



(11) **EP 1 570 504 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:  
**24.08.2011 Bulletin 2011/34**

(21) Numéro de dépôt: **03815100.7**

(22) Date de dépôt: **09.12.2003**

(51) Int Cl.:  
**H01H 59/00 (2006.01)**

(86) Numéro de dépôt international:  
**PCT/FR2003/003641**

(87) Numéro de publication internationale:  
**WO 2004/064096 (29.07.2004 Gazette 2004/31)**

---

(54) **COMMUTATEUR MICRO-MECANIQUE ET PROCEDE DE REALISATION**  
**MIKROMEKANISCHER SCHALTER UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG**  
**MICRO-MECHANICAL SWITCH AND METHOD FOR MAKING SAME**

---

(84) Etats contractants désignés:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR**

(30) Priorité: **10.12.2002 FR 0215605**

(43) Date de publication de la demande:  
**07.09.2005 Bulletin 2005/36**

(73) Titulaire: **Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives**  
**75015 Paris (FR)**

(72) Inventeur: **CHARVET, Pierre-Louis**  
**f-38950 Saint-Martin-Le-Vinoux (FR)**

(74) Mandataire: **Hecké, Gérard et al**  
**Cabinet Hecké**  
**10, rue d'Arménie**  
**Europole**  
**BP 1537**  
**38025 Grenoble Cedex 1 (FR)**

(56) Documents cités:  
**WO-A-02/01584**

**EP 1 570 504 B1**

---

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

---

## Description

### Domaine technique de l'invention

[0001] L'invention concerne un commutateur micro-mécanique, comportant un pont déformable, rattaché par ses extrémités à un substrat, et des moyens d'actionnement destinés à déformer le pont déformable de manière à établir un contact électrique entre un premier élément conducteur, solidaire du substrat et disposé entre le pont et le substrat, et un troisième élément conducteur disposé sur le substrat à la périphérie du pont.

### État de la technique

[0002] Les commutateurs micro-mécaniques présentent souvent des problèmes concernant les résistances de contact. Par exemple, la résistance de contact peut fluctuer dans le temps ou être trop élevée lorsque le contact n'est pas suffisamment intime.

[0003] Pour commuter un signal radiofréquence avec un interrupteur micro-mécanique, une réalisation connue comporte un pont déformable et des premiers éléments conducteurs, destinés à être connectés entre eux, disposés sur un substrat entre le substrat et le pont. Le pont comporte un deuxième élément conducteur à sa face inférieure. Le contact électrique entre les premiers éléments conducteurs est établi lorsque le pont est déformé par des moyens d'actionnement de manière à ce que le deuxième élément conducteur touche tous les premiers éléments conducteurs. Or, ceci constitue une structure hyperstatique (comparable à une table à quatre pieds où un pied est surabondant), c'est-à-dire qu'un seul des contacts est intime et présente une faible résistance de contact tandis que les résistances de contact des autres contacts sont plus élevées. Pour assurer que les résistances de contacts des différents contacts électriques soient sensiblement égales, il faudrait une précision très importante lors de la fabrication du commutateur, ce qui rendrait la fabrication difficile et coûteuse.

[0004] Le document WOO2/01584 décrit un commutateur micro-mécanique comportant un pont métallique, disposé sur un substrat et déformable au moyen d'un actionneur électrostatique, et un élément conducteur disposé entre le pont et le substrat. L'actionnement de l'actionneur électrostatique provoque la déformation du pont, de manière à établir un contact électrique entre le pont et l'élément conducteur. Le pont peut subir un écrouissage, à l'usage, qui peut conduire à sa rupture.

### Objet de l'invention

[0005] L'invention a pour but de remédier à ces inconvénients et, plus particulièrement, de réaliser un commutateur plus robuste, tout en évitant les problèmes de structure hyperstatique.

[0006] Selon l'invention, ce but est atteint par les revendications annexées et, en particulier, par le fait que

le pont déformable comporte au moins une première couche isolante percée d'un orifice, dans lequel est disposé un matériau conducteur faisant saillie à la face inférieure du pont de manière à former un deuxième élément conducteur, destiné à venir en contact avec le premier élément conducteur lors de la déformation du pont, une ligne conductrice connectant le deuxième élément conducteur au troisième élément conducteur étant disposée sur la première couche isolante.

[0007] L'invention concerne également un procédé de réalisation d'un commutateur selon l'invention, dans lequel la fabrication du pont déformable est réalisée par :

- dépôt d'une couche sacrificielle au-dessus du premier élément conducteur,
- dépôt d'une première couche isolante sur la couche sacrificielle,
- gravure d'un orifice dans la première couche isolante et dans la couche sacrificielle,
- dépôt d'une couche métallique de manière à remplir l'orifice et à former le deuxième élément conducteur et la ligne conductrice,
- enlèvement de la couche sacrificielle.

### Description sommaire des dessins

[0008] D'autres avantages et caractéristiques ressortiront plus clairement de la description qui va suivre de modes particuliers de réalisation de l'invention donnés à titre d'exemples non limitatifs et représentés aux dessins annexés, dans lesquels :

La figure 1 représente un commutateur micro-mécanique selon l'art antérieur.

La figure 2 représente un commutateur micro-mécanique selon l'invention.

La figure 3 représente un mode de réalisation préférentiel d'un commutateur micro-mécanique selon l'invention.

La figure 4 représente une vue de dessus d'un mode de réalisation d'un commutateur selon l'invention.

### Description de modes particuliers de réalisation.

[0009] Le commutateur micro-mécanique représenté à la figure 1 est composé d'un pont déformable 1, rattaché par ses extrémités à un substrat 2, et des moyens d'actionnement 3a et 3b destinés à déformer le pont déformable 1 de manière à établir un contact électrique entre des premiers éléments conducteurs 4 (trois sur la figure 1), formés sur le substrat 2 entre le pont 1 et le substrat 2, et un deuxième élément conducteur 5, solidaire d'une face inférieure du pont 1. Ce commutateur selon l'art antérieur établit le contact électrique entre les premiers éléments conducteurs 4 lorsque les moyens d'actionnement 3 déforment le pont 1.

[0010] Dans le commutateur micro-mécanique représenté à la figure 2, le deuxième élément conducteur 5

est connecté en permanence, par l'intermédiaire d'une ligne conductrice 6 solidaire du pont 1, à un troisième élément conducteur 7 disposé sur le substrat 2 à la périphérie du pont 1. La déformation du pont 1 établit un contact électrique, par l'intermédiaire de la ligne conductrice 6 et du deuxième élément conducteur 5, entre le troisième élément conducteur 7 et un premier élément conducteur 4 unique, disposé vis-à-vis du deuxième élément conducteur 5.

**[0011]** Sur la figure 2, le pont 1 déformable est constitué par une première couche isolante percée d'un orifice 10, dans lequel est disposé un matériau conducteur faisant saillie à la face inférieure du pont 1 de manière à former un deuxième élément conducteur 5, destiné à venir en contact avec le premier élément conducteur lors de la déformation du pont 1. Ainsi, la face inférieure du pont 1 est en matériau isolant. Une ligne conductrice 6, disposée sur la première couche isolante, connecte le deuxième élément conducteur 5 au troisième élément conducteur 7.

**[0012]** Le pont déformable 1 peut être formé par une superposition de couches minces. Ainsi, une couche conductrice, constituant la ligne conductrice 6 et reliant le deuxième élément 5 conducteur et le troisième élément 7 conducteur, peut être formée sur la première couche isolante. Dans une variante de réalisation, le deuxième élément conducteur 5 et la ligne conductrice 6 peuvent être constitués par une même couche conductrice. Comme représenté à la figure 3, une deuxième couche isolante 8 peut être formée au-dessus de la ligne conductrice 6.

**[0013]** Dans le commutateur représenté à la figure 3, une ligne conductrice 6 relie le deuxième élément conducteur 5 à deux troisièmes éléments conducteurs 7, disposés de part et d'autre du pont 1. Le pont 1 peut comporter une couche isolante 8 au-dessus de la ligne conductrice 6. Une couche isolante 9 est, de préférence, disposée entre le premier élément conducteur 4 et le substrat 2, la couche isolante 9 ayant des dimensions latérales inférieures aux dimensions latérales du premier élément conducteur 4, de manière à ce que le premier élément 4 conducteur soit convexe. Grâce à la forme convexe du premier élément conducteur 4, le contact entre le premier élément conducteur 4 et le deuxième élément conducteur 5 forme un contact localisé au centre de la bosse.

**[0014]** Un commutateur selon l'invention présente l'avantage d'être robuste et d'avoir un seul contact, qui peut être rendu suffisamment intime par un actionnement approprié. Par conséquent, la résistance de contact est très faible.

**[0015]** A titre d'exemple, le commutateur micro-mécanique peut être un interrupteur radiofréquence normalement ouvert, les moyens d'actionnement 3 comportant un actionneur électrostatique. Dans ce cas, comme représenté à la figure 4, le premier élément conducteur 4 est une ligne radiofréquence. Lorsque le commutateur est ouvert, le signal radiofréquence peut passer par la

ligne radiofréquence constituant le premier élément conducteur 4, les pertes de contact étant ainsi évitées. Les moyens d'actionnement 3 sont, de préférence, constitués par des électrodes 3a et 3b d'un actionneur électrostatique. Les électrodes 3a peuvent être disposées dans la première couche isolante du pont 1, comme représenté à la figure 3. Les électrodes 3a, solidaires du pont 1, sont connectées à une source de tension. Les électrodes 3b, formées sur le substrat 2, entre le pont déformable 1 et le substrat 2, de part et d'autre de la ligne radiofréquence constituant le premier élément conducteur 4, constituent deux plans de masse sensiblement parallèles à la ligne radiofréquence. Elles remplissent ainsi une double fonction. D'une part, les électrodes 3b permettent d'établir une force électrique attractive entre les électrodes 3a et les électrodes 3b permettant de déformer le pont 1 lorsqu'une tension est appliquée entre les électrodes 3a et 3b. D'autre part les électrodes 3b servent de guide d'onde pour le signal transmis par la ligne radiofréquence constituant le premier élément conducteur 4. Dans l'application considérée, les troisièmes éléments conducteurs 7 sont constitués par des plans de masse électrique disposés sur le substrat 2 de part et d'autre du pont déformable 1. Ainsi, l'actionnement du commutateur met en contact la ligne radiofréquence et les plans de masse électrique constituant les troisièmes éléments conducteurs 7. Le signal électrique est alors absorbé par la masse électrique. L'interrupteur radiofréquence décrit ci-dessus représente l'avantage de transmettre, dans l'état passant, le signal radiofréquence sans aucune perte de contact.

**[0016]** L'ensemble du composant radiofréquence peut être réalisé sur le substrat 2 par des techniques classiques de fabrication de circuits intégrés. La surface du substrat 2, sur laquelle sont disposés les troisième et premier éléments conducteurs 4 et 7, doit être en matériau isolant pour éviter un court-circuit permanent des éléments conducteurs. Le matériau isolant est typiquement de l'oxyde de silicium. Dans un mode de réalisation préférentiel, une couche isolante 9 est déposée sur le substrat 2 aux emplacements des électrodes 3b et à l'emplacement du premier élément conducteur 4, la couche isolante 9 ayant des dimensions latérales inférieures aux dimensions latérales des électrodes 3b et du premier élément conducteur 4 respectivement. Le matériau de la couche isolante 9 peut être par exemple du  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ou du  $\text{SiO}_2$ . Le premier élément conducteur 4 et les électrodes 3b peuvent être déposés sur la couche isolante 9 par dépôt d'une couche métallique, préférentiellement en or. La couche sacrificielle peut ensuite être déposée au-dessus du premier élément conducteur 4 et des électrodes 3b. Le matériau de la couche sacrificielle est typiquement un matériau polymère, permettant d'être enlevé facilement après la fabrication du pont. Sur la couche sacrificielle, une couche de matériau isolant formant l'ossature du pont 1 est déposée. Le matériau isolant de cette couche peut par exemple être du  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ou du  $\text{SiO}_2$ . Pour réaliser un actionneur électrostatique, les électrodes 3a

peuvent être fabriquées par un dépôt métallique sur la couche isolante formant l'ossature du pont 1 et couverture des électrodes 3a par une couche isolante supplémentaire (non-représentée), destinée à isoler les électrodes 3a de la ligne conductrice 6. L'orifice 10 est percé par gravure dans la couche isolante formant l'ossature du pont 1, dans la couche isolante supplémentaire et dans la couche sacrificielle. Le deuxième élément conducteur 5 et la ligne conductrice 6 sont alors réalisés, de préférence simultanément, par dépôt d'une couche métallique de manière à remplir l'orifice 10 et à former une couche reliant le deuxième élément conducteur 5 et le troisième élément conducteur 7. De préférence, une deuxième couche isolante 8 ( $\text{Si}_3\text{N}_4$  ou  $\text{SiO}_2$ ) est déposée au-dessus des éléments conducteurs. La couche sacrificielle est ensuite enlevée.

### Revendications

1. Commutateur micro-mécanique, comportant un pont (1) déformable, rattaché par ses extrémités à un substrat (2), et des moyens d'actionnement (3) destinés à déformer le pont (1) déformable de manière à établir un contact électrique entre un premier élément conducteur (4), solidaire du substrat (2) et disposé entre le pont (1) et le substrat (2), et un troisième élément conducteur (7) disposé sur le substrat (2) à la périphérie du pont (1), commutateur **caractérisé en ce que** le pont (1) déformable comporte au moins une première couche isolante percée d'un orifice (10), dans lequel est disposé un matériau conducteur faisant saillie à la face inférieure du pont (1) de manière à former un deuxième élément conducteur (5), destiné à venir en contact avec le premier élément conducteur (4) lors de la déformation du pont (1), une ligne conductrice (6) connectant le deuxième élément conducteur (5) au troisième élément conducteur (7) étant disposée sur la première couche isolante.
2. Commutateur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les moyens d'actionnement (3) comportent un actionneur électrostatique.
3. Commutateur selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** l'actionneur électrostatique comporte des électrodes (3a) disposées dans la première couche isolante du pont (1).
4. Commutateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** le premier élément conducteur (4) est une ligne radiofréquence et le troisième élément conducteur (7) est un plan de masse électrique disposé sur le substrat (2).
5. Commutateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** deux plans de masse sont disposés sur le substrat (2) de part et d'autre du pont (1) et connectés au deuxième élément conducteur (5), la ligne conductrice (6) reliant le deuxième élément conducteur (5) aux deux plans de masse.
6. Commutateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** le pont (1) déformable comporte au moins une couche conductrice constituant la ligne conductrice (6).
7. Commutateur selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** le deuxième élément conducteur (5) et la ligne conductrice (6) sont constitués par une même couche conductrice.
8. Commutateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** le pont (1) déformable comporte au moins une deuxième couche isolante (8) au-dessus de la ligne conductrice (6).
9. Commutateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce qu'**une troisième couche isolante (9) est disposée entre le premier élément conducteur (4) et le substrat (2), la troisième couche isolante ayant des dimensions latérales inférieures aux dimensions latérales du premier élément conducteur (4), de manière à ce que le premier élément conducteur (4) soit convexe.
10. Procédé de réalisation d'un commutateur micro-mécanique selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce qu'**il comporte la fabrication du pont (1) déformable par :
  - dépôt d'une couche sacrificielle au-dessus du premier élément conducteur (4),
  - dépôt d'une première couche isolante sur la couche sacrificielle,
  - gravure d'un orifice (10) dans la première couche isolante et dans la couche sacrificielle,
  - dépôt d'une couche métallique de manière à remplir l'orifice (10) et à former le deuxième élément conducteur (5) et la ligne conductrice (6),
  - enlèvement de la couche sacrificielle.

### Claims

1. Micromechanical switch, comprising a deformable bridge (1), attached via its ends to a substrate (2), and actuating means (3) designed to deform the deformable bridge (1) so as to make an electrical contact between a first conducting element (4) securely affixed to the substrate (2) and arranged between the bridge (1) and the substrate (2), and a third conducting element (7) arranged on the substrate (2) at

the periphery of the bridge (1), switch **characterized in that** the deformable bridge (1) comprises at least a first insulating layer wherein a hole (10) is drilled, in which hole a conducting material is arranged salient from the bottom face of the bridge (1) so as to form a second conducting element (5) designed to come into contact with the first conducting element (4) when deformation of the bridge (1) takes place, a conducting line (6) connecting the second conducting element (5) to the third conducting element (7) being arranged on the first insulating layer.

2. Switch according to claim 1, **characterized in that** the actuating means (3) comprise an electrostatic actuator.
3. Switch according to claim 2, **characterized in that** the electrostatic actuator comprises electrodes (3a) arranged in the first insulating layer of the bridge (1).
4. Switch according to any one of the claims 1 to 3, **characterized in that** the first conducting element (4) is a radiofrequency line and the third conducting element (7) is an electric ground plane arranged on the substrate (2).
5. Switch according to any one of the claims 1 to 4, **characterized in that** two ground planes are arranged on the substrate (2) on each side of the bridge (1) and connected to the second conducting element (5), the conducting line (6) connecting the second conducting element (5) to the two ground planes.
6. Switch according to any one of the claims 1 to 5, **characterized in that** the deformable bridge (1) comprises at least one conducting layer forming the conducting line (6).
7. Switch according to claim 6, **characterized in that** the second conducting element (5) and the conducting line (6) are formed by a single conducting layer.
8. Switch according to any one of the claims 1 to 7, **characterized in that** the deformable bridge (1) comprises at least a second insulating layer (8) above the conducting line (6).
9. Switch according to any one of the claims 1 to 8, **characterized in that** a third insulating layer (9) is arranged between the first conducting element (4) and the substrate (2), the third insulating layer having smaller lateral dimensions than the lateral dimensions of the first conducting element (4), so that the first conducting element (4) is convex.
10. Process for production of a micromechanical switch according to any one of the claims 1 to 9, **characterized in that** it comprises fabrication of the de-

formable bridge (1) by:

- deposition of a sacrificial layer above the first conducting element (4),
- deposition of a first insulating layer on the sacrificial layer,
- etching of a hole (10) in the first insulating layer and in the sacrificial layer,
- deposition of a metal layer so as to fill the hole (10) and form the second conducting element (5) and the conducting line (6),
- removal of the sacrificial layer.

## 15 Patentansprüche

1. Mikromechanischer Schalter mit einer verformbaren Brücke (1), die an ihren Enden mit einem Substrat (2) verbunden ist, und Aktivierungsmitteln (3), die die verformbare Brücke (1) verformen sollen, um einen elektrischen Kontakt zwischen einem ersten leitenden Element (4), das fest mit dem Substrat (2) verbunden und zwischen der Brücke (1) und dem Substrat (2) angeordnet ist, und einem dritten leitenden Element (7) herzustellen, das am Umfang der Brücke (1) auf dem Substrat (2) angeordnet ist; Schalter, der **dadurch gekennzeichnet ist, dass** die verformbare Brücke (1) mindestens eine erste Isolierschicht umfasst, die von einer Öffnung (10) durchbrochen ist, in der ein leitendes Material angeordnet ist, das zur Unterseite der Brücke (1) heraussteht und so ein zweites leitendes Element (5) bildet, das dazu bestimmt ist, bei der Verformung der Brücke (1) mit dem ersten leitenden Element (4) in Kontakt zu kommen, wobei eine leitende Leitung (6) das zweite leitende Element (5) mit dem dritten leitenden Element (7) verbindet, das auf der ersten Isolierschicht angeordnet ist.
2. Schalter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aktivierungsmittel (3) einen elektrostatischen Aktuator umfassen:
3. Schalter nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der elektrostatische Aktuator Elektroden (3a) umfasst, die in der ersten Isolierschicht der Brücke (1) angeordnet sind:
4. Schalter nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste leitende Element (4) eine Hochfrequenzleitung und das dritte leitende Element (7) eine elektrische Masseebene ist, die auf dem Substrat (1) angeordnet ist.
5. Schalter nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwei Masseebenen auf dem Substrat (2) beidseits der Brücke (1) angeordnet und an das zweite leitende Element (5) gelegt sind, wo-

bei die leitende Leitung (6) das zweite leitende Element (5) an die beiden Masseebenen legt.

6. Schalter nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die verformbare Brücke (1) *5*  
mindestens eine leitende Schicht umfasst, welche die leitende Leitung (6) bildet.
7. Schalter nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zweite leitende Element (5) und die *10*  
leitende Leitung (6) von ein und derselben leitenden Schicht gebildet werden.
8. Schalter nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die verformbare Brücke (1) *15*  
über der leitenden Leitung (6) mindestens eine zweite Isolierschicht (8) umfasst.
9. Schalter nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine dritte Isolierschicht (9) *20*  
zwischen dem ersten leitenden Element (4) und dem Substrat (2) angeordnet ist, wobei die seitlichen Abmessungen der dritten Isolierschicht niedriger sind als die seitlichen Abmessungen des ersten leitenden Elements (4), sodass das erste leitende Element (4) *25*  
konvex ist.
10. Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Schalters nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** es umfasst: *30*
- Herstellung der verformbaren Brücke (1) durch Aufbringen einer Opferschicht über dem ersten leitenden Element (4) erfolgt
  - Aufbringen einer ersten Isolierschicht auf die Opferschicht, *35*
  - Ätzen einer Öffnung (10) in die erste Isolierschicht und in die Opferschicht,
  - Aufbringen einer Metallschicht zum Füllen der Öffnung (10) und Bilden des zweiten leitenden Elements (5) und der leitenden Leitung (6), *40*
  - Entfernen der Opferschicht.

*45*

*50*

*55*

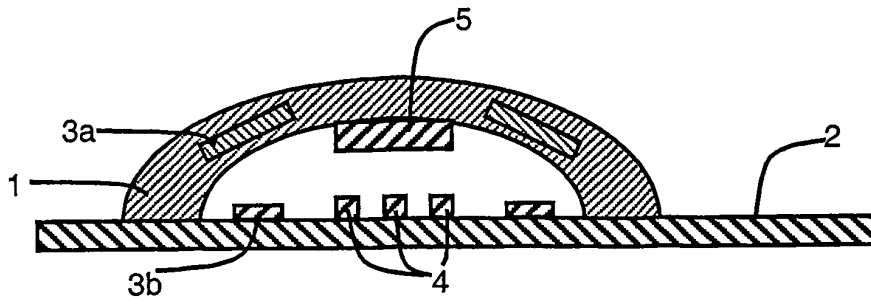


Figure 1 (Art antérieur)

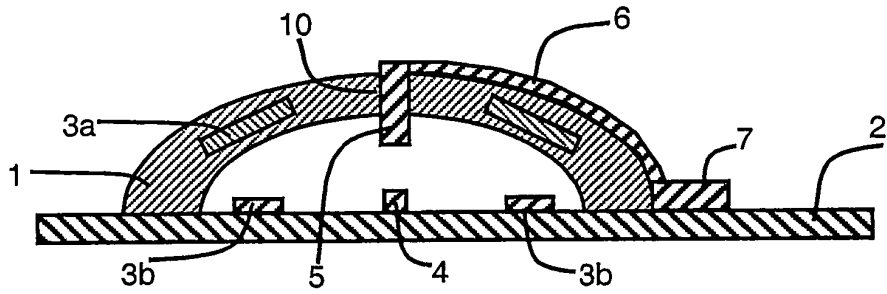


Figure 2

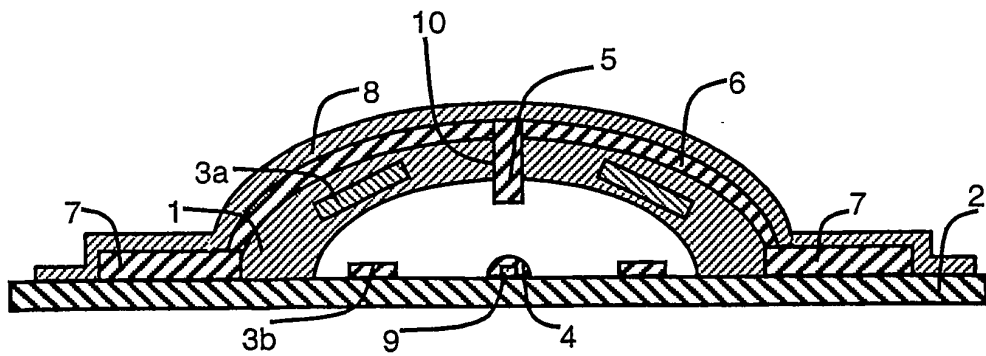


Figure 3

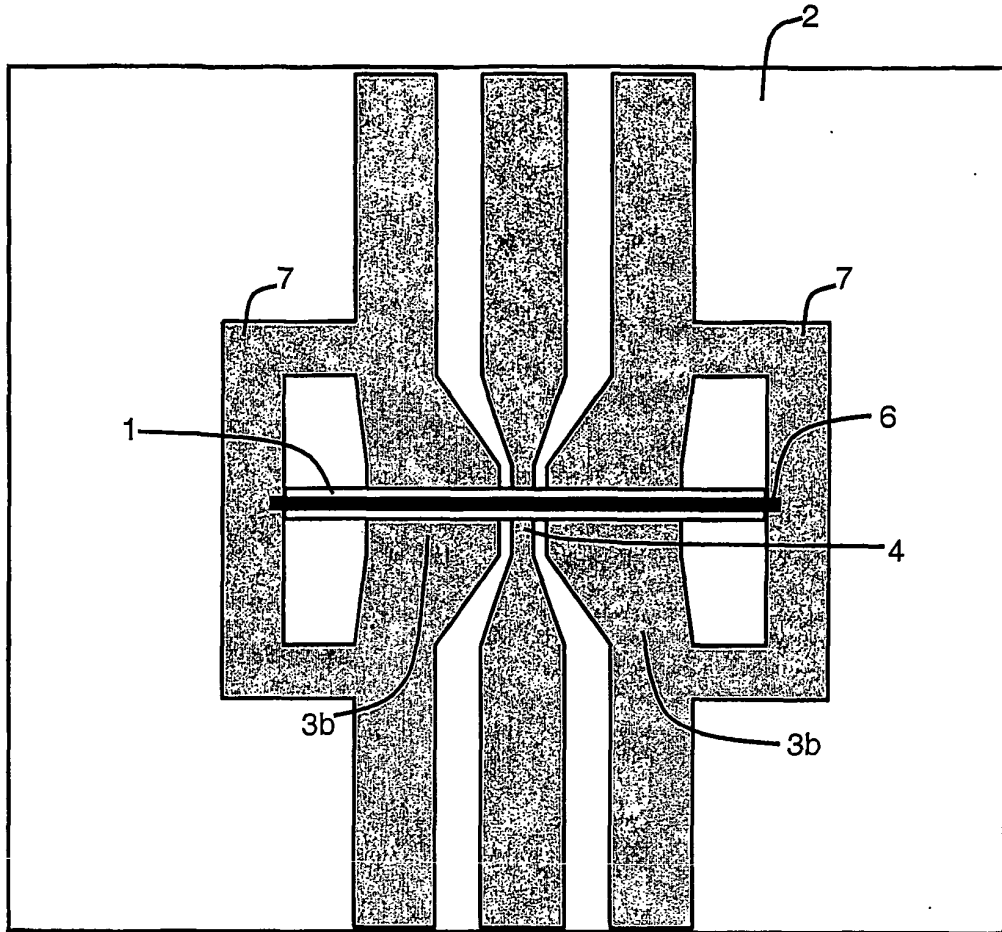


Figure 4

**RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION**

*Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.*

**Documents brevets cités dans la description**

- WO 0201584 A [0004]