

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 7 octobre 1982.

③0 Priorité

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 15 du 13 avril 1984.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : CII HONEYWELL BULL — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Alain Victor Marceau Boudou et Jean-
Claude Marchetaux.

⑦3 Titulaire(s) :

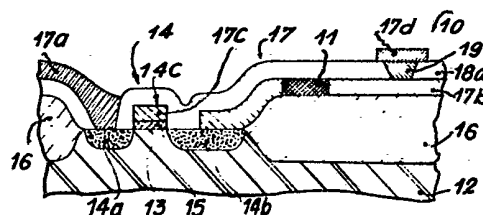
⑦4 Mandataire(s) : Hervé Denis.

⑤4 Procédé de fabrication de résistances électriques dans un matériau semi-conducteur polycristallin et dispositif à
circuits intégrés résultant.

⑤7 L'invention se rapporte à un procédé de fabrication d'une
résistance 11 dans un matériau semi-conducteur polycristallin
17b, du type incluant une implantation ionique dans ce maté-
riau.

Selon l'invention, le matériau est rendu conducteur par do-
page à forte dose d'ions électriquement actifs relativement au
matériau, et des ions électriquement inactifs, des ions d'argon
par exemple, sont implantés dans une zone du matériau pour
constituer ladite résistance. Ce procédé permet de fabriquer
des résistances de charge pour circuits logiques dans une
gamme très étendue de manière précise et linéaire.

L'invention concerne aussi le dispositif à circuits intégrés
résultant 10, à transistors MOS 14 ou bipolaires.



"PROCEDE DE FABRICATION DE RESISTANCES ELECTRIQUES DANS UN MATERIAU SEMICONDUCTEUR POLYCRISTALLIN ET DISPOSITIF A CIRCUITS INTEGRES RESULTANT"

L'invention se rapporte à un procédé de fabrication de résistances électriques dans un matériau semiconducteur polycristallin et au dispositif à circuits intégrés résultant.

5

Un dispositif à circuits intégrés se compose essentiellement d'un substrat semiconducteur cristallin, le silicium ordinairement, dont une face, dite active, incorpore divers composants et comporte un réseau
10 d'interconnexion et des bornes d'entrée-sortie. Les composants sont créés dans le substrat d'une manière classique qui fait intervenir une implantation d'ions actifs relativement au matériau semiconducteur cristallin du substrat, dans ce sens que ces ions définissent dans ce
15 matériau des régions de conductivité d'un type N ou P. Pour le silicium, les ions implantés sont par exemple l'arsenic, le phosphore ou le bore. Les composants ainsi produits, tels que des transistors à effet de champ du type MOS (Métal-Oxyde-Semiconducteur), sont reliés entre
20 eux ainsi qu'aux bornes d'entrée-sortie par un réseau conducteur d'interconnexion constitué au-dessus de la face active du substrat par la superposition de couches électriquement conductrices séparées par des couches isolantes. Les couches isolantes intermédiaires sont
25 percées de trous comblés par de la matière électriquement conductrice pour la liaison entre conducteurs de couches voisines. De manière classique également, au moins une couche conductrice du réseau d'interconnexion est constituée par un matériau semiconducteur polycristallin,
30 tel que le silicium polycristallin, en vue de former dans diverses zones de la couche, des éléments de composants en partie contenus dans le substrat cristallin, tels que les contacts de grille de transistors MOS par exemple, ou des composants à part entière, tels que des résistances
35 électriques.

Selon un procédé antérieur couramment utilisé pour la formation de ces résistances, une première implantation d'ions actifs à faible dose est faite dans tout le matériau semiconducteur polycristallin constituant la
5 couche du réseau d'interconnexion, de manière à légèrement diminuer sa résistivité jusqu'à obtenir la valeur à partir de laquelle seront définies les résistances à aménager dans ce matériau. La deuxième phase du procédé consiste à masquer les zones du matériau semiconducteur
10 polycristallin représentatives des résistances à créer, et à faire une seconde implantation ionique à forte dose pour abaisser considérablement la résistance électrique du matériau non masqué et définir ainsi les éléments conducteurs de la couche et éventuellement les jonctions
15 dans le substrat. Une bonne illustration de cette technique est faite par exemple dans l'article de T. Ohzone et coll. paru dans la revue "The Transactions of the IECE of Japan", vol. E.63, N° 4, April 1980, pages 267-274.

20 Cette technologie présente de nombreux inconvénients. L'inconvénient majeur réside dans la maîtrise du procédé d'implantation. En effet, il ressort des expériences que la résistance du silicium polycristallin varie d'un
25 facteur de l'ordre de 10^4 à 10^6 pour une dose d'ions variant simplement d'un facteur 10. Cette croissance très rapide de la résistance soumet l'ajustement du dosage des ions à des contraintes très sévères.

30 En outre, les ions implantés diffusent au cours des traitements thermiques successifs impliqués dans le procédé de fabrication du dispositif à circuits intégrés. Il s'ensuit que la concentration des ions dans la zone du matériau destinés à constituer la résistance varie au
35 cours de la fabrication du dispositif à circuits intégrés, d'une manière difficile à contrôler.

Il est par conséquent très difficile à l'heure actuelle de maîtriser suffisamment le procédé de fabrication de résistances dans un matériau semiconducteur polycristallin pour donner aux résistances les valeurs désirées avec
5 précision. La grande dispersion des valeurs de résistance obtenues fait que cette technologie n'est actuellement applicable que pour la fabrication de résistances très élevées, de l'ordre du Gigohm ou plus. Dans ces gammes de
10 résistances, en effet, des variations de l'ordre du Mégohm sont peu conséquentes et, d'autre part, la pente de la courbe de la résistivité en fonction du dosage des ions est la plus faible, c'est-à-dire moins sensible au dosage. Les dispositifs à circuits intégrés concernés par ce
15 procédé antérieur de fabrication de résistances sont donc notamment les mémoires statiques RAM (Random Access Memory) du type MOS.

D'autre part, la diffusion précitée des ions au cours de la fabrication d'un dispositif à circuits intégrés accroît
20 la taille des zones allouées aux résistances et s'oppose ainsi à une intégration de haute densité.

L'invention remédie à ces inconvénients, par le fait qu'elle offre, d'une part, une grande maîtrise du procédé
25 pour la détermination des valeurs de résistance et, d'autre part, une intégration de haute densité.

Le procédé conforme à l'invention pour la fabrication d'une résistance dans un matériau semiconducteur
30 polycristallin, du type incluant une implantation ionique dans ce matériau, est caractérisé en ce que le matériau est rendu conducteur par dopage à forte dose d'ions électriquement actifs relativement au matériau, et en ce que des ions électriquement inactifs sont implantés dans
35 une zone du matériau pour constituer ladite résistance.

- 4 -

Les ions étant appelés électriquement actifs relativement au matériau semiconducteur polycristallin lorsque dans ce matériau ils sont donneurs ou accepteurs pour y engendrer des régions d'un type N ou P, les ions sont appelés
5 électriquement inactifs lorsque dans ce matériau ils ne sont ni donneurs ni accepteurs et demeurent incapables de produire un type de conductivité N ou P dans le matériau. De préférence, les ions électriquement inactifs appartiendront à la famille des gaz rares.

10

Ainsi, contrairement à la technique antérieure selon laquelle des ions électriquement actifs étaient implantés à faible dose dans le matériau semiconducteur polycristallin pour l'amener à prendre la valeur souhaitée
15 de la résistance à créer et ensuite une seconde implantation à forte dose d'ions électriquement actifs était opérée pour rendre le matériau conducteur à l'extérieur de la zone du matériau définissant la résistance, le procédé conforme à l'invention consiste
20 d'abord à amener le matériau semiconducteur polycristallin à une faible valeur de résistivité par implantation à forte dose d'ions électriquement actifs dans ce matériau, et à accroître ensuite cette valeur de résistance par implantation d'ions électriquement inactifs dans la zone du
25 matériau délimitant ladite résistance.

Un dispositif à circuits intégrés conforme à l'invention, du type comprenant un matériau semiconducteur polycristallin contenant des ions électriquement actifs
30 dans ledit matériau et incluant au moins une zone constituant une résistance électrique, est caractérisé en ce que ladite zone comporte des ions implantés électriquement inactifs relativement audit matériau.

35 Les caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description qui suit, faite en référence aux dessins annexés.

- 5 -

Dans les dessins :

- la figure 1 est une vue partielle de dessus d'un exemple de réalisation d'un dispositif à circuits intégrés conforme à l'invention ;

5

- la figure 2 est une vue en coupe faite selon la ligne II-II représentée sur la figure 1 ; et

10 - la figure 3 est un graphe illustrant les variations de la résistivité en fonction du dosage des ions implantés selon un exemple de réalisation conforme à l'invention.

Les figures 1 et 2 illustrent un exemple de réalisation d'une partie d'un dispositif à circuits intégrés (10) incorporant une résistance électrique (11) réalisée conformément à l'invention. La partie illustrée du dispositif (10) fait apparaître un substrat semiconducteur cristallin (12) tel que le silicium, dont la face active (13) incorpore un transistor à effet de champ du type MOS (14) relié à la résistance (11). Plus précisément, le transistor (14) est formé d'une région de source (14a) et d'une région de drain (14b) par implantation dans le substrat (12) d'ions électriquement actifs, des ions d'arsenic par exemple. La région de grille (14c) du transistor (14) comprend une électrode de grille (17c) formée au-dessus de la face active (13), par l'intermédiaire d'une couche isolante (15), entre les régions de source (14a) et de drain (14b). La face active (13) du substrat (12) supporte une couche isolante (16), en dioxyde de silicium, entourant la zone définissant le transistor (14). Au-dessus de la couche (16) est formé un réseau conducteur d'interconnexion (17) entre les divers composants constitués dans le substrat (12) du dispositif à circuits intégrés (10), tels que le transistor (14).

35

Le réseau (17) est habituellement formé de couches conductrices superposées, séparées par des couches

d'isolation. Les couches conductrices comprennent au moins une couche en matériau semiconducteur polycristallin dans laquelle on peut former notamment des résistances électriques, et éventuellement des couches métalliques, en aluminium par exemple. Des conducteurs de deux couches voisines sont reliés entre eux par des trous ménagés dans la couche d'isolation intermédiaire et remplis de matière conductrice pour la connexion électrique. Dans l'exemple représenté sur les figures 1 et 2, la couche en matériau semiconducteur polycristallin comprend deux conducteurs (17b, 17c) constituant respectivement les électrodes de drain et de grille du transistor (14), tandis que la couche métallique supérieure comprend le conducteur (17a) constituant l'électrode de source du transistor (14) et le conducteur (17d) relié à l'électrode de drain (17b) par l'intermédiaire du trou conducteur (19) ménagé dans la couche d'isolation intermédiaire (18a) et de la résistance (11). Pour faciliter la lecture des dessins, les autres couches possibles n'ont pas été représentées.

Selon la technique antérieure, les ions utilisés pour la formation de la résistance (11) dans le conducteur de drain (17b) en matériau semiconducteur polycristallin étaient des ions actifs, au même titre que ceux utilisés pour la formation des régions de divers types de conductivité dans le substrat cristallin (12), telles que les régions de source (14a) et de drain (14b) du transistor (14). D'abord, ces ions actifs étaient implantés à faible dose dans toute la couche polycristalline pour donner aux conducteurs (17b, 17c) une résistivité correspondant à celle souhaitée pour constituer la résistance (11) et toutes les autres résistances, puis on disposait un masque (20) masquant toutes les zones des conducteurs (tels que le conducteur 17b) où les résistances sont à ménager et on implantait dans toute la couche, à l'extérieur de ces zones, de fortes doses d'ions actifs pour la rendre très conductrice.

Selon l'invention, on pratique d'abord un dopage uniforme à forte dose d'ions actifs dans toute la couche polycristalline pour la rendre très conductrice, puis, par l'intermédiaire d'un masque (20) -représenté sur la figure 1 par un trait mixte- ne mettant à découvert que les zones de la couche où les résistances (11) sont à ménager, on implante dans ces zones de matériau polycristallin des ions inactifs en quantité et avec une énergie suffisantes pour atteindre la valeur de résistance souhaitée. Le dopage des ions actifs dans le matériau semiconducteur peut être fait par diffusion au moment du dépôt de ce matériau, ou postérieurement au dépôt, ou par implantation postérieurement au dépôt du matériau. De préférence, les ions inactifs appartiendront à la famille des gaz rares, tels que l'argon.

La figure 3 présente un graphe illustrant les variations de la résistivité (R) en fonction du dosage (d) d'ions implantés par centimètre carré selon un exemple de réalisation conforme à l'invention. Selon cet exemple, le corps était du silicium polycristallin de 0,4 micromètre d'épaisseur déposé sous vapeur chimique à basse pression à 630°C par le procédé dit LPCVD (Low Pressure Chemical Vapor Deposition). Des ions actifs d'arsenic ont d'abord été implantés dans tout le matériau pour le rendre très conducteur, à une dose de $5 \cdot 10^{15}$ par centimètre carré sous 130 keV. Des ions inactifs d'argon ont ensuite été implantés à 180 keV à doses variables comme indiqué suivant l'axe des abscisses du graphe de la figure 3, le recuit ayant eu lieu sous azote à 1.050°C pendant 30 minutes. Les échelles en abscisses et en ordonnées sont logarithmiques, les valeurs indiquées en abscisses correspondant à des doses d'ions d'argon (d) variant de 10^{15} à 10^{17} par centimètre carré, auxquelles correspond des valeurs de résistivité variant de l'ordre de 0,01 ohm.cm à 1 ohm.cm. La figure 3 montre que la courbe

obtenue présente avantageusement une partie rectiligne pour des valeurs de résistance supérieures à 0,03 ohm.cm, cette ligne étant légèrement infléchiée pour des valeurs inférieures. Dans les conditions précises de cet exemple, une résistance réalisée suivant le procédé de l'invention et ayant une géométrie carrée, telle qu'illustrée à la figure 1, présentera une valeur comprise entre 250 ohms et 25 kilohms, environ. D'autre part, dans le graphe de la figure 3 où les échelles des abscisses et ordonnées sont logarithmiques, il est important de noter que la pente de la partie rectiligne de la courbe est sensiblement égale à l'unité, ce qui se traduirait dans un graphe à échelles linéaires par une courbe elle-même linéaire du type $y = ax + b$. Ceci est remarquable en comparaison des courbes représentatives du procédé antérieur, qui incorporent une composante principale du type ax^n avec n variant de 4 à 6 qui faisait que la résistance variait d'un facteur de 10^4 à 10^6 pour une simple variation d'un facteur 10 du dosage des ions. Il y a donc effectivement un grand contrôle possible du procédé pour obtenir des valeurs de résistance relativement précises. Par ailleurs, l'expérience ne révèle pratiquement pas de variation de la taille des résistances au cours de la fabrication du dispositif à circuits intégrés et se prête donc à une intégration de haute densité.

Bien entendu, l'invention n'est nullement limitée à l'exemple décrit et illustré. C'est ainsi que le matériau semiconducteur polycristallin dans une zone duquel est prévue une résistance peut être autre chose que du silicium, par exemple des composés de matériaux semiconducteurs et de métaux réfractaires, et les ions inactifs être autre chose que l'argon ou même qu'un gaz rare, pourvu qu'ils soient inactifs vis-à-vis du matériau polycristallin conformément à l'esprit de l'invention. D'autre part, compte tenu des valeurs de résistances qu'il

est maintenant possible de mettre en oeuvre, les composants peuvent être des transistors à effet de champ d'un type quelconque, ou transistors bipolaires, ou d'autres composants actifs ou passifs. Enfin, sachant que
5 toute implantation fait intervenir un recuit, les valeurs des paramètres précités du recuit n'ont été données qu'à titre d'exemple non limitatif, ces valeurs étant quand même d'autant plus significatives qu'elles sont à l'heure actuelle les plus contraignantes.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une résistance (11) dans un matériau semiconducteur polycristallin (17b), du type incluant une implantation ionique dans ce matériau, caractérisé en ce que le matériau est rendu conducteur par
5 dopage à forte dose d'ions électriquement actifs relativement au matériau, et en ce que des ions électriquement inactifs sont implantés dans une zone du matériau pour constituer ladite résistance.
- 10 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le dopage en ions actifs dans le matériau est fait par diffusion au moment du dépôt dudit matériau.
3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que
15 le dopage en ions actifs est fait par diffusion postérieurement au dépôt du matériau.
4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le dopage en ions actifs est fait par implantation
20 postérieurement au dépôt du matériau.
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les ions inactifs précités appartiennent à la famille des gaz rares.
25
6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le matériau semiconducteur polycristallin est du silicium.
- 30 7. Dispositif à circuits intégrés (10) résultant de la mise en oeuvre du procédé défini par l'une des revendications 1 à 6, du type comprenant un matériau semiconducteur polycristallin (17b) contenant des ions électriquement actifs et incluant au moins une zone constituant une
35 résistance électrique (11), caractérisé en ce que ladite

- 11 -

zone comporte des ions implantés électriquement inactifs relativement audit matériau.

5 8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que lesdits ions appartiennent à la famille des gaz rares.

9. Dispositif selon la revendication 7 ou 8, caractérisé en que le matériau semiconducteur polycristallin est du silicium.

10

10. Dispositif selon l'une des revendication 7 à 9, caractérisé en ce que le matériau (17b) constitue au moins une partie d'un réseau conducteur d'interconnexion (17) formé au-dessus d'un substrat semiconducteur cristallin
15 (12) pour relier les divers composants (14) formés dans ledit substrat.

11. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que lesdits composants comprennent des transistors à
20 effet de champ.

12. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que lesdits composants comprennent des transistors bipolaires.

