

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 21 décembre 1984.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 26 du 27 juin 1986.

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

⑦1 Demandeur(s) : Société dite : THOMSON-CSF. — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Thierry Girma et Paul Jay.

⑦3 Titulaire(s) :

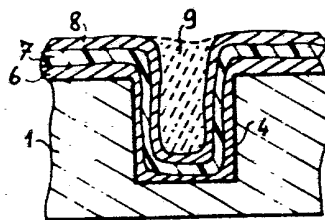
⑦4 Mandataire(s) : Françoise Thrierr, SCPI.

⑤4 Elément capacitif intégré sur une pastille de circuit intégré, et procédé de réalisation de cet élément capacitif.

⑤7 L'invention concerne une capacité intégrée sur une pas-
tille de circuit intégré.

De façon à occuper moins de place à la surface de la
pastille du circuit, dont le substrat 1 est semi-isolant ou iso-
lant, la capacité est enterrée verticalement dans le substrat 1,
dans un sillon 4 plus profond que large. La capacité est
formée par une couche 6 d'un premier métal oxydable (pre-
mière armature), une couche 7 de l'oxyde de ce premier métal
(diélectrique), et une couche 8 d'un second métal (deuxième
armature). La capacité est réalisée par deux dépôts métalli-
ques, la couche 5 du premier métal étant épaisse (≥ 2000 Å)
et partiellement oxydée, préférentiellement par anodisation,
pour former une couche 7 de diélectrique, avant le dépôt de la
seconde couche métallique 8. La valeur voulue pour la capacité
est obtenue en formant une série de sillons 4, chacun consti-
tuant un élément capacitif.

Application aux circuits intégrés hyperfréquences, nécessi-
tant des capacités de faible valeur.



ELEMENT CAPACITIF INTEGRE SUR UNE PASTILLE
DE CIRCUIT INTEGRE, ET PROCEDE DE REALISATION DE CET
ELEMENT CAPACITIF

La présente invention concerne un élément capacitif, de type métal-isolant-métal, intégré dans le cristal d'un circuit intégré, et dont la faible surface occupée sur ce cristal permet d'augmenter la densité d'intégration du circuit intégré. Cet élément capacitif possède une surface effective de capacité plus grande que la surface géométrique qu'il occupe sur le cristal semiconducteur, parce qu'il est enterré verticalement dans le substrat. L'invention concerne également le procédé de réalisation de cet élément capacitif.

Pour qu'une capacité puisse être intégrée dans un circuit intégré, il est obligatoire qu'elle soit de très petites dimensions géométriques, à l'échelle de la pastille de circuit intégré, ce qui fait que l'invention concerne essentiellement les circuits intégrés hyperfréquences dans lesquels les capacités sont de très faibles valeurs. Les supports de ces circuits intégrés hyperfréquences sont actuellement en matériau III-V, tels que GaAs, InP, ou des alliages ternaires ou quaternaires de Ga, As, Al, Sb, In... etc. Cependant l'invention peut également être appliquée aux circuits intégrés sur silicium. Dans tous les cas, il est nécessaire que la région du substrat qui supporte l'élément capacitif soit isolante ou semi-isolante : GaAs intrinsèque, semi-isolant par fabrication, ou silicium oxydé en surface pour le rendre isolant puisqu'on ne sait pas réaliser des substrats de silicium isolant.

L'élément capacitif selon l'invention est réalisé verticalement par rapport au substrat au lieu d'être réalisé horizontalement selon l'art connu. Il est caractérisé par sa forme géométrique qui est un sillon creusé dans le substrat, pour chaque élément capacitif, ou une série de sillons formant une grecque si la capacité d'un seul élément capacitif dans un seul sillon n'est pas suffisante par rapport à la

capacité qui est nécessaire pour le circuit intégré. Il est en outre caractérisé par sa structure : la première armature de l'élément capacitif est formée par un premier métal, choisi parmi ceux qui fournissent un oxyde par oxydation anodique ou par plasma d'oxygène ; le diélectrique est formé par une couche d'oxyde de ce premier métal, et la deuxième armature est formée par un second métal, qui n'est pas obligatoirement le même que le premier métal mais peut au contraire être inoxydable.

De façon plus précise l'invention a pour objet un élément capacitif intégré sur une pastille de circuit intégré, dont le substrat est en un matériau semi-isolant ou isolant, caractérisé, en premier lieu, en ce que la majeure partie de l'élément capacitif est enterrée verticalement dans le substrat dans au moins un sillon plus profond que large, creusé dans le substrat, et, en second lieu, en ce que la première armature de l'élément capacitif est formée par une couche d'un premier métal oxydable, le diélectrique est formé par une couche de l'oxyde du premier métal, et la seconde armature est formée par une couche d'un second métal.

L'invention sera mieux comprise par la description suivante d'un exemple de réalisation d'éléments capacitifs, ainsi que par la description de son procédé de réalisation qui explique mieux la structure de l'élément capacitif, ces descriptions s'appuyant sur les figures jointes en annexe qui représentent :

- figure 1 : coupe du masque de photorésist pour la gravure des sillons d'un ensemble d'éléments capacitifs selon l'invention ;
- figure 2 : coupe d'un ensemble de sillons gravés dans un substrat ;
- figure 3 : coupe d'un sillon dans lequel est déposée la première couche métallique ;
- figure 4 : coupe du sillon de la figure 3, après oxydation de la première couche de métal ;
- figure 5 : courbes de V et I en fonction du temps pour l'oxydation anodique de la première couche de métal ;

- figure 6 : coupe du sillon de la figure 4 après dépôt de la deuxième couche de métal, constituant ainsi l'élément capacitif selon l'invention ;

5 - figure 7 : représentation de deux façons pour prendre le contact électrique sur l'armature supérieure de l'élément capacitif selon l'invention.

L'invention concerne donc un élément capacitif réalisé dans un sillon creusé dans le cristal d'un circuit intégré, cet élément capacitif étant constitué par deux couches métalliques, dont la première, déposée directement sur le cristal semiconducteur, est oxydée de façon à former une couche d'oxyde métallique qui constitue le diélectrique de la capacité. Cependant la description du procédé de réalisation de cet élément capacitif permettra de mieux en comprendre la structure, et cette description s'appuiera à titre d'exemple non limitatif sur un substrat de GaAs.

10 Ainsi, le procédé de réalisation de l'élément capacitif commence, tel que représenté en figure 1, par le dépôt d'un masque de photorésist 2 sur une pastille de substrat semi-isolant 1. Dans la couche de photorésist 2 sont gravées, par des moyens de masquage connus, des fentes 3 qui correspondent aux sillons qui sont à creuser dans le substrat 1. Les détails de technique de réalisation de ce masque de photorésist font partie de l'art connu et nécessitent selon les cas l'emploi de plusieurs couches de résine, si nécessaire, et l'orientation correcte des fentes 3 par rapport à l'orientation du réseau cristallin du substrat semiconducteur 1.

25 En figure 2, des sillons 4 sont gravés dans le substrat 1, par des techniques de gravures anisotropiques, telles l'usinage ionique ou la gravure sèche par attaque en milieu plasma. Les dimensions des sillons 4 sont, à titre d'exemple, 5 microns de profondeur, 1 micron de largeur, avec un espacement de 1 micron entre sillons. C'est pourquoi, bien que l'invention concerne un élément capacitif unitaire, la réalisation englobe plus généralement un réseau de plusieurs sillons étroits et profonds pour obtenir la valeur de capacité requise par le circuit électrique. Lorsque les sillons 4 ont été

creusés par gravure anisotropique, le masque de résine 2 est ensuite éliminé.

La figure 3 représente la coupe de l'un des sillons 4 de la figure 2. Une couche d'un premier métal 5 est déposée dans ce sillon, ainsi que sur la surface supérieure du substrat 1 par un dépôt isotropique tel que la pulvérisation cathodique. On sait que la pulvérisation cathodique dépose sur les parois du sillon 4 une épaisseur de métal qui est sensiblement la même que celle qui est déposée dans le fond du sillon 4 ou sur la surface supérieure du substrat. Ce premier métal est choisi parmi les métaux qui s'oxydent soit par oxydation anodique, soit par plasma d'oxygène, et donnent des oxydes de constante diélectrique élevée : les métaux préférés sont l'aluminium, le tantale, le niobium. L'épaisseur de la couche 5 de ce premier métal est d'au moins 2000 Angstroms. Il n'est pas nécessaire que l'épaisseur de cette couche 5 soit homogène, mais qu'elle soit toujours plus épaisse qu'une valeur inférieure qui dépend de l'épaisseur d'oxyde recherchée pour former le condensateur. Cette valeur inférieure est telle que, après oxydation partielle de la couche 5 du premier métal, il reste toujours une partie de la couche 5 qui soit métallique de façon à former la première armature de la capacité.

La couche 5 du premier métal est alors oxydée et donne, comme représentée en figure 4, une couche 6 du premier métal, de moindre épaisseur que ne l'était la couche 5 avant oxydation, ladite couche 6 étant recouverte d'une couche 7 d'oxyde du premier métal. L'oxydation peut se faire soit par oxydation anodique, en bain, avec une cathode de platine, soit par un plasma d'oxygène. Cependant l'oxydation anodique est préférable parce que l'épaisseur d'oxyde formée est une fonction de la tension appliquée sur la cathode. Par conséquent, l'épaisseur de l'oxyde 7 ne dépend que de la tension appliquée pour l'anodisation et une épaisseur constante de la couche 7 est obtenue même sur les parois du sillon 4, là où la métallisation est, généralement, moins régulière que sur les surfaces horizontales du cristal semiconducteur et du fond du sillon 4. La tension

d'anodisation est choisie pour que l'oxyde ait une épaisseur conforme à l'utilisation prévue pour la capacité, et qui peut être par exemple de 1000 angstroms pour la couche d'oxyde 7 si la couche 5 de premier métal avait 2000 angstroms d'épaisseur au moment du dépôt.

5

La figure 5 représente les deux courbes de tension V et d'intensité I en fonction du temps au cours de l'oxydation anodique de métaux tels que l'aluminium, le tantale et le niobium. Ces courbes montrent que, lorsqu'on applique la tension, au début de l'opération d'oxydation anodique, la tension croît régulièrement avec le temps jusqu'à atteindre une valeur qu'elle ne dépasse plus par la suite. Simultanément l'intensité I a une valeur qui reste constante tant que la tension V croît, puis l'intensité I tend vers 0, dans le temps, pendant que la tension V reste constante à son maximum. Lorsqu'on a atteint T_1 qui correspond à la stabilité de la tension V et à la décroissance de l'intensité I, la poursuite de l'opération anodique ne sert absolument pas à augmenter l'épaisseur de la couche 7 d'oxyde, mais peut être utile pour assurer une régularisation de cette couche, par exemple en bouchant des trous ou en lissant sa surface. De toutes façons, l'épaisseur de la couche d'oxyde 7 étant fixée par la tension d'oxydation anodique, on sait que si une tension de 150 volts par exemple a été utilisée l'élément capacitif tient en tension jusqu'à une valeur légèrement inférieure à la tension de formation de l'oxyde : par exemple, dans ce cas il tient jusqu'à 120 volts.

10

15

20

25

En figure 6, l'élément capacitif est complété par le dépôt d'une couche 8 d'un second métal également déposé par pulvérisation cathodique afin de bien couvrir les surfaces de la couche 7 d'oxyde, en particulier la surface latérale dans le sillon 4. La couche 8 du second métal forme donc la seconde armature d'une capacité, dont la première armature est la couche 6 de premier métal et dont le diélectrique est la couche 7 de l'oxyde du premier métal.

30

Bien entendu, les limites des différentes couches métalliques et d'oxyde sur la face supérieure du cristal 1 de circuit intégré sont

définis au cours des opérations précédentes par masquage et par lithographie, afin que la couche 8 de second métal ne vienne pas court-circuiter la couche 6 de premier métal. Ces opérations de définitions en surface du cristal 1 des métallisations font partie des connaissances de l'homme de l'art, de même que les métallisations de prise de contact qui sont nécessaires pour que l'élément capacitif selon l'invention soit utilisable dans un circuit.

Cependant la couche 8 de second métal peut être avantageusement rechargée par un procédé électrolithique, de façon à complètement obstruer le sillon 4, tel que cela est représenté comme une possibilité par des pointillés 9 sur la figure 6. En effet, si la seconde armature 8 de l'élément capacitif est ainsi rechargée en métal et que le sillon 4 se trouve totalement obstrué par du métal, cela diminue la résistivité du condensateur et amène une faible résistance électrique pour cette armature 8.

La figure 7 donne la représentation de deux façons différentes de prendre le contact électrique sur la seconde armature de l'élément capacitif, c'est-à-dire sur l'armature supérieure, couche métallique 8. Une première prise de contact est représentée sur la partie droite de cette figure. Si l'épaisseur de l'oxyde 7 du premier métal le permet, c'est-à-dire si la tension de service ou l'épaisseur de diélectrique requise pour une certaine capacité conviennent, la couche d'oxyde 7 enveloppe correctement la première couche métallique 6, à son extrémité 10 et dans ces conditions la deuxième couche métallique 8 peut envelopper correctement la couche d'oxyde 7, sans qu'il y ait de rupture au franchissement de la marche 10 - ainsi il est possible de réaliser un plot de prise de contact 11 sur la face supérieure de la pastille de circuit intégré ce plot étant du même métal que la couche 8 du second métal.

Par contre si l'épaisseur de la couche d'oxyde 7 est trop importante, le risque est grand que la couche d'oxyde 7 casse ou s'amincisse lorsqu'elle franchit la marche 10 constituée par la couche 6 du premier métal. Dans ce cas il est préférable d'assurer la prise de contact électrique sur la couche 8 du second métal au

moyen de ce que l'on appelle un pont d'air 12, qui est en fait une métallisation formant un pont et laissant un espace d'air entre elle et la pastille semiconductrice. Ce pont d'air repose par une extrémité sur la couche 8 du premier métal et par une seconde extrémité sur une métallisation 13 de prise de contact.

5

La capacité d'un élément capacitif tel que décrit est très faible, puisque sa longueur développée, pour un sillon de 5x1 microns, est de 11 microns, tandis que la longueur du sillon, mesurée en surface de la pastille de circuit intégré, ne peut pas elle-même être importante, sur une pastille elle-même petite. C'est pourquoi la capacité selon l'invention est préférentiellement réalisée sous forme d'une grecque, telle que représentée en figure 2, qui regroupe une pluralité d'éléments capacitifs. Dans un tel cas, les couches métalliques et d'oxyde métallique recouvrent les parois des sillons mais aussi la surface supérieure du substrat comprise entre les sillons, de façon à assurer la continuité électrique. La valeur de capacité désirée est alors obtenue en mettant en série un certain nombre d'éléments capacitifs -l'association géométrique en série correspond à un montage électrique en parallèle de petites capacités- Les prises de contacts électriques ne sont dans ce cas réalisées qu'une seule fois pour l'ensemble des sillons.

10

15

20

25

En raison des faibles valeurs de capacités obtenues, l'invention s'applique de préférence aux circuits intégrés hyperfréquences sur GaAs ou matériaux correspondants, mais elle trouve également des applications pour les capacités de découplage ou de déphasage, de faible valeur, dans les circuits intégrés sur silicium.

30

L'invention n'est pas limitée au mode de réalisation décrit et comprend les équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs combinaisons si celles-ci sont effectuées suivant l'esprit de l'invention et mises en oeuvre dans le cadre des revendications qui suivent.

REVENDICATIONS

1. Elément capacitif intégré sur une pastille de circuit intégré, dont le substrat est en un matériau semi-isolant ou isolant, caractérisé, en premier lieu, en ce que la majeure partie de l'élément capacitif est enterrée verticalement dans le substrat (1) dans au moins un
5 sillon (4) plus profond que large, creusé dans le substrat (1), et, en second lieu, en ce que la première armature de l'élément capacitif est formée par une couche (6) d'un premier métal oxydable, le diélectrique est formé par une couche (7) de l'oxyde du premier métal, et la seconde armature est formée par une couche (8) d'un
10 second métal.

2. Elément capacitif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la première armature (7) est constituée par un métal donnant un oxyde par oxydation anodique, tel que Al, Ta, Nb.

3. Elément capacitif selon la revendication 1, caractérisé en
15 ce que, après formation de l'élément capacitif dans le sillon (4), une recharge électrolytique de métal (9), remplissant le sillon (4), diminue la résistivité de l'élément capacitif.

4. Elément capacitif selon la revendication 1, caractérisé en
20 ce que la couche (6) du premier métal s'étend partiellement sur la face supérieure du substrat (1), pour prise de contact électrique sur la première armature.

5. Elément capacitif selon la revendication 4, caractérisé en
25 ce que la couche (7) de diélectrique recouvre, en face supérieure du substrat (1), la couche (6) du premier métal, et forme un débordement (10) permettant à la couche (8) du second métal de franchir la marche de la couche (6) du premier métal, la couche (8) du second

métal formant sur la face supérieure du substrat (1) une prise de contact électrique (11) sur la deuxième armature.

5 6. Elément capacitif selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'un "pont d'air" constitué par une structure métallique (12), dont une extrémité est en contact avec la couche (8) du second métal et l'autre extrémité est en contact avec une métallisation (13) supportée par le substrat (1), forme une prise de contact électrique sur la deuxième armature.

10 7. Procédé de réalisation d'un élément capacitif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est formé par deux couches métalliques (5 et 8), la première couche (5), épaisse, étant partiellement oxydée pour former une couche (7) d'oxyde qui constitue le diélectrique de l'élément capacitif.

15 8. Procédé de réalisation d'une élément capacitif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte la suite d'opérations suivantes :

- sur un substrat (1) en matériau semi-isolant ou isolant, dépôt d'un masque de photorésist (2) comportant au moins un motif (3) dégageant le substrat (1),

20 - gravure anisotropique du substrat (1) pour former au moins un sillon (4), plus profond que large, et élimination du masque de photorésist (2);

- dépôt dans le sillon (4) et, partiellement, sur le substrat (1) par un procédé isotropique, d'une couche (5) d'un premier métal, oxydable,

25 - oxydation partielle de la couche (5) du premier métal, laissant une couche (6) de métal et formant une couche (7) d'oxyde du premier métal,

30 - dépôt sur la couche d'oxyde (7), par une procédé isotropique d'une couche (8) d'une second métal,

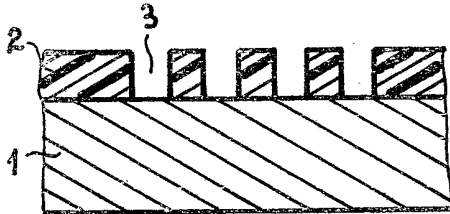
- formation des prises de contacts électriques (11, 12, 13) sur les couches (6, 8) métalliques.

5 9. Procédé de réalisation d'un élément capacitif selon la revendication 8, caractérisé en ce que la couche d'oxyde (7) du premier métal est obtenue par oxydation anodique.

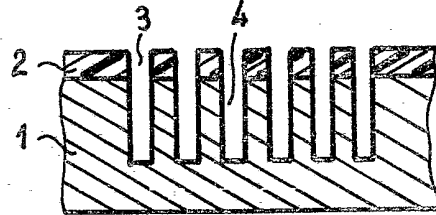
10. Procédé de réalisation d'un élément capacitif selon la revendication 9, caractérisé en ce que l'épaisseur formée d'oxyde et la tenue en tension de l'élément capacitif dépendent uniquement de la tension d'anodisation.

1/1

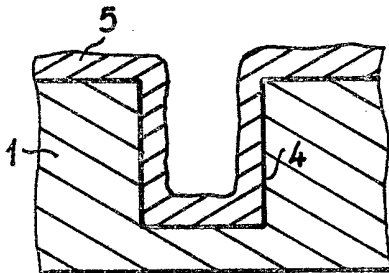
FIG_1



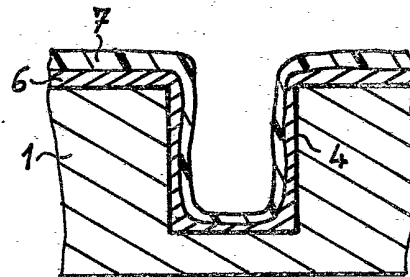
FIG_2



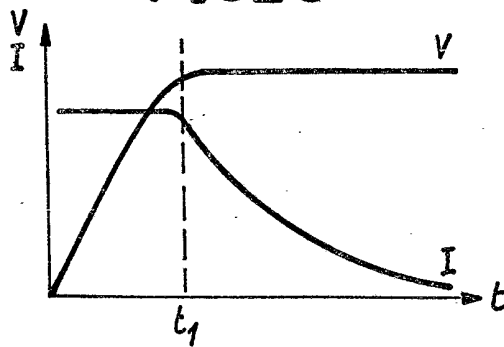
FIG_3



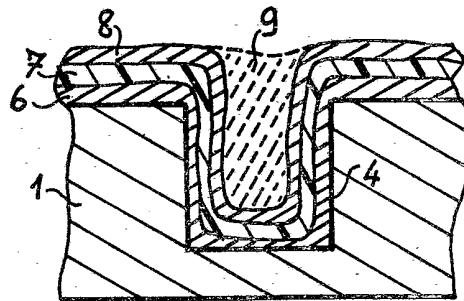
FIG_4



FIG_5



FIG_6



FIG_7

