

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 81 14501

(54) Dispositif semi-conducteur sensible aux ions.

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). G 01 N 27/30; H 01 L 29/78.

(22) Date de dépôt..... 24 juillet 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée-:

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 4 du 28-1-1983.

(71) Déposant : CENTRE ELECTRONIQUE HORLOGER SA, société anonyme. — CH.

(72) Invention de : Félix Rudolf.

(73) Titulaire : FONDATION SUISSE DE RECHERCHE EN MICROTECHNIQUE. — CH.

(74) Mandataire : Cabinet A. Thibon-Littaye,
11, rue de l'Etang, 78160 Marly-le-Roi.

La présente invention se rapporte aux dispositifs semi-conducteurs sensibles aux ions en général et concerne plus particulièrement des dispositifs comportant un transistor à effet de champ.

5 De nouveaux dispositifs ont été récemment développés pour détecter et mesurer des propriétés chimiques, telle l'activité des ions, d'un milieu liquide. Parmi ces dispositifs connus figure le transistor ISFET (Ion-Sensitive Field Effect Transistor) dont la structure et le fonctionnement sont décrits, par exemple, 10 dans le brevet américain No 4 020 830. Le transistor ISFET est un transistor à effet de champ à grille isolée dont la grille est remplacée par une solution conductrice et dont la couche isolante réagit de manière spécifique avec certains ions contenus dans la solution. La réponse du transistor ISFET est alors dépendante de 15 la nature et de la concentration des ions dans la solution. Un des problèmes existant avec les structures connues est d'éviter les interférences entre la solution et les éléments purement électroniques, à savoir les zones de canal, de source et de drain et les connexions. Les matériaux et les techniques d'encapsulation 20 actuels ne permettent pas d'éliminer totalement cet inconvénient. Par ailleurs la couche sensible, qui est en contact avec la solution et avec la zone de canal, doit être relativement mince, typiquement de l'ordre de 0,1 micron, pour assurer le bon fonctionnement du transistor. Or cette couche sensible doit également servir de barrière à la migration des ions de la solution vers le 25 dispositif électronique et l'on conçoit aisément que cette barrière est d'autant moins efficace que son épaisseur est plus faible.

Une méthode connue pour éviter les interférences entre la 30 solution et les contacts de drain et de source, consiste à réaliser à travers le substrat des diffusions profondes et de faire les connexions de drain et de source sur le dos de la puce. Cette méthode procure l'avantage de supprimer toute zone de connexion sur la face en contact avec la solution. Par contre, la réalisation 35 de ces diffusions profondes à travers le substrat n'est pas compatible avec les procédés technologiques standards et ces diffusions sont, par ailleurs, assez mal contrôlées.

Aussi un objet de la présente invention est un dispositif semi-conducteur sensible aux ions, du type transistor à effet de champ, ne présentant pas les inconvénients mentionnés ci-dessus.

Selon une caractéristique de l'invention, le dispositif comprend un transistor à effet de champ réalisé sur un substrat et ayant une grille flottante s'étendant au-delà de la zone du transistor et une couche sensible couplée capacitivement à la grille flottante en dehors de ladite zone du transistor.

Selon une autre caractéristique de l'invention, ledit transistor à effet de champ est réalisé sur une première face dudit substrat tandis que ladite couche sensible est formée sur la deuxième face dudit substrat.

De cette manière, la partie électronique du dispositif est située du côté du substrat opposé à celui en contact avec l'électrolyte. Il est ainsi plus facile de réaliser l'isolation de cette partie électronique. Un autre avantage résulte du couplage capacitif entre la couche sensible et la grille flottante. Le diélectrique de cette capacité de couplage, qui sert également de barrière à la migration des ions, peut être relativement épais puisque sa surface peut être grande. C'est en effet la valeur totale de la capacité de couplage qui est importante pour un fonctionnement correct du dispositif.

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 en relation avec les dessins joints dans lesquels:

- la figure 1 montre une structure connue de transistor FET sensible aux ions;

- la figure 2 montre un premier dispositif sensible aux ions en accord avec les principes de la présente invention; et

- la figure 3 montre un deuxième dispositif sensible aux ions en accord avec les principes de l'invention.

La figure 1 illustre l'art antérieur et montre, en coupe, une structure connue de transistor FET utilisé comme transducteur électrochimique. Cette structure comprend un substrat 10 en sili-

cium dopé de type p, deux zones séparées 11 et 12 de diffusion de
 type n formant respectivement la source et le drain, une couche
 d'isolant 13, typiquement en SiO_2 , une couche de protection 14, par
 exemple en Si_3N_4 , et une couche sensible 15. La couche sensible
 15 est en contact avec un électrolyte dans lequel baigne une
 électrode de référence 16. La couche sensible 15 est prévue pour
 réagir avec les ions d'un type donné de l'électrolyte en créant
 un potentiel électrochimique de surface qui module le champ élec-
 trique de la zone de canal. Le potentiel de surface dépend de
 10 l'ampleur de la réaction laquelle dépend de la concentration des-
 dits ions d'un type donné dans l'électrolyte. Des changements de
 cette concentration entraînent des variations du courant de con-
 duction mesuré par l'ampèremètre 19.

Dans une structure telle que montrée à la figure 1, les
 15 zones de contacts de drain et de source (non représentées) sont
 situées du côté de l'électrolyte ce qui, compte tenu des maté-
 riaux utilisés pour l'encapsulation, ne permet pas d'assurer la
 stabilité à long terme du dispositif. Par ailleurs l'épaisseur de
 l'oxyde de grille 13 et de la couche de protection 14 doit être
 20 suffisamment faible dans la zone de canal pour que le fonctionne-
 ment du dispositif soit correct. Or cette faible épaisseur consti-
 tue également un inconvénient en ce sens qu'elle diminue l'effica-
 cité de la couche de protection 14.

Ainsi il est prévu, selon l'invention, une structure de
 25 transistor FET sensible aux ions incorporant une grille flottante
 et dans laquelle la couche sensible est située à l'opposé de la-
 dite grille flottante. Une structure en accord avec les principes
 de l'invention est montrée à la figure 2 dans laquelle les élé-
 ments analogues à ceux de la figure 1 portent les mêmes références.
 30 On retrouve un transistor FET à canal n, avec un substrat 10 en
 silicium de type p, deux zones de diffusion 11 et 12 de type n
 formant la source et le drain et une couche isolante en SiO_2 13
 dont la partie amincie 13a constitue l'oxyde de grille. La grille
 20, réalisée par exemple en aluminium ou en silicium polycristal-
 35 lin dopé, est flottante et est couplée capacitivement, à travers
 une couche d'oxyde mince 13b, à la couche sensible 15. Cette cou-
 che sensible 15 est déposée sur l'autre face de la plaquette de

silicium, laquelle a été préalablement attaquée afin d'éliminer le silicium en regard de l'oxyde mince 13b. Une couche isolante 13, en SiO_2 est intercalée entre le substrat 10 et la couche sensible 15 pour diminuer l'influence de l'électrolyte sur le transistor.

5 La structure comporte également des zones de contacts de drain et de source non représentées car en dehors du plan de la coupe, mais situées sur la face supérieure, c'est-à-dire sur la face opposée à celle en contact avec l'électrolyte. La face supérieure est encore recouverte d'une couche isolante 21 qui isole la grille flottante 20.

La couche d'oxyde 13b, qui sert de diélectrique au condensateur formé par la grille flottante 20 d'une part et la couche sensible 15 d'autre part, peut être épais pourvu que sa surface soit grande, car c'est la valeur totale de la capacité de couplage
15 qui est importante. Il est alors possible de réaliser une barrière efficace s'opposant à la migration des ions de l'électrolyte vers la grille flottante.

Le substrat en silicium 10 est un matériau opaque qui protège par conséquent le transistor de toute lumière pouvant provenir de l'électrolyte. Ceci résulte directement des caractéristiques de la structure de l'invention.

La figure 3 montre, en coupe, un autre exemple de réalisation de l'invention à l'aide d'une technologie sur un substrat isolant tel le saphir. Sur un substrat en saphir 30 sont réalisées, à l'aide d'une technologie SOS (Silicon On Sapphire) conventionnelle, trois zones 31, 32 et 33 de silicium dopées avec des polarités alternées et constituant respectivement la source, le canal et le drain d'un transistor. La grille flottante 40 peut être réalisée en silicium polycristallin convenablement dopé. Une
30 couche isolante 34 de SiO_2 recouvre la grille flottante 40 ainsi que les zones de source, de canal et de drain. La face inférieure de la plaquette de saphir est usinée, par exemple aux ultrasons, de manière à constituer une membrane 41 d'une épaisseur d'environ dix microns en regard de la grille flottante. Cette membrane 41
35 sert à la fois de couche sensible, de barrière à la migration des ions et de diélectrique du condensateur de couplage entre la couche sensible et la grille flottante. Un tel dispositif peut être

utilisé comme senseur pH, le saphir ayant une réponse sélective aux ions H^+ . Une couche opaque 42 peut être déposée sur la face inférieure afin de supprimer l'action de la lumière sur le transistor.

5 Dans le cas d'un dispositif réalisé sur un substrat isolant et comportant une couche sensible d'une matière différente de celle du substrat, il est possible de prévoir cette couche sensible du même côté que la partie électronique. Cette couche sensible sera cependant toujours couplée capacitivement à la grille
10 flottante du transistor en une région distante de la zone du transistor.

Les deux exemples de réalisation décrits ci-dessus ne sont donnés qu'à titre d'exemples et il est clair qu'ils ne sauraient limiter la portée de l'invention. Il est en particulier évident
15 que d'autres couches connues pour servir de barrière aux ions peuvent être utilisées. On peut citer, à titre d'exemple, le Si_3N_4 . Il est également évident que d'autres matériaux que ceux cités sont applicables aux structures de l'invention. De tels matériaux sont connus pour leurs propriétés électrochimiques et ont déjà
20 été utilisés comme élément sensible. On peut citer, par exemple, les oxydes d'aluminium ou de tantale, des verres, des échangeurs d'ions dans une matrice en PVC ou en photoresist.

REVENDICATIONS

1. Dispositif semi-conducteur apte à répondre sélectivement aux ions d'une solution à laquelle il est exposé et ayant une couche sensible (15) et un transistor à effet de champ constitué par une zone de source (11,31), une zone de canal (32), une
5 zone de drain (12,33) réalisées sur un substrat (10,30) et une grille (20,40) séparée desdites zones de source, de canal et de drain par une couche isolante (13,34); ledit dispositif étant caractérisé en ce que ladite grille (20,40) est flottante et en ce qu'elle est couplée capacitivement à ladite couche sensible (15)
10 en dehors desdites zones de source, de canal et de drain.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite couche sensible est formée sur la face du substrat opposée à celle sur laquelle ledit transistor est réalisé.

3. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en
15 ce que ledit couplage capacitif est réalisé par l'intermédiaire d'une membrane mince (13b,41) en un matériau isolant.

4. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que ledit substrat (10) est un matériau semi-conducteur.

5. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en
20 ce que ledit substrat (30) est un matériau isolant.

1/2

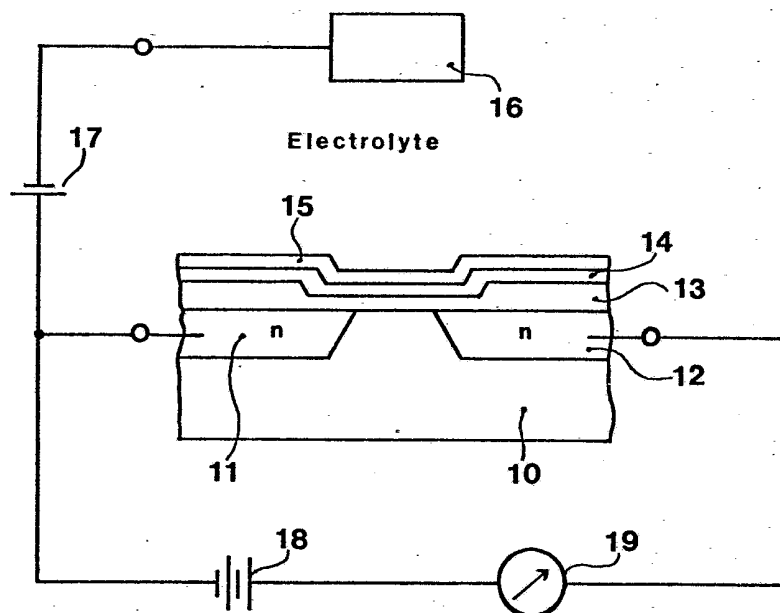


FIG.1

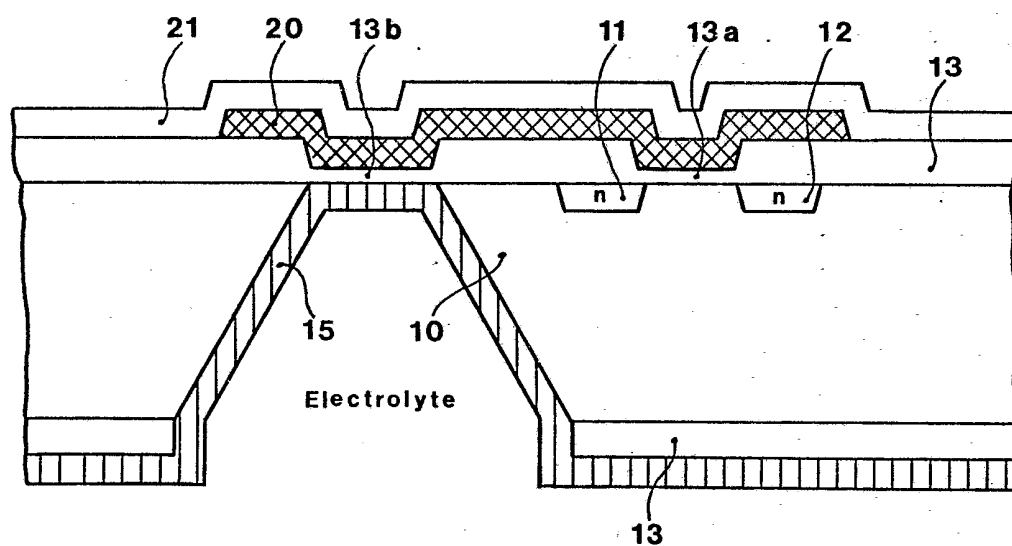


FIG. 2

