

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 13899

(54) Procédé de fabrication d'un dispositif à semi-conducteur dans une couche épitaxiale simulée.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 3). C 30 B 31/22; H 01 L 21/265.

(22) Date de dépôt..... 23 juin 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : EUA, 20 août 1979, n° 67.686.

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 9 du 27-2-1981.

(71) Déposant : GENERAL INSTRUMENT CORPORATION, résidant aux EUA.

(72) Invention de : Jagir S. Multani et Jagtar Sandhu.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Harlé et Léchopiez,
21, rue de La Rochefoucauld, 75009 Paris.

La présente invention concerne un procédé de fabrication d'un dispositif à semiconducteur, et plus particulièrement un procédé de fabrication de matières semiconductrices monocristallines comportant une couche épitaxiale simulée formée par implantation ionique.

L'utilisation de couches épitaxiales dans la fabrication de dispositifs à semiconducteur et de circuits intégrés s'est généralisée dans l'industrie depuis que les dispositifs de ce genre sont fabriqués commercialement. On utilise divers procédés pour former des couches épitaxiales. Dans un procédé communément appliqué, on commence par préparer soigneusement la surface du substrat pour éliminer les impuretés à l'échelle atomique et obtenir une surface cristallographiquement orientée ayant un degré exceptionnel de planéité. Toutefois, même si l'on prépare la surface très soigneusement, la croissance initiale d'une couche épitaxiale est souvent caractérisée par des dislocations réticulaires et d'autres imperfections. Après une préparation appropriée de la surface, on développe la couche par un procédé de dépôt de vapeur. On peut réaliser le dépôt de silicium à l'état de vapeur en réduisant par l'hydrogène le tétrachlorure de silicium, le trichlorosilane ou le silane à des températures d'environ 1000°C. Les débits et les proportions des réactifs sont habituellement très critiques ainsi qu'un réglage précis de la température pendant le processus de dépôt. En outre, il est essentiel de régler avec soin les densités de dopant introduites pendant le dépôt épitaxial.

Etant donné la nature délicate du procédé de dépôt de vapeur, les rendements obtenus dans la fabrication de pastilles épitaxiales tendent à être faibles, en grande partie à cause d'imperfections du réseau cristallin et du manque d'uniformité d'épaisseur de la couche épitaxiale d'une pastille à l'autre et d'un point à l'autre sur une même pastille. Pour cette raison, le coût des pastilles épitaxiales tend à être relativement élevé. Etant donné que les pastilles épitaxiales sont les matières premières à partir desquelles on fabrique des dispositifs à semiconducteur et des circuits intégrés, le coût des produits finaux est également accru.

En outre, il existe dans l'industrie une tendance à utiliser des couches épitaxiales plus minces. On a besoin, depuis quelque temps, d'épaisseurs épitaxiales de quelques microns ou moins. Toutefois, il est difficile de réaliser par des techniques de dépôt de vapeur des couches épitaxiales uniformes aussi minces et on n'arrivera peut-être jamais à réaliser par des procédés classiques des couches épitaxiales de 1 μ m d'épaisseur.

La présente invention a donc pour objet :

- 10 - un procédé de fabrication d'un dispositif à semi-conducteur dans un corps semiconducteur comportant une couche épitaxiale simulée;
- un procédé de formation d'une couche épitaxiale simulée sur un corps semiconducteur dans lequel il n'est plus nécessaire de régler avec précision les débits, les proportions de réactifs et les densités de dopant, ainsi qu'il est normalement nécessaire dans les procédés commerciaux de dépôt de vapeur;
- 20 - un procédé de formation d'une couche épitaxiale simulée sur un corps semiconducteur par un procédé utilisant l'implantation ionique;
- un procédé de fabrication d'une couche épitaxiale simulée sur un corps semiconducteur qui peut être mis en oeuvre sur des appareils d'implantation ionique commerciaux;
- 25 - un procédé de formation d'un corps semiconducteur comportant une couche épitaxiale simulée qui est notablement moins coûteux qu'un produit correspondant fabriqué par des procédés classiques;
- un procédé de formation d'une couche épitaxiale simulée sur un corps semiconducteur dans lequel on peut régler avec précision l'uniformité et l'épaisseur de la couche épitaxiale simulée;
- 30 - un procédé de formation d'une couche épitaxiale simulée sur un corps semiconducteur pouvant avoir une épaisseur de quelques microns ou moins;
- un procédé permettant de former une couche épitaxiale simulée sur un corps semiconducteur sans qu'il soit nécessaire de préparer avec soin la surface du substrat;

- un procédé permettant de fabriquer dans un corps semiconducteur une couche épitaxiale simulée ayant une profondeur plus uniforme, une densité de dopant plus uniforme et un plus haut degré de perfection cristallographique qu'il n'est possible normalement par les procédés commerciaux antérieurs.

Selon la présente invention, on propose un procédé de fabrication d'un dispositif à semiconducteur dans un corps semiconducteur d'un type de conductivité donné. Le procédé consiste à former une couche épitaxiale simulée d'une épaisseur donnée en dessous de la surface du corps semiconducteur. Pour former la couche épitaxiale simulée, on plante dans le corps des impuretés d'un type déterminateur de conductivité opposé au type de conductivité du corps, à une profondeur, en dessous de la surface du corps, qui est inférieure à l'épaisseur désirée de la couche épitaxiale simulée. Ensuite, on chauffe le corps semiconducteur à une température supérieure à celle où il se produit une diffusion notable des impuretés implantées. On met fin à l'application de chaleur une fois que les impuretés implantées ont diffusé, sous la surface du corps semiconducteur, à une distance approximativement égale à l'épaisseur désirée de la couche épitaxiale simulée. On dope alors des zones déterminées de la couche épitaxiale simulée pour modifier leur conductivité et former des régions de source et de drain au sein de la couche épitaxiale simulée. On forme une couche isolante à la surface du corps semiconducteur, au-dessus de la couche épitaxiale simulée, en un point situé entre les régions de source et de drain. Ensuite, on métallise des zones situées, respectivement, au-dessus de la région de la source, de la région de grain et de la couche isolante, pour former des électrodes.

Il est préférable de réparer les dommages du réseau et d'activer les impuretés implantées avant de chauffer le corps semiconducteur pour diffuser l'impureté implantée. Dans ce mode d'exécution, le procédé comporte une étape supplémentaire de chauffage dans laquelle on chauffe le corps semiconducteur à une température inférieure à celle où il se produit une diffusion notable des impuretés implantées, pour

réparer les dommages du réseau et activer les impuretés implantées.

De préférence, l'implantation des impuretés s'effectue à travers une mince couche d'oxyde formée à la surface du corps semiconducteur. L'implantation à travers une
5 mince couche d'oxyde élimine le dommage superficiel qui se produit normalement quand on implante des impuretés à de grandes énergies d'accélération.

Pour atteindre les buts ci-dessus ainsi que tous autres
10 buts qui pourront apparaître ci-après, l'invention propose un procédé de fabrication d'un dispositif à semiconducteur dans un corps semiconducteur comportant une couche épitaxiale simulée, procédé qui est décrit ci-après en référence aux dessins annexés sur lesquels les mêmes symboles de référence
15 ce désignent des parties semblables :

Fig. 1 est une coupe d'un corps semiconducteur préparé à subir le procédé de l'invention.

Fig. 2 est une coupe du corps semiconducteur une fois
20 que des impuretés ont été implantées en dessous de sa surface.

Fig. 3 est une coupe du corps semiconducteur tel qu'il apparaît une fois que la couche épitaxiale simulée a été formée selon l'invention.

Fig. 4 est une coupe du corps semiconducteur une fois
25 que des régions de source et de drain ont été formées dans la couche épitaxiale simulée.

Fig. 5 est une coupe du corps semiconducteur tel qu'il apparaît une fois que l'isolant de porte a été formé sur sa surface et

30 Fig. 6 est une coupe du dispositif à semiconducteur terminé.

La présente invention est applicable à la fabrication de dispositifs à semiconducteur dans des corps semiconducteurs de diverses matières semiconductrices connues comme
35 le silicium, le germanium, l'arséniure de gallium et l'arséniure-phosphore de gallium. Des impuretés déterminatrices du type de conductivité qui sont propres à être implantées dans chacun des différents types de matières semi-conductrices.

ces sont bien connues ainsi que les coefficients de diffusion des diverses impuretés. A titre d'exemple, on illustrera l'invention par un exemple dans lequel on implante des ions bore dans du silicium de type n pour former une couche épitaxiale simulée de type p. Toutefois, il est entendu que ces matières sont choisies seulement à titre d'exemple et que l'invention ne doit pas être interprétée comme limitée à celles-ci.

En outre, l'exemple du procédé de l'invention que l'on a choisi pour l'illustrer décrit la formation d'une couche épitaxiale simulée d'environ 12 μm d'épaisseur. On a choisi en conséquence les énergies d'implantation, le dosage d'impuretés et les paramètres de diffusion. Toutefois, il est entendu que ces valeurs sont déterminées en fonction des matières choisies, de l'impureté implantée et de la profondeur particulière de la couche épitaxiale simulée désirée et ne doivent pas être interprétées comme limitant l'invention.

Comme le montre la figure 1, le procédé part d'un corps ou pastille de silicium du type n, 10, présentant une surface pratiquement plane 12. Il est préférable d'oxyder thermiquement le corps 10 pour former sur toute sa surface 12 une couche relativement mince de dioxyde de silicium 14. De préférence, la couche de dioxyde de silicium 14 a une épaisseur d'environ 500 Å. Le rôle de la couche de dioxyde de silicium 14 est d'empêcher le dommage physique normalement subi par la surface 12 du corps 10 pendant l'implantation ionique à de grandes énergies d'accélération.

Sans aucune opération de masquage photolithographique, on implante dans toute la surface du corps semiconducteur 10 une impureté ayant un type déterminateur de conductivité qui est opposé au type de conductivité du corps 10. Par exemple, on peut utiliser le bore qui aboutit à une couche de type p. Une dose d'implantation typique de $3,0 \times 10^{12} / \text{cm}^2$ à environ 200 keV est apparue appropriée.

On implante le bore à une profondeur, en dessous de la surface 12 du corps 14, qui est notablement inférieure à l'épaisseur désirée de la couche épitaxiale simulée. Pour

les paramètres d'implantation indiqués plus haut, l'implantation de bore aura une concentration maximale à environ 0,02 μm en dessous de la surface 12 avec une limite ou périphérie inférieure à environ 0,05 μm en dessous de la surface 12. Le corps apparaît ainsi tel qu'il est représenté sur la figure 2, la couche de bore implanté étant désignée par la référence 16.

Une fois que l'étape d'implantation est achevée, on nettoie le corps semiconducteur avec un mélange chaud d'acides sulfurique et nitrique et on le rince à l'eau désionisée. Puis on soumet de préférence le corps semiconducteur nettoyé à un court traitement thermique d'environ 30 minutes à 950°C pour réparer le dommage au réseau et activer les ions bore implantés. Il faut noter que le traitement thermique visant à réparer le dommage au réseau et à activer l'impureté implantée se fait à une température notablement inférieure à celle où il se produit une diffusion notable de l'impureté implantée. En pareil cas, étant donné que le bore a une température de diffusion d'environ 1200°C, on choisit une température notablement inférieure à cette valeur.

On soumet alors le corps semiconducteur à un traitement thermique poussé qui dure environ 12 heures à environ 1200 °C dans un milieu oxydant formé de O_2 seulement ou d'un mélange de celui-ci et d'azote, pour provoquer une diffusion notable des ions bore implantés. Les paramètres de cette étape de diffusion sont choisis en fonction de la concentration superficielle d'impuretés désirée et de l'épaisseur désirée de la couche épitaxiale simulée formée. Les paramètres choisis à titre d'exemple aboutissent à une couche épitaxiale simulée d'environ 12 μm d'épaisseur. Le corps semiconducteur présente alors l'apparence indiquée par la figure 3 où la référence 18 désigne la couche épitaxiale simulée formée selon l'invention.

Une fois que la couche épitaxiale simulée 18 a été formée, en dessous de la surface 12 du corps semiconducteur 10, on traite le corps 10 de façon classique pour y fabriquer un dispositif à semiconducteur. Par des techniques photo-

lithographiques classiques, on forme à la surface 12 du corps semiconducteur 10 un masque 20 présentant des ouvertures au-dessus des portions de la couche épitaxiale simulée 18 où il s'agit de former des régions de source et de drain. On forme alors les régions de source 22 et de drain 24 dans la couche épitaxiale simulée 18, de toute manière connue, par exemple par diffusion ou implantation ionique d'un dopant de type n. Après la formation des régions de source 22 et de drain 24, le corps semiconducteur 10 présente l'apparence de la figure 4.

Une fois que l'on a formé les régions de source 22 et de drain 24, on enlève le masque 20 et on développe ou on dépose, sur la surface 12 du corps semiconducteur 10, une couche isolante relativement mince composée de dioxyde de silicium ou corps similaire. Ensuite, par un deuxième processus photolithographique, on enlève la couche isolante de toutes les zones de la surface 12 excepté la zone située au-dessus du canal du dispositif à semiconducteur qui s'étend entre les régions de source 22 et de drain 24. De cette manière, on forme l'isolant de porte 26. Le corps semiconducteur présente alors l'apparence de la figure 5.

On soumet alors le corps semiconducteur à un processus de métallisation dans lequel on dépose une mince couche de métal sur la surface du corps et ensuite on l'enlève sélectivement par un troisième processus photolithographique classique de manière à former une électrode de source 28 au-dessus de la région de source 22, une électrode de drain 30 au-dessus de la région de drain 24 et une électrode de porte 32 à la surface supérieure de la couche isolante 26. On peut alors relier des conducteurs aux électrodes. Le corps semiconducteur présente alors l'apparence de la figure 6.

On comprend que le dispositif à semiconducteur fabriqué par le procédé de l'invention est identique aux dispositifs correspondants fabriqués sur des corps semiconducteurs où l'on forme la couche épitaxiale par une technique classique, si ce n'est que dans le procédé de l'invention, on forme les régions de source et de drain dans une couche épitaxiale simulée créée par implantation ionique et diffusion au

lieu que ce soit par des techniques classiques de dépôt de vapeur d'agent chimique. La couche épitaxiale simulée ainsi formée a des propriétés physiques et électriques identiques à celles d'une couche épitaxiale formée par des techniques classiques de dépôt de vapeur mais il n'est plus nécessaire de préparer soigneusement la surface du substrat, de surveiller strictement les débits, les proportions de réactifs et la température comme dans les procédés classiques de dépôt d'agents chimiques. La couche épitaxiale simulée formée par le procédé de l'invention a une profondeur plus uniforme, une densité de dopant plus uniforme et un plus haut degré de perfection cristallographique qu'il n'est possible normalement par des techniques classiques. En outre, tout le processus de formation de la couche épitaxiale simulée peut s'exécuter avec des appareils classiques d'implantation ionique. Il est possible aussi, par le procédé de l'invention, d'obtenir une couche épitaxiale simulée plus mince que celles que l'on peut obtenir par des techniques classiques.

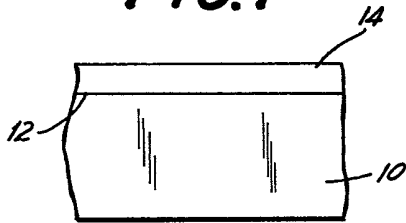
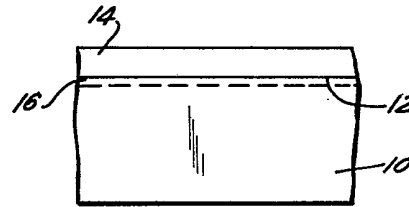
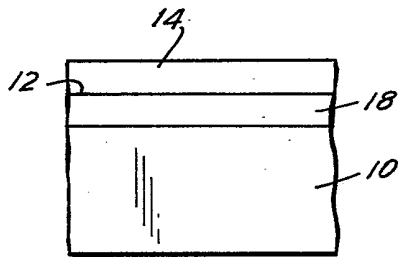
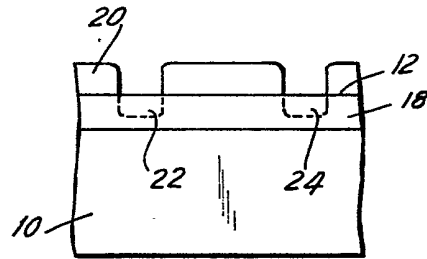
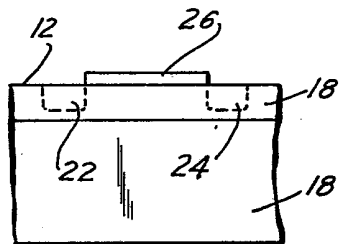
On a décrit ici aux fins d'illustration un seul mode préféré de réalisation de l'invention, mais il est évident que l'on pourrait y apporter de nombreuses modifications et variations, et il est entendu que l'invention s'étend à ces variantes.

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'un dispositif à semiconducteur dans un corps semiconducteur d'un type de conductivité donné, caractérisé en ce qu'il consiste :

- 5 (a) à former une couche épitaxiale simulée (18) d'une épaisseur donnée en dessous de la surface du corps semiconducteur (I) en implantant dans le corps (10) des impuretés d'un type déterminateur de conductivité opposé au type de conductivité du corps, à une profondeur (16), en dessous de
10 la surface (14) du corps (10), qui est inférieure à l'épaisseur désirée de la couche épitaxiale simulée (18), (II) en chauffant le corps semiconducteur (10) à une température supérieure à celle où il se produit une diffusion notable des impuretés implantées, et (III) en mettant fin à l'appli-
15 cation de chaleur au corps semiconducteur (10) une fois que les impuretés implantées ont diffusé, sous la surface du corps semiconducteur, à une distance approximativement égale à l'épaisseur désirée de la couche épitaxiale simulée (18).
- 20 (b) à doper des zones déterminées (22,24) de la couche épitaxiale simulée (18) pour modifier leur conductivité et former des régions de source (22) et de drain (24) au sein de la couche épitaxiale simulée (18),
- (c) à former une couche isolante (26) à la surface (12)
25 du corps semiconducteur (10), au-dessus de la couche épitaxiale simulée (18), en un point situé entre les régions de source (22) et de drain (24), et
- (d) à former des zones métallisées (28,30, 32) reliées fonctionnellement, respectivement, à la région de source (22),
30 à la région de drain (24) et à la couche isolante (26).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'étape de formation de la couche épitaxiale simulée (18) comprend en outre une étape consistant à chauffer le corps semiconducteur (10) à une température inférieure à
35 celle où il se produit une diffusion notable des impuretés implantées, pour réparer le dommage au réseau et activer les impuretés implantées, cette étape s'effectuant avant l'étape qui consiste à chauffer le corps semiconducteur (10) pour provoquer la diffusion de l'impureté implantée.

FIG. 1**FIG. 2****FIG. 3****FIG. 4****FIG. 5****FIG. 6**