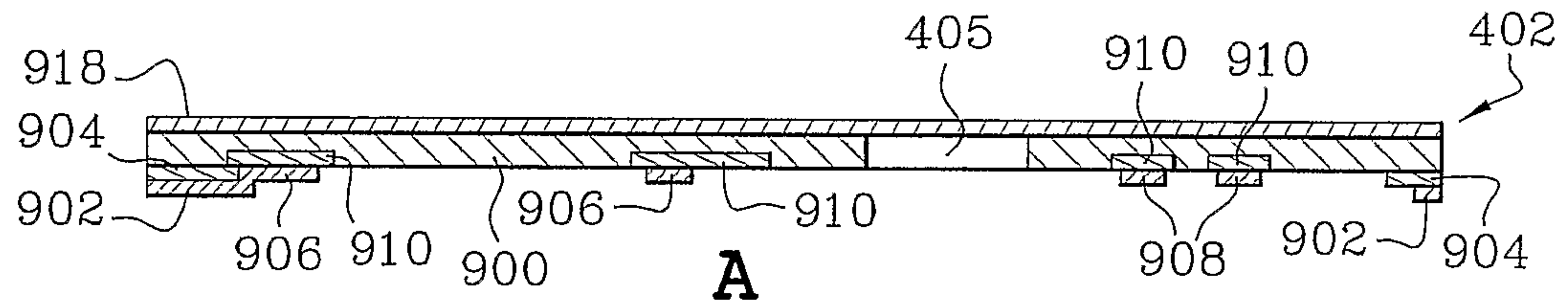
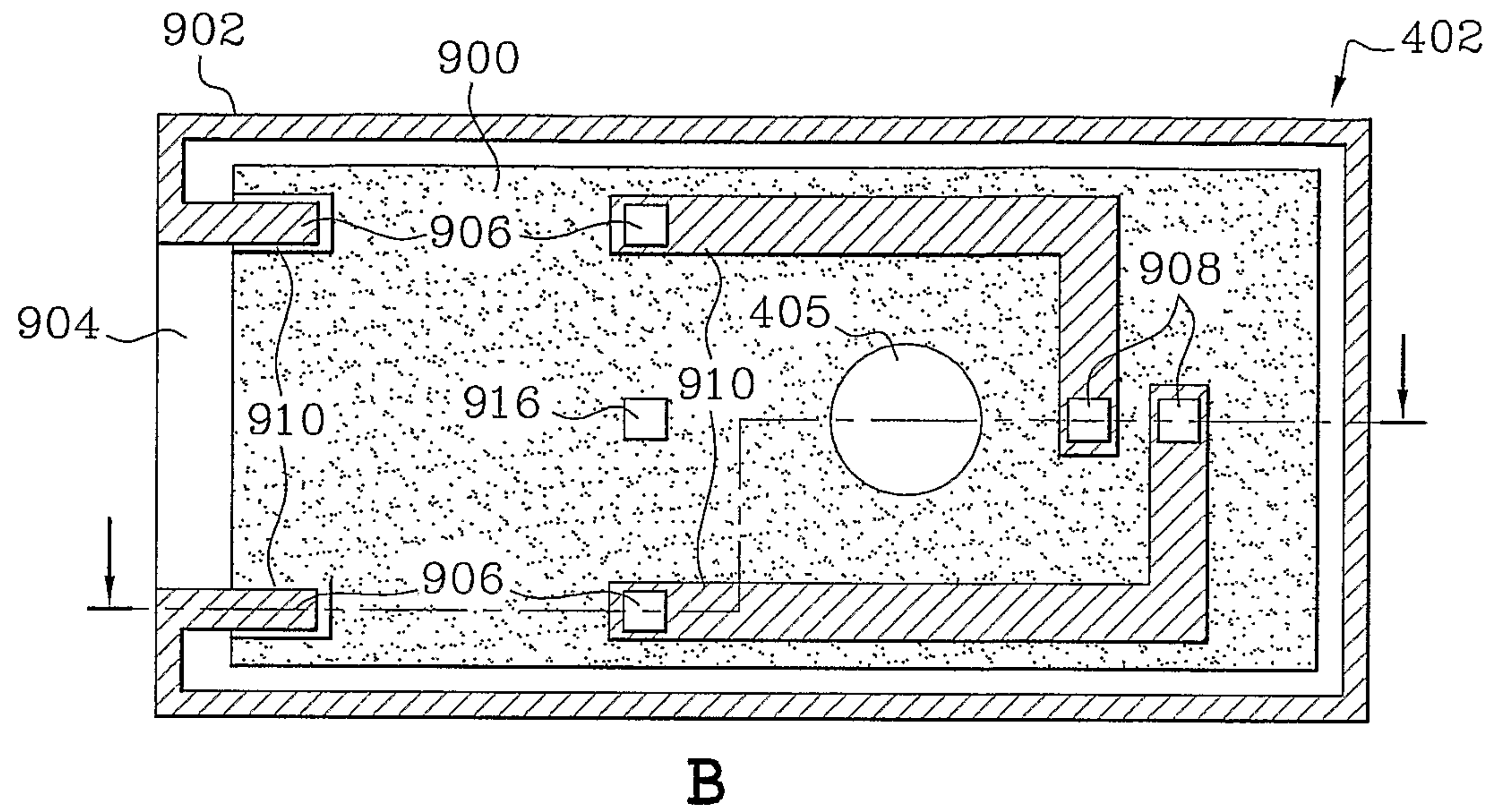


Fig. 11

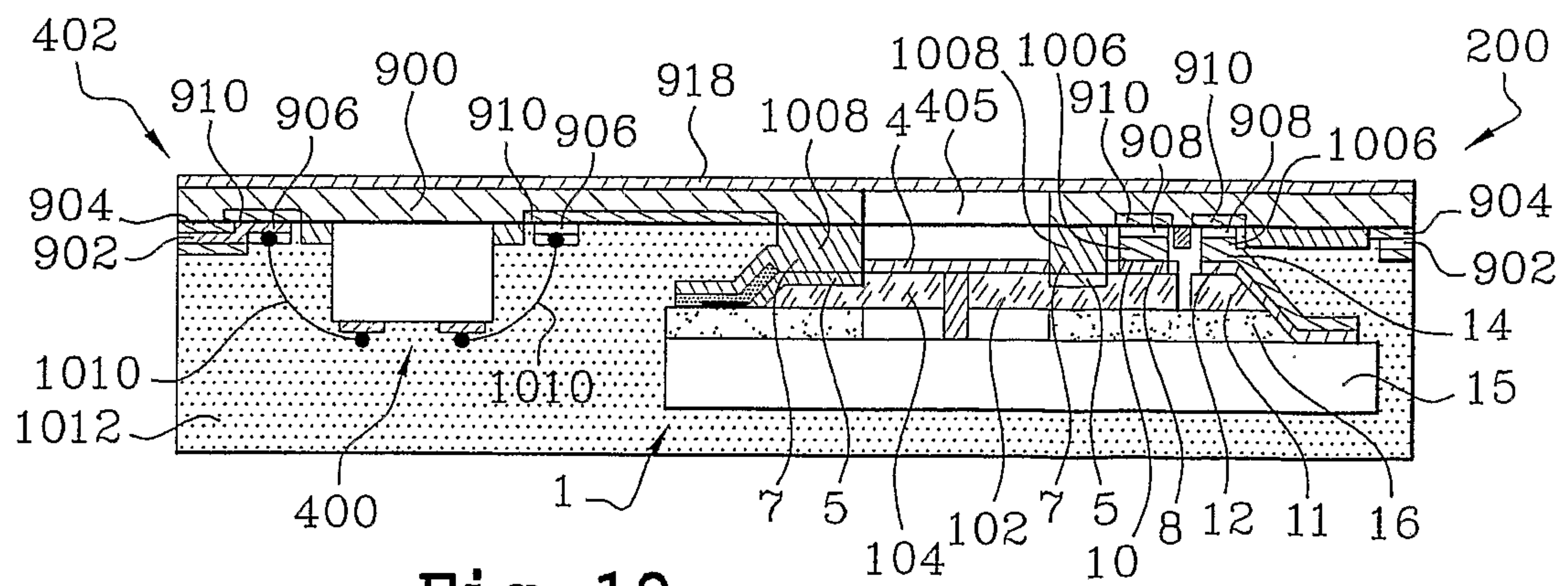


Fig. 12

9/9

