



CONFÉDÉRATION SUISSE

OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

⑤① Int. Cl.³: G 01 P 15/125**Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein**

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

⑫ **FASCICULE DU BREVET** A5

⑪

642 461

⑳ Numéro de la demande: 4361/81

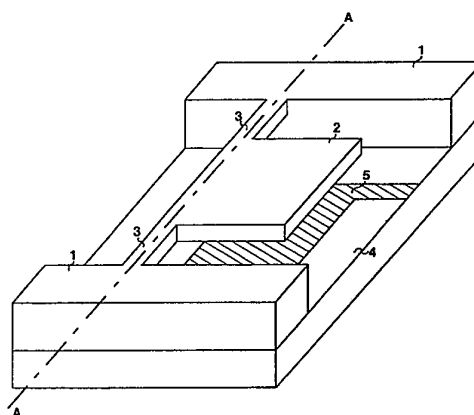
⑦③ Titulaire(s):
Centre Electronique Horloger S.A., Neuchâtel 7

㉔ Date de dépôt: 02.07.1981

㉔ Brevet délivré le: 13.04.1984

④⑤ Fascicule du brevet
publié le: 13.04.1984⑦② Inventeur(s):
Félix Rudolf, Cortaillod⑤④ **Accéléromètre.**

⑤⑦ L'accéléromètre comporte un volet (2) fixé à un support (1) par deux attaches (3) situées symétriquement et dans le prolongement d'un côté du volet. Une électrode (5) déposée sur une plaque (4) permet de mesurer l'accélération dans la direction perpendiculaire au plan du support par la mesure de la variation correspondante de la capacité entre le volet (2) et l'électrode (5).



REVENDECATIONS

1. Accéléromètre, apte à être réalisé à l'aide d'une technologie pour circuits intégrés électroniques, caractérisé en ce qu'il comporte:

- un volet (2) fixé à un support (1) par deux attaches élastiques opposées (3) et susceptible de tourner autour de ses attaches sous l'effet d'une accélération perpendiculaire au plan dudit support;
- au moins une électrode (5) disposée en regard dudit volet et dans un plan parallèle au plan dudit support; et
- des moyens (7) pour délivrer, à partir de la mesure de capacité entre ledit volet et ladite électrode, un signal représentatif de l'accélération subie par ledit volet.

2. Accéléromètre, selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte deux électrodes (5 et 10) situées de part et d'autre dudit volet et en ce que des moyens de contre-réaction sont prévus pour appliquer, entre ledit volet et l'une desdites deux électrodes, une tension apte à compenser l'effet de l'accélération subie par ledit volet et à ramener celui-ci dans sa position de repos.

3. Accéléromètre selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que ledit support, ledit volet et ses attaches sont en silicium et en ce que le volet et ses attaches ont un dopage d'un type différent de celui du support.

4. Accéléromètre selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens pour délivrer un signal représentatif de l'accélération sont intégrés sur ledit support.

5. Accéléromètre selon la revendication 1, caractérisé en ce que chaque électrode est déposée sur une plaque (4, 9) qui est fixée sur ledit support.

6. Accéléromètre selon la revendication 3, caractérisé en ce que le volet et ses attaches sont fortement dopés avec du bore.

7. Accéléromètre selon la revendication 4, caractérisé en ce que lesdits moyens pour délivrer un signal représentatif de l'accélération comportent un pont de mesure incluant au moins un condensateur fixe (C2) et le condensateur variable (C1, C'1) constitué par le volet et ladite électrode.

La présente invention se rapporte à un accéléromètre apte à être réalisé à l'aide d'une technologie pour circuits électroniques intégrés.

On connaît déjà des accéléromètres réalisés selon des techniques analogues à celles des circuits intégrés. Parmi ceux-ci on peut citer ceux décrits dans les articles suivants: «Silicon cantilever beam accelerometer utilizing a PI-FET capacitive transducer», paru dans IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. ED-26, No 11, November 1979; et «A batch-fabricated silicon accelerometer», paru dans IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. ED-26, No 12, December 1979. Un autre accéléromètre intégré a été présenté, sous le titre «Micromechanical Accelerometer integrated with MOS detection circuitry», à la conférence «International Electron Devices Meeting» tenue à Washington les 8, 9 et 10 décembre 1980. De tels accéléromètres comportent principalement une membrane rectangulaire dont un côté est fixé à un support et des moyens pour détecter le mouvement de la membrane sous l'effet d'une accélération. Un tel mode de fixation implique une valeur relativement importante de la constante de ressort de l'accéléromètre, ce qui s'oppose à l'obtention d'une sensibilité élevée. Par ailleurs, de tels dispositifs sont également sensibles à des accélérations selon des directions non voulues.

Aussi un objet de la présente invention est un accéléro-

mètre apte à être réalisé à l'aide d'une technologie pour circuits intégrés électroniques et ne présentant pas les inconvénients mentionnés ci-dessus.

Un autre objet de l'invention est un accéléromètre présentant une sensibilité élevée aux accélérations selon une direction privilégiée.

Un autre objet de l'invention est un accéléromètre pratiquement insensible aux accélérations selon des directions différentes de la direction privilégiée.

Selon une caractéristique de l'invention, l'accéléromètre comporte:

- un volet fixé à un support par deux attaches élastiques opposées et susceptible de tourner autour de ses attaches sous l'effet d'une accélération perpendiculaire au plan dudit support;
- au moins une électrode disposée en regard dudit volet et dans un plan parallèle au plan dudit support; et
- des moyens pour délivrer, à partir de la mesure de capacité entre ledit volet et ladite électrode, un signal représentatif de l'accélération subie par ledit volet.

Selon une variante de l'invention, il est prévu deux électrodes situées de part et d'autre dudit volet et des moyens de contre-réaction pour appliquer, entre ledit volet et l'une desdites deux électrodes, une tension apte à compenser l'effet de l'accélération subie par ledit volet et à ramener celui-ci dans sa position de repos.

L'utilisation de deux attaches symétriques, travaillant en torsion permet d'obtenir une faible valeur de la constante de ressort, ce qui améliore la sensibilité de l'accéléromètre. D'autre part, la disposition des attaches de part et d'autre du volet assure un maintien suffisant du volet tout en s'opposant à tout mouvement de celui-ci autre qu'un mouvement de rotation autour de l'axe des attaches.

D'autres objets, caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'exemples de réalisation particuliers, ladite description étant faite à titre purement illustratif et en relation avec les dessins joints dans lesquels:

la figure 1 montre, sous une forme schématique, une structure de volet et de ses attaches;

la figure 2 montre une première variante d'accéléromètre selon l'invention;

la figure 3 montre une deuxième variante d'accéléromètre selon l'invention;

la figure 4 est un schéma bloc d'un circuit de mesure associé à l'accéléromètre de la figure 2; et

la figure 5 est un schéma bloc d'un circuit de mesure associé à l'accéléromètre de la figure 3.

La figure 1 montre sous une forme schématique un accéléromètre selon l'invention. L'élément essentiel de ce dispositif est un volet 2 maintenu à un support 1 par deux attaches élastiques 3. Le support 1 est disposé sur une plaque 4 sur laquelle est déposée une électrode 5. Un tel dispositif peut être réalisé à l'aide d'une technologie analogue à celle des circuits électroniques intégrés. A titre d'exemple, le support 1 sera réalisé dans un substrat en silicium de type n, le volet 2 et ses attaches 3 seront découpés dans le substrat et dopés avec un dopant de type p et la plaque 4, sur laquelle aura été déposée une électrode en aluminium, sera en verre.

Le dispositif fonctionne de la manière suivante. Le volet 2 constitue à la fois une masse d'inertie et une plaque de condensateur dont l'autre plaque est constituée par l'électrode 5. Lorsque le dispositif est soumis à une accélération perpendiculaire au plan de la plaque 4, le volet tourne autour

de ses attaches élastiques 3 jusqu'à ce que le couple de rappel exercé par les attaches équilibre le moment engendré sur le volet par l'accélération. L'angle dont a tourné le volet est alors proportionnel à l'accélération. La rotation du volet entraîne une variation correspondante de la capacité entre le volet et l'électrode 5 qu'il est possible de mesurer.

La structure du volet permet d'avoir un rapport force d'inertie sur force de rappel très favorable. En effet la force de rappel peut être réduite par une diminution de la section des attaches, le volet restant par ailleurs bien maintenu. La réduction de la force de rappel des attaches augmente la sensibilité du dispositif et améliore sa réponse en fréquence. Un autre avantage d'une telle structure est que si elle favorise la rotation du volet autour de ses attaches, elle s'oppose par contre à tout autre mouvement qui impliquerait un allongement des attaches. Cela garantit un bon comportement du dispositif pour la mesure d'accélération selon une direction privilégiée qui est la direction perpendiculaire au plan du support. Cet avantage peut encore être amélioré si le support 1 est en silicium monocristallin et si le volet et ses attaches sont fortement dopés au bore (avec une concentration typique égale ou supérieure à 10^{19} atomes/cm³). Un dopage au bore a pour conséquence de créer des contraintes longitudinales sur les attaches du volet, ce qui rigidifie le volet vis-à-vis des mouvements autres que le mouvement privilégié.

La figure 2 montre, en coupe, un exemple de réalisation d'un accéléromètre selon l'invention. La coupe est réalisée selon l'axe de rotation du volet, par exemple l'axe A-A de la figure 1. Les éléments analogues à ceux de la figure 1 portent les mêmes références. Ainsi retrouve-t-on le support 1, le volet 2 et ses attaches, l'électrode 5 et la plaque 4.

La figure 2 montre encore un bloc 7, qui symbolise le circuit de mesure associé à l'accéléromètre et qui est de préférence intégré sur le même support 1, et des connexions. Ces connexions, réalisée par exemple en aluminium, servent à connecter le volet au circuit de mesure 7 par la connexion 71 et l'électrode 5 à une plage de contact 51, à travers une zone de diffusion p⁺ 52, ou au circuit de mesure 7 à travers la zone 52, la plage 51, la plage 73 et la zone de diffusion p⁺ 72. Le support 1 est réalisé dans un substrat en silicium de type n⁻. Il est protégé sur sa face inférieure par une couche isolante 6 en SiO₂. Une couche isolante en SiO₂ est également prévue sur la face supérieure pour isoler les connexions du support. La plaque 4 peut être réalisée en verre, partiellement métallisée par dépôt d'aluminium pour constituer l'électrode 5 et fixée au support 1 selon une technique connue sous le nom anglo-saxon «anodic bonding». Un dégagement 8 est prévu dans la plaque en regard du circuit de mesure 7.

La description d'un procédé de réalisation d'une structure comparable à celle de la figure 2 peut être trouvée dans l'article «A monolithic capacitive pressure sensor with pulse-period output» paru dans la revue IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. ED-27, No 5, May 1980. Après l'obtention d'une membrane de l'épaisseur voulue par un procédé analogue à celui décrit dans l'article précité, le volet 2 et ses attaches sont ensuite découpés par une attaque de préférence dans un milieu gazeux (attaque par plasma ou usinage ionique par exemple).

La figure 3 montre une variante du dispositif de la figure 1, selon laquelle une électrode supplémentaire 10 est prévue à l'opposé de l'électrode 5 par rapport au volet 2. L'électrode supplémentaire 10 est obtenue par dépôt d'aluminium sur une base en silicium 20 fixée sur une plaque en verre 9. Le silicium est d'abord fixé sur la plaque 9 selon la technique

«anodic bonding», puis le silicium est gravé pour obtenir la base 20 et l'électrode 10 est alors déposée. L'ensemble constitué par la plaque 9, la base 20 et l'électrode 10 est ensuite fixé au support 1 par «anodic bonding». L'électrode supplémentaire 10 est reliée à une plage de contact 12 par l'intermédiaire d'une zone 11 dopée p⁺. Cette électrode 10 sert d'organe de contre-réaction, comme cela apparaîtra plus clairement dans la description de la figure 5.

La figure 4 est un schéma bloc d'un circuit de mesure de l'accélération associé au dispositif de l'invention. Le volet 2 et l'électrode 5 constituent un condensateur variable C1 qui fait partie d'un pont de mesure comprenant un condensateur C2 et deux résistances 101 et 102 dont le point commun est à la masse. Le point commun au condensateur C1 et à la résistance 101 est relié à l'entrée d'un amplificateur 103 dont le signal de sortie, une fois redressé et filtré par le circuit 105, est appliqué à une entrée d'un amplificateur différentiel 107. Le point commun au condensateur C2 et à la résistance 102 est relié à l'entrée d'un amplificateur 104 dont le signal de sortie, une fois redressé et filtré par le circuit 106, est appliqué à l'autre entrée de l'amplificateur différentiel 107. Le point commun aux deux condensateurs C1 et C2 reçoit un signal à haute fréquence Um. Une rotation du volet 2, sous l'effet d'une accélération, entraîne une modulation correspondante en amplitude et en phase du signal U1. La différence d'amplitude entre les signaux U1 et U'1 est extraite à l'aide des circuits 103 à 107 pour donner un signal Us représentatif de l'accélération à laquelle le volet 2 est soumis. Il est bien évident que la figure 4 n'est donnée qu'à titre d'exemple. On peut en effet mesurer la différence de phase introduite, entre les signaux U1 et U'1, par la variation de capacité de C1 pour obtenir un signal représentatif de cette variation et par suite de l'accélération.

La figure 5 montre le schéma bloc d'un circuit de mesure incorporant une boucle de contre-réaction. On retrouve le condensateur variable C1, le condensateur C2 et le circuit de mesure 100 qui délivre le signal Us représentatif de la variation de capacité de C1. Un autre condensateur C'1 est formé par le volet 2 et l'électrode supplémentaire 10 (figure 3). Le signal Us est appliqué à deux montages amplificateurs symbolisés par un amplificateur opérationnel 110 et deux résistances 108 et 109 d'une part, et un amplificateur opérationnel 120 et deux résistances 118 et 119 d'autre part. La polarité du signal Us est détectée par un comparateur 112 dont la sortie commande les interrupteurs 111 et 121. Le circuit 113 indique que ces interrupteurs sont toujours dans des états opposés. Ces interrupteurs permettent d'appliquer une tension proportionnelle au signal Us soit sur l'électrode 10, soit sur l'électrode 5 afin de ramener le volet 2 dans une position proche de sa position d'équilibre. Le gain des montages amplificateurs doit être ajusté pour compenser les différences de capacité entre C1 et C'1. Deux résistances 11 et 124 connectent en permanence à la masse l'électrode 10 et l'électrode 5 respectivement. La valeur de ces résistances doit être supérieure à l'impédance des condensateurs C1 et C'1. La possibilité d'introduire une boucle de contre-réaction offre l'avantage d'augmenter la plage de mesure de l'accéléromètre et permet également de diminuer la distance entre le volet et l'électrode puisque la rotation du volet est limitée par la contre-réaction.

Il est clair que d'autres matériaux semiconducteurs, tel le germanium, ou isolants, tel le saphir, peuvent être utilisés pour réaliser le support. Cependant si le support est isolant, le volet et ses attaches sont réalisées en un matériau conducteur.

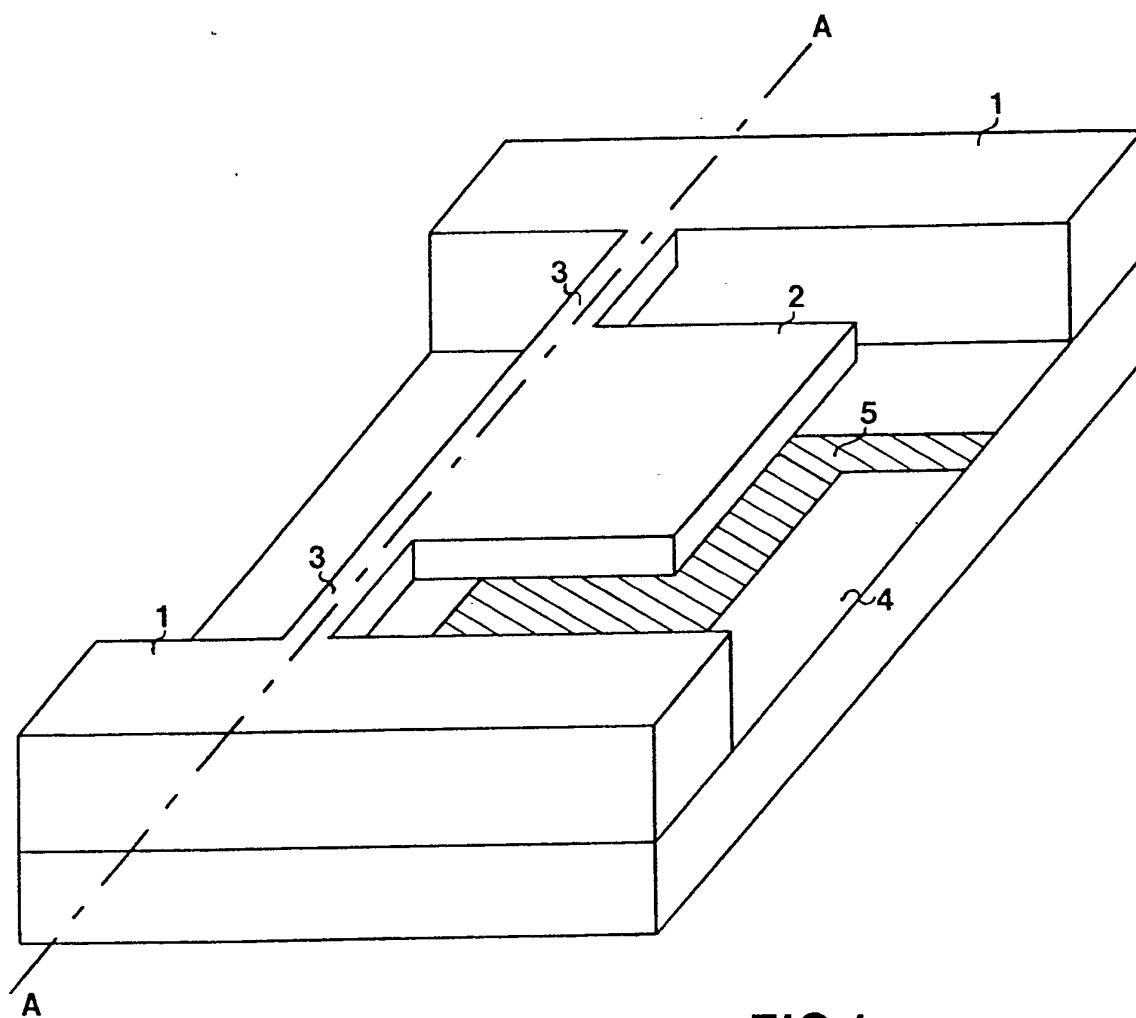


FIG.1

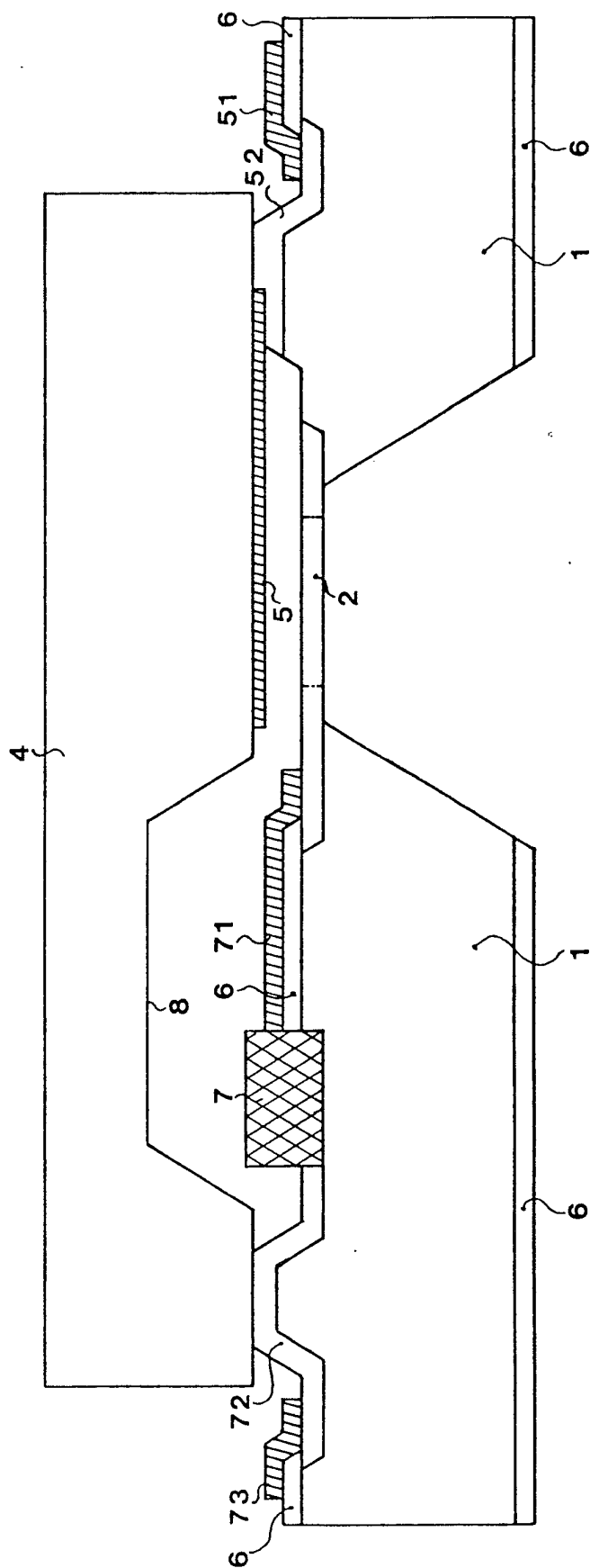


FIG.2

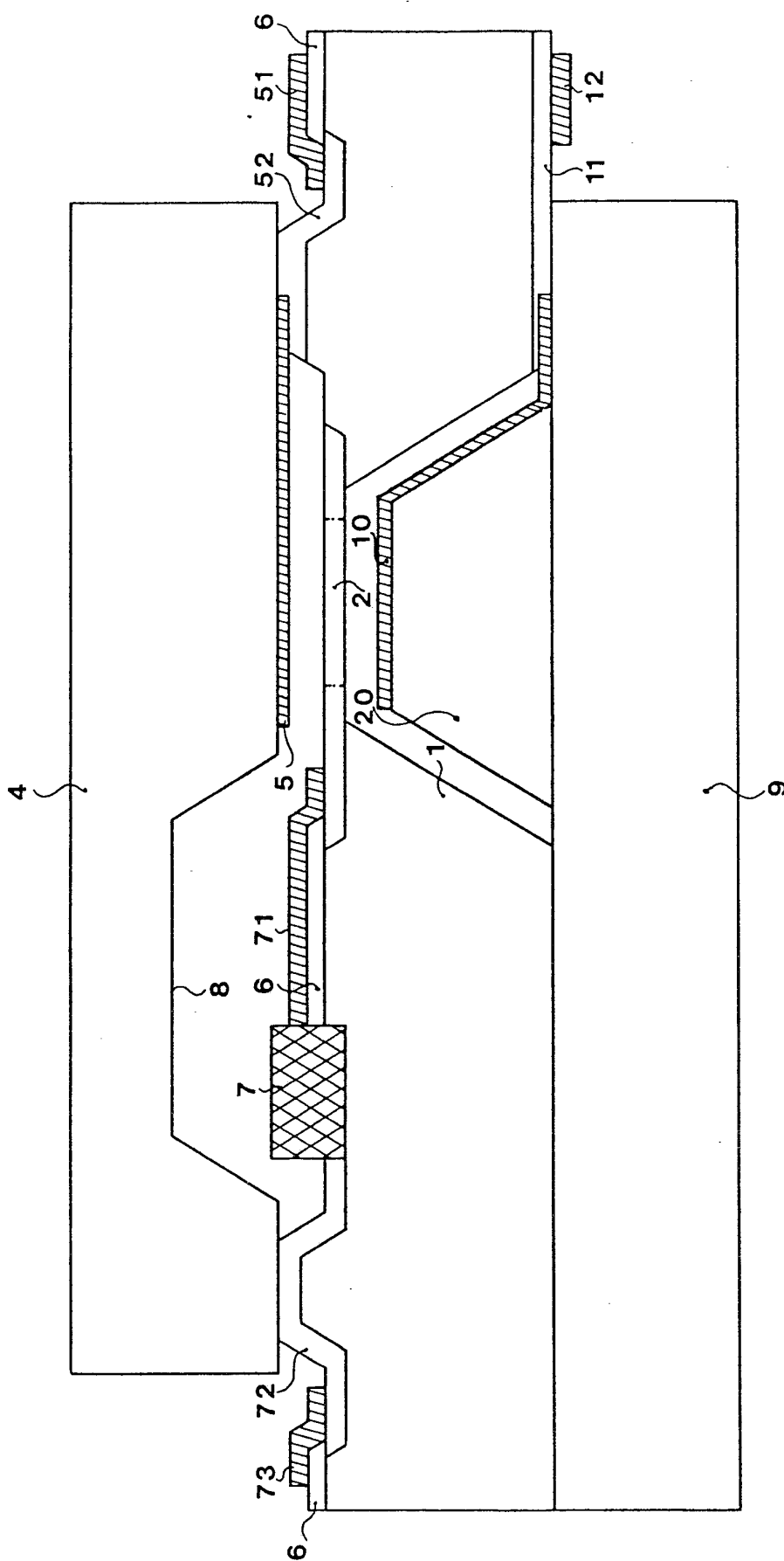


FIG.3

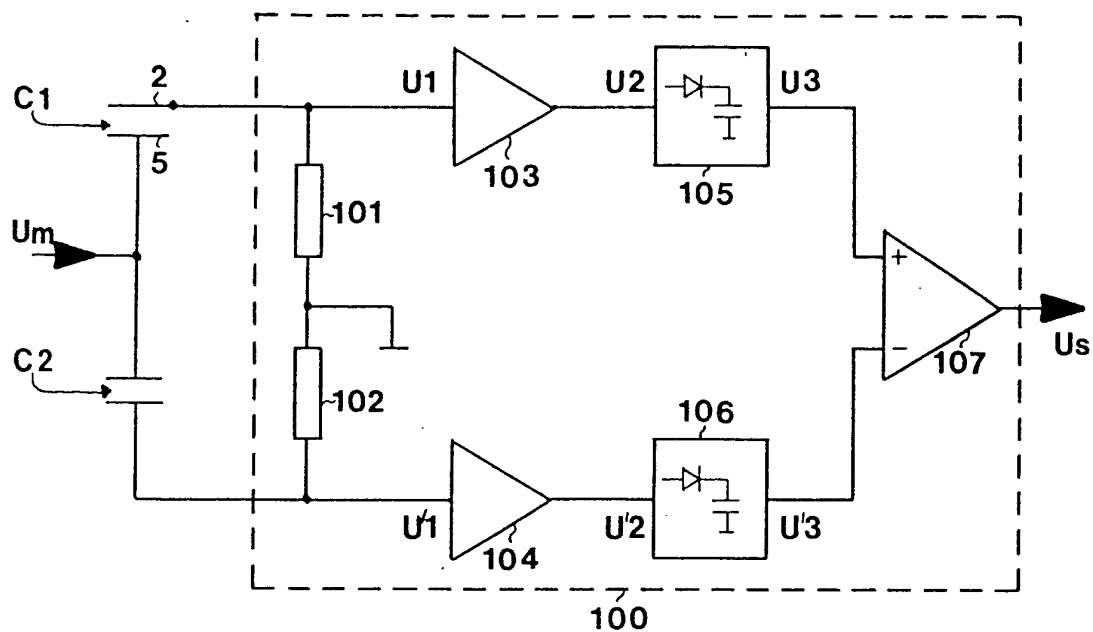


FIG. 4

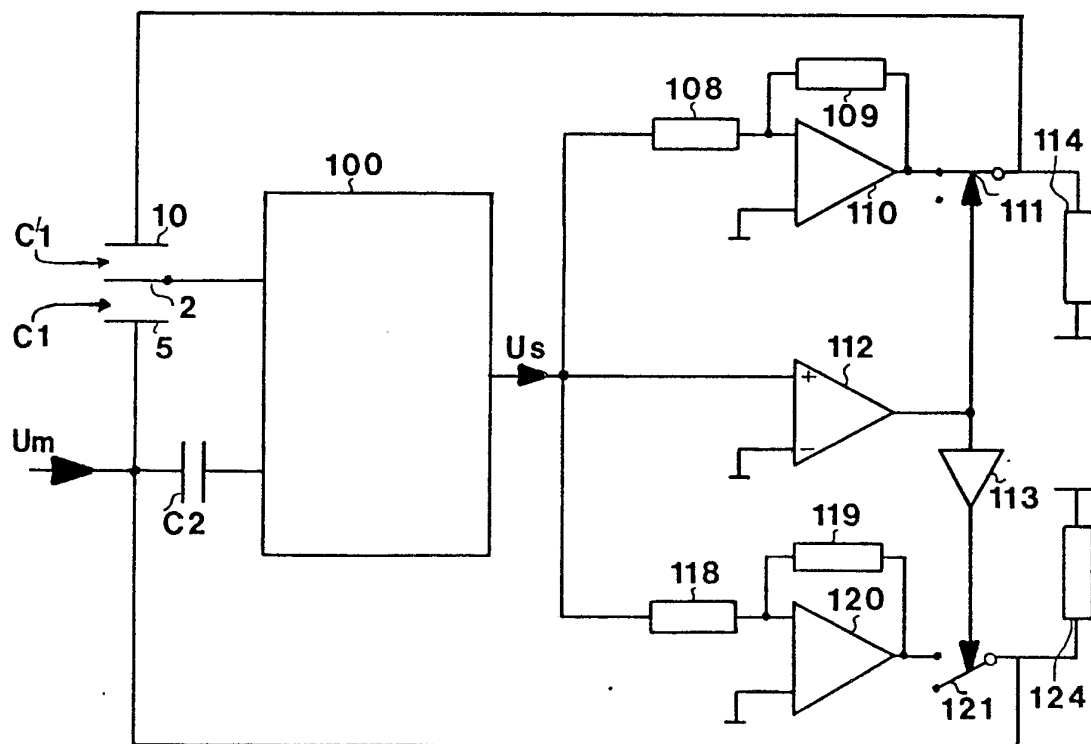


FIG. 5