

12 **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

21 Numéro de dépôt: 85401965.0

51 Int. Cl.⁴: **H 01 C 17/12**

22 Date de dépôt: 08.10.85

30 Priorité: 09.10.84 FR 8415492

43 Date de publication de la demande:
23.04.86 Bulletin 86/17

64 Etats contractants désignés:
DE GB NL

71 Demandeur: THOMSON-CSF
173, Boulevard Haussmann
F-75379 Paris Cedex 08(FR)

72 Inventeur: Kohn, Erhard
THOMSON-CSF SCPI 173, bld Haussmann
F-75379 Paris Cedex 08(FR)

72 Inventeur: Cathelin, Michel
THOMSON-CSF SCPI 173, bld Haussmann
F-75379 Paris Cedex 08(FR)

72 Inventeur: Phan, Pham Tien
THOMSON-CSF SCPI 173, bld Haussmann
F-75379 Paris Cedex 08(FR)

74 Mandataire: Taboureau, James et al,
THOMSON-CSF SCPI 19, avenue de Messine
F-75008 Paris(FR)

64 Procédé de réalisation de résistance en couche mince, et résistance obtenue par ce procédé.

57 L'invention concerne les résistances en couche mince, de valeurs élevées, déposées sur des substrats de circuits intégrés ou de circuits hybrides hyperfréquences.

Le procédé selon l'invention utilise comme matériau de départ un siliciure métallique, de forme générale $M_x Si_y$ ou $M_x M'_x M''_x Si_y$. Le siliciure métallique est nitruré, dans l'appareil de pulvérisation par un plasma d'azote dans l'argon. Le dépôt obtenu comporte un mélange de métal, résistif, et de nitrure de silicium $Si_x N_b$, isolant. La concentration d'azote dans l'argon, les proportions de métal (x) et de silicium (y) dans le siliciure et de la densité de puissance de la source d'évaporation, en réglant l'activité du plasma, permettent de régler la résistivité de la couche mince.

Application aux circuits intégrés (Si, Ga As) et aux circuits hybrides hyperfréquences, sur $Al_2 O_3$ ou Be O.

PROCEDE DE REALISATION DE RESISTANCE EN COUCHE MINCE,
ET RESISTANCE OBTENUE PAR CE PROCEDE

La présente invention concerne un procédé de réalisation de résistances de valeurs élevées, en couche mince, obtenues par pulvérisation. Ces résistances sont destinées plus particulièrement à la fabrication de circuits intégrés, sur substrat tel que le silicium ou les matériaux du groupe III-V comme le GaAs, ou à la fabrication de circuits hybrides, notamment en hyperfréquence, sur des substrats tels que l'alumine ou l'oxyde de beryllium. Le procédé de réalisation selon l'invention permet de déposer sur ces substrats des résistances dont la valeur est élevée dans une grande gamme de valeurs.

Les résistances en couche mince sont généralement obtenues par dépôt d'un métal ou d'un mélange de métaux, sous vide, le ou les constituants déposés ayant en soi des résistivités élevées : la résistivité de la couche mince obtenue est voisine de la résistivité du métal ou du mélange de métaux, alliage ou eutectique, car il n'y a pas de modification chimique du matériau de départ au cours du dépôt de la couche mince. La gamme de résistivité est en conséquence limitée par les conditions physiques du dépôt, et par l'épaisseur de la couche réalisée.

Selon l'invention une très large gamme de résistivité est obtenue, pour un même matériau, en utilisant comme matériau de départ un siliciure métallique qui est plus ou moins nitruré au cours de l'opération de dépôt de la couche mince, en présence d'un plasma, une partie d'azote dans l'argon. Le dépôt obtenu contient un métal mélangé à un nitrure de silicium de formule générale $Si_a N_b$, qui est un diélectrique, c'est-à-dire un isolant, dont la proportion dans le mélange et la composition — les indices a et b — sont en relation directe avec la proportion d'azote dans le plasma. Par conséquent, modifier un seul paramètre des conditions de dépôt, c'est-à-dire la

pression d'azote dans le plasma, permet de régler la résistivité de la couche résistive déposée : l'alliage Si_aN_b dilue le métal.

5 De façon plus précise l'invention concerne un procédé de réalisation de résistances en couche mince, déposées sur un substrat de circuit intégré ou de circuit hybride, en appareil de pulvérisation, caractérisé en ce que le matériau de départ est un siliciure métallique, et en ce qu'un plasma d'azote dans l'argon est introduit dans l'appareil de pulvérisation, l'azote nitrurant le siliciure métallique pour donner un dépôt comportant au moins un métal mélangé à
10 un alliage de nitrure de silicium de formule générale $(\text{Si}_a\text{N}_b)_M$.

L'invention sera mieux comprise par la description plus détaillée qui en suit, appuyée par une comparaison avec le rappel d'un procédé connu de réalisation de résistances en couche mince.

15 Les résistances en couche mince, sur circuit intégré ou circuit hybride hyperfréquences, sont actuellement et généralement obtenues par dépôt d'un métal ou d'un mélange de métaux déposés par pulvérisation cathodique, réactive ou non réactive. Les métaux choisis pour réaliser des résistances sont eux mêmes des métaux qui sont de mauvais conducteurs électriques : par exemple le nickel n'a
20 pas une bonne conductivité, de même que le chrome, et l'alliage nickel-chrome est couramment utilisé pour faire des résistances. La résistivité des couches ainsi réalisées est voisine de la résistivité du matériau massif car il n'y a pas de modification chimique du matériau de départ. Dans ces conditions, la résistivité des couches
25 minces dépend essentiellement des conditions de réalisation du dépôt, ces conditions pouvant faire varier légèrement la résistivité. Elle dépend par exemple :

- de la pression résiduelle d'oxygène ou de vapeur d'eau dans l'enceinte de métallisation, pendant le dépôt de métaux réactifs
30 avec l'oxygène et la vapeur d'eau, tels que Ti, Cr, Al... etc. Cette pression résiduelle n'est pas contrôlée et correspond à la pression partielle d'air dans une enceinte à 10^{-2} torr.

- de la pression partielle d'azote pendant la pulvérisation d'éléments simples tels que Ta, Ti, Al... etc. Cette pression partielle d'azote correspond également à une pression résiduelle d'air et la quantité d'azote présente dans l'enceinte de métallisation n'est pas
5 suffisante pour créer une nitruration des métaux déposés sous vide.

- de la vitesse de dépôt, de la puissance de la source qui évapore les métaux pour les déposer sous vide.

- de la composition des mélanges déposés.

Dans tous les cas, jusqu'à présent, la résistivité de la couche
10 métallique obtenue est toujours légèrement supérieure à celle du matériau massif, à cause des pollutions par oxygène par exemple qui oxyde les métaux pendant le dépôt. Ainsi la gamme de résistivité possible selon cette méthode de dépôt est assez faible.

S'il est nécessaire de réaliser des couches de résistivité
15 contrôlée plus importante, telles que par exemple $\rho > 100 \mu\Omega/\text{cm}$, on utilise alors le plus souvent des matériaux tels que les "CERMETS" qui sont des mélanges NiCr/SiO. La gamme de résistivité souhaitée est alors fonction du choix du rapport des quantités respectives de NiCr, qui est conducteur de l'électricité, bien que
20 résistif, et de SiO qui est un isolant.

Mais il se présente des cas d'applications spécifiques nécessitant des résistances de très fortes valeurs et permettant de dissiper une certaine puissance, toute chose étant égale par ailleurs puisqu'il s'agit de circuit intégré ou de circuit hybride hyper-
25 fréquence. Pour obtenir de telles résistances de très fortes valeurs, il n'est pas permis de diminuer par trop l'épaisseur de la couche, ce qui augmente la résistivité de la bande résistive, car il est nécessaire de respecter les limites supérieures de densité de courant. Dans ces cas on est obligé d'utiliser des couches ayant une résis-
30 tivité très élevée, par exemple en déposant des mélanges de métaux pollués avec de l'oxygène qui forme des oxydes.

On constate donc que dans l'art connu il est difficile d'avoir pour un même matériau de départ une gamme de résistivité qui soit étendue. Ainsi s'il est nécessaire de déposer différentes résistances

sur un circuit hybride, ayant des valeurs assez différentes entre elles, il devient alors obligatoire d'avoir recours à différentes technologies, imposées selon la valeur des résistances.

5 Le procédé selon l'invention permet de réaliser des résistances en couches minces dans une grande gamme de résistivité, en modifiant un seul paramètre des conditions de dépôt. Selon l'invention, on utilise un composé métallique, que l'on modifie chimiquement au cours du dépôt : en faisant varier la pression d'azote dans un plasma d'argon pendant le dépôt de la couche résistive, on
10 nitrure plus ou moins ce composé métallique. Le dépôt est alors constitué d'un métal, qui est conducteur, et d'un nitrure de silicium Si_aN_b , qui est un diélectrique. Le mélange dans des proportions variables de métal et de nitrure de silicium permet de faire varier la résistivité de la couche. L'azote est le composé le plus commode à
15 utiliser, mais d'autres molécules réactives telles que l'oxygène peuvent être utilisées pour modifier chimiquement la composition de la couche mince déposée.

Les composés utilisables dans le cadre de cette invention sont des siliciures métalliques. Ils forment parfois des mélanges bien
20 définis ayant une formule générale MSi_2 , c'est-à-dire qu'ils sont constitués de deux atomes de silicium liés à un atome de métal M. Les composés définis les plus connus et usuels sont $TaSi_2$, $MoSi_2$, WSi_2 , $TiSi_2$, qui sont stables sur silicium, et par conséquent ne réagissent pas avec le substrat d'un circuit intégré si celui-ci est en
25 silicium. Ces composés sont considérés comme des conducteurs, mais ils deviennent résistifs par nitruration.

L'invention peut aussi utiliser tout composé siliciure, sans restriction sur la composition, tel que M_xSi_y , dans lequel le rapport x/y définit la gamme de résistivité choisie.

30 Enfin et de façon plus générale, l'invention peut utiliser des siliciures poly-métalliques, de formule $M_xM'_{x'}M''_{x''}Si_y$. L'ajustement de la valeur de la résistivité est obtenue par le choix de la concentration de l'azote dans le mélange argon azote pendant le dépôt de siliciure par pulvérisation cathodique réactive. En effet la

quantité plus ou moins grande d'azote dans le mélange gazeux nitrure plus ou moins le siliciure pendant le dépôt. On obtient ainsi un dépôt amorphe comportant un métal mélangé à une certaine quantité de nitrure de silicium. Plus la quantité de nitrure de silicium est importante, plus le dépôt présente une résistivité importante. Ainsi en ajustant le rapport x/y , dans un mélange de formules $M_x Si_y$ on peut réaliser, suivant la méthode de l'invention, des couches minces ayant une résistivité faible ou plus importante, jusqu'à des valeurs élevées. Dans l'exemple $M_x Si_y$ si $y \rightarrow 0$, $\rho \simeq 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ et au contraire si $x \rightarrow 0$, $\rho \simeq 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$, puisque dans ce cas on tend vers une limite SiN qui est un diélectrique.

Le procédé a été mis en oeuvre avec un composé qui est donné à titre d'exemple : $W_x Ti_z Si_y$ dans lequel $x = 0,3$, $z = 0,7$, $y = 0,8$. Les couches déposées par pulvérisation cathodique réactive sur une cible en présence d'un plasma d'azote et d'argon, présentent une résistivité qui varie de $2 \cdot 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ à $3,5 \cdot 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ pour une concentration d'azote qui varie de 0 à 50 % dans l'argon. La variation de la résistivité avec la teneur en azote dans l'argon est donnée par le tableau ci-dessous :

$N_2\%$	0	2,5	5	10	20	30	40	50
$\cdot 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$	2	2,5	8	15	50	100	250	350

La gamme de résistivité peut être encore élargie pour un même composé de départ, par augmentation de la densité de puissance, dans l'appareil de métallisation sous vide : l'augmentation de la densité de puissance augmente l'ionisation du plasma ce qui augmente la nitruration du siliciure métallique.

L'invention, simple à mettre en oeuvre, est essentiellement utilisée dans la réalisation de circuits intégrés ou de circuits hybrides, surtout dans le domaine des hyperfréquences, sur des substrats de type GaAs ou alumine et oxyde de beryllium. Elle

0178989

6

concerne également des résistances en composants discrets, sur
substrats céramiques.

RE V E N D I C A T I O N S

1. Procédé de réalisation de résistances en couche mince, déposées sur un substrat de circuit intégré ou de circuit hybride, en appareil de pulvérisation, caractérisé en ce que le matériau de départ est un siliciure métallique, et en ce qu'un plasma d'azote dans l'argon est introduit dans l'appareil de pulvérisation, l'azote nitru-
5 rant le siliciure métallique pour donner un dépôt comportant au moins un métal mélangé à un alliage de nitrure de silicium de formule générale $(Si_a N_b)M$.

2. Procédé de réalisation de résistances selon la revendication
10 1, caractérisé en ce que le siliciure métallique est un composé défini de forme $M Si_2$, tel que $Ta Si_2$, $Mo Si_2$, $W Si_2$, $Ti Si_2$.

3. Procédé de réalisation de résistances selon la revendication 1, caractérisé en ce que le siliciure métallique est un mélange de forme $M_x Si_y$ monométallique.

4. Procédé de réalisation de résistances selon la revendication
15 1, caractérisé en ce que le siliciure métallique est un mélange de forme $M_x M'_{x'} M''_{x''} Si_y$, polymétallique.

5. Procédé de réalisation de résistances, selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que le rapport métal (x)/
20 silicium (y) définit la gamme de résistivité de la couche mince déposée.

6. Procédé de réalisation de résistances selon la revendication 1, caractérisé en ce que la concentration d'azote dans l'argon, dans l'appareil de pulvérisation, ajuste la résistivité de la couche mince
25 déposée, la résistivité étant en relation directe avec la nitruration

du siliciure métallique, laquelle est en relation directe avec la concentration d'azote dans le plasma.

- 5 7. Résistance en couche mince, de valeur élevée ($\rho > 100 \mu\Omega \cdot \text{cm}$), déposée sur un substrat semiconducteur tel que Si ou GaAs, ou isolant tel que Al_2O_3 ou BeO, caractérisée en ce qu'elle comporte un mélange d'au moins un métal M et d'alliage de nitrure de silicium Si_aN_b , obtenu par nitruration d'un siliciure métallique, selon le procédé de l'une quelconque des revendications 1 à 6.



DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 4)
X	EP-A-0 101 632 (N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN) * Revendications 1,2,4; page 1, lignes 4-10; page 2, ligne 28 - page 3, ligne 5 *	1-3,5-7	H 01 C 17/12
X	WO-A-8 300 256 (MOTOROLA INC.) * Revendications 1,2; page 7, lignes 3-10; page 14, ligne 17 - page 15, ligne 2 *	1,3,6,7	
X	FR-A-1 543 297 (LA RADIOTECHNIQUE-COPRIM R.T.C.) * Résumé, points 1 et 2 *	1,7	
A	US-A-3 477 935 (J.H. HALL)		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 4)
			H 01 C
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 06-01-1986	Examineur DECANNIERE L.J.
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons</p> <p>& : membre de la même famille, document correspondant</p>			