(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATIONEN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
4 mars 2010 (04.03.2010)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2010/023401 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H01G 4/005 (2006.01) *H01L 21/02* (2006.01)
H01G 4/30 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2009/051620

(22) Date de dépôt international :
24 août 2009 (24.08.2009)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0855745 27 août 2008 (27.08.2008) FR

(71) Déposant *(pour tous les États désignés sauf US)* : **STMicroelectronics SA** [FR/FR]; 29, boulevard Romain Rolland, F-92120 Montrouge (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants *(pour US seulement)* : **PICOLLET, Eric** [FR/FR]; Le Crozat, F-38580 La Ferriere (FR). **DEGLISE-FAVRE, Claire** [FR/FR]; Les Barins, F-73250 Saint Pierre D'albigny (FR). **MAGAND, Rémi** [FR/FR]; 54, rue des Trois Villages, F-38660 Saint-hilaire (FR).

(74) Mandataire : **DELPRAT, Olivier**; Bureau D.A. Casalonga-Josse, 8, avenue Percier, F-75008 Paris (FR).

(81) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible)* : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : THREE-DIMENSIONAL CAPACITOR, AND METHOD FOR TOPOLOGICALLY DESIGNING SUCH A CAPACITOR

(54) Titre : CONDENSATEUR TRIDIMENSIONNEL ET PROCEDE DE CONCEPTION TOPOLOGIQUE D'UN TEL CONDENSATEUR.

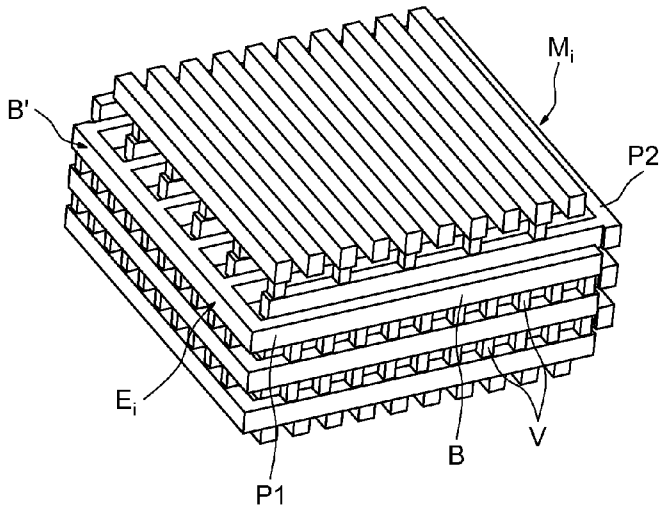


FIG.1

(57) Abstract : The present invention relates to a three-dimensional capacitor that includes a stack of vertically adjacent electrodes formed in respective metallization levels of an integrated circuit. The capacitor also comprises at least two additional vertically adjacent electrodes formed on top of said stack, the additional electrodes each including an assembly of at least one bar (B, B') extending in a first direction. A portion of said bars comprises branches (R) extending in a second direction.

(57) Abrégé : Ce condensateur tridimensionnel comprend un empilement d' électrodes superposées formées dans des niveaux de métallisation respectives d'un circuit intégré. Il comporte en outre au moins deux électrodes additionnelles superposées formées au dessus dudit empilement, les électrodes additionnelles comprenant chacune un ensemble d'au moins un barreau (B, B ') s 'étendant selon une première direction. Une partie desdits barreaux comporte des ramifications (R) s 'étendant selon une deuxième direction.

WO 2010/023401 A1

— *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2.h))*

Condensateur tridimensionnel et procédé de conception topologique d'un tel condensateur

L'invention concerne, de manière générale, la conception et la fabrication de condensateurs, en particulier pour applications à hautes fréquences.

Elle concerne plus particulièrement la conception et la fabrication de condensateurs tridimensionnels destinés à être implantés au dessus d'un substrat semi-conducteur, notamment en protocole MOM (« Metal-Oxyde-Metal »).

Une application particulièrement intéressante concerne la conception de condensateurs MOM pour application à hautes fréquences en technologie CMOS045, c'est-à-dire une technologie utilisant une finesse de gravure de 45 nanomètres. Mais l'invention s'applique également, de manière générale, à la conception de condensateurs tridimensionnels pouvant utiliser toute autre technologie CMOS, voire les technologies utilisant une finesse de gravure de 32 nanomètres.

Par rapport aux condensateurs planaires, les condensateurs tridimensionnels présentent un certain nombre d'avantages. Ils permettent en particulier l'intégration de condensateurs avec une densité accrue et donc avec une valeur de capacité importante par unité de surface, tout en ayant une résistance d'accès faible et un facteur de qualité élevé et stable.

Les condensateurs tridimensionnels, également désignés par l'appellation condensateurs « 3D », sont traditionnellement réalisés en formant des électrodes réparties sur plusieurs niveaux de métallisation. Par exemple, en technologie CMOS045, un condensateur 3D peut être formé en utilisant sept niveaux de métallisation dans lesquels sont formées des électrodes respectives du condensateur, qui forment deux à deux un ensemble de condensateurs élémentaires.

Comme illustré sur la figure 1, qui illustre l'organisation des électrodes dans des niveaux de métallisation inférieurs, les électrodes comportent chacune un ensemble de barreaux ou doigts s'étendant parallèlement mais orientés alternativement dans l'empilement selon deux directions perpendiculaires en formant, avec un barreau en vis-à-vis d'une même électrode et avec un barreau d'une électrode inférieure ou supérieure, des condensateurs élémentaires.

Plus particulièrement, comme on le voit sur la figure 1, chaque niveau de métallisation, tel que M_i, comporte une électrode E_i formée par l'association de deux peignes P_1 et P_2 imbriqués, comprenant chacun un ensemble de barreaux B s'étendant parallèlement selon une première direction générale à partir d'un barreau latéral d'extrémité B', tandis que dans un autre niveau de métallisation immédiatement supérieur ou inférieur, les barreaux B du peigne s'étendent selon une deuxième direction perpendiculaire à la première direction.

En outre, selon cette configuration, les barreaux de chaque peigne d'un niveau de métallisation M_i, qui forment une électrode positive ou négative, sont reliés aux barreaux d'un autre niveau de métallisation M'_i qui forme des électrodes, respectivement positives ou négatives, par l'intermédiaire de vias tels que V.

Par ailleurs, dans le but d'augmenter les fonctionnalités électriques du condensateur, les niveaux de métallisation supérieurs, ici les niveaux de métallisation M_6 et M_7, ont une configuration spécifique et, en particulier, un facteur d'échelle différent, la taille des barreaux et l'épaisseur de ces électrodes étant accrues sur ces niveaux de métallisation M_6 et M_7.

Comme on le voit, les électrodes des niveaux de métallisation M_6 et M_7 ont une configuration identique et comportent deux peignes imbriqués P_1 et P_2 formés d'une association de barreaux en parallèle et ayant en outre, tant dans le niveau de métallisation M_6 que dans le niveau de métallisation M_7, la même orientation.

Par ailleurs, les concepteurs de composants électroniques passifs, et en particulier de condensateurs tridimensionnels, doivent, à partir de règles de conception ou de « design » qui leur sont imposées,

relatives par exemple à la technologie employée, ou aux contraintes du circuit à réaliser, portant par exemple sur la valeur de capacité à obtenir ou sur le raccordement du condensateur, concevoir une configuration de condensateur permettant d'obtenir les fonctionnalités électriques requises, tout en limitant la consommation en silicium qui est un matériau très coûteux.

Au vu de ce qui précède, il est proposé, selon la présente description, une architecture de condensateur tridimensionnel et un procédé de conception d'un tel condensateur, permettant, en fonction des règles de conception imposées, la réalisation d'un condensateur permettant d'améliorer encore les fonctionnalités électriques fournies.

Selon une première approche, il est ainsi proposé un condensateur tridimensionnel comprenant un empilement d'électrodes superposées formées dans des niveaux de métallisation respectifs d'un circuit intégré comprenant en outre au moins deux électrodes additionnelles superposées formées au dessus dudit empilement, les électrodes additionnelles comprenant chacune un ensemble d'au moins un barreau s'étendant selon une première direction, une partie au moins desdits barreaux comprenant des ramifications s'étendant selon une deuxième direction.

Il a été constaté qu'une telle structure, selon laquelle les barreaux situés par exemple au centre des niveaux de métallisation supérieurs de l'empilement des électrodes du condensateur, comportent des ramifications transversales, permet d'améliorer considérablement les fonctionnalités du condensateur et, en particulier, d'obtenir, pour une même surface, une augmentation de la capacité unitaire, et une baisse de la résistance d'accès à facteur de qualité constante ou, en d'autres termes, à capacité équivalente constante et à résistance d'accès équivalente constante, une réduction significative de la surface du condensateur limitant, de la sorte, la consommation en silicium.

Selon une autre caractéristique de ce condensateur, les ramifications sont constituées par des doigts s'étendant perpendiculairement aux barreaux.

Dans un mode de réalisation, les électrodes additionnelles comportent des barreaux d'extrémité rectilignes non ramifiés et des barreaux médians ramifiés prévus entre les barreaux d'extrémité.

Les barreaux de l'une des électrodes additionnelles peuvent s'étendre parallèlement aux barreaux de l'autre électrode additionnelle.

Selon encore une autre caractéristique de ce condensateur tridimensionnel, les barreaux de chaque électrode additionnelle comprennent une paire de motifs identiques appareillés et imbriqués comprenant chacun un premier ensemble d'au moins un barreau s'étendant parallèlement à chaque barreau d'un autre motif selon ladite première direction, et un deuxième ensemble d'au moins un barreau s'étendant parallèlement aux barreaux du deuxième ensemble de barreaux de l'autre motif selon ladite deuxième direction.

Les ramifications peuvent par ailleurs s'étendre à partir des barreaux médians du premier ensemble de barreaux.

Les barreaux du premier ensemble de barreaux peuvent, quant à eux, être formés à partir de l'un des barreaux du deuxième ensemble de barreaux.

Selon encore une autre caractéristique du condensateur tridimensionnel, les électrodes de l'empilement d'électrodes comprennent chacune une paire de motifs identiques et imbriqués comprenant chacune un premier ensemble de barreaux s'étendant parallèlement à chaque barreau d'un autre motif selon l'une des première et deuxième directions, et un deuxième ensemble de deuxième barreau s'étendant parallèlement à chaque deuxième barreau de l'autre motif selon l'autre desdites première et deuxième directions.

Les motifs de chaque électrode de l'empilement peuvent être orientées selon une direction différente de celle des motifs d'une électrode immédiatement supérieure ou inférieure.

Selon un autre aspect, il est également proposé un procédé de conception d'un condensateur tridimensionnel comprenant un empilement d'électrodes superposées formé dans des niveaux de métallisation respectifs d'un circuit intégré, et comprenant au moins

deux électrodes additionnelles superposées formées au dessus dudit empilement, de sorte que chaque électrode additionnelle comprenne un ensemble d'au moins un barreau s'étendant selon une première direction et qu'une partie au moins des barreaux comprend des ramifications s'étendant selon une deuxième direction.

Selon une caractéristique de ce procédé, on calcule un nombre de barreaux pour chaque électrode additionnelle, on calcule la distance disponible pour les ramifications, et l'on adapte le nombre de barreaux de manière à obtenir une longueur disponible pour les ramifications supérieure à une distance minimale requise entre barreaux.

En d'autres termes, on adapte le nombre de barreaux de manière à délimiter, par exemple au centre de l'électrode, une distance suffisante entre barreaux pour ménager les ramifications, en tenant compte de la distance minimale requise entre les barreaux, et en particulier entre les ramifications et un barreau en vis-à-vis pour satisfaire aux exigences requises, en particulier par les règles de conception.

Par exemple, selon une autre caractéristique de ce procédé, on détermine le nombre de ramifications à partir de la longueur des barreaux, de la longueur des ramifications, et de l'espace entre des ramifications voisines, et la longueur des ramifications à partir de la distance entre les barreaux et l'espace minimum requis entre les barreaux.

Par exemple, selon un mode de mise en œuvre, on fixe la largeur des ramifications égale à la largeur des barreaux.

Dans un mode de mise en œuvre, le procédé comporte les étapes de :

- calcul du nombre de barreaux en fonction de la largeur des barreaux et de l'espace entre les barreaux ;
- calcul de l'espacement entre les barreaux ramifiés ;
- comparaison de l'espacement calculé avec une valeur minimale d'espacement requis entre une ramification et un barreau ramifié voisin ; et

- modification du nombre de barreaux calculés de manière à obtenir une valeur d'espacement supérieure à la valeur minimale requise.

Ce procédé peut en outre comporter une étape d'adaptation de l'espacement entre les barreaux préalable au calcul de la longueur des ramifications.

On peut en outre calculer la distance entre deux ramifications voisines.

On peut, par ailleurs, orienter les barreaux de manière à obtenir la plus grande longueur totale des ramifications.

Par exemple, pour ce faire, on peut calculer la différence entre, d'une part, la longueur des ramifications pour une première configuration dans laquelle les barreaux s'étendent dans une première direction, multipliée par le nombre de ramifications, et, d'autre part, la longueur des ramifications pour une deuxième configuration dans laquelle les barreaux s'étendent dans une deuxième direction perpendiculaire à la première direction, multipliée par le nombre de ramifications, et l'on choisit la première ou la deuxième configuration selon le résultat du calcul de ladite différence.

D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés :

- les figures 1 et 2, dont il a déjà été fait mention, illustrent schématiquement l'architecture générale d'un condensateur tridimensionnel selon l'état de la technique ;
- la figure 3 illustre, de manière schématique et en perspective, le concept d'architecture d'un condensateur tridimensionnel comprenant des ramifications centrales ;
- la figure 4 est une vue de dessus du niveau de métallisation supérieur du condensateur tridimensionnel à ramifications de la figure 3 ;

- la figure 5 illustre schématiquement la conception d'un condensateur tridimensionnel ;
- la figure 6 montre les principales phases d'un procédé de conception d'un condensateur tridimensionnel à ramifications latérales ;
- la figure 7 est une vue de dessus d'un condensateur tridimensionnel à ramifications latérales montrant les principaux paramètres pris en considération lors de la conception ;
- les figures 8 à 16 montrent diverses configurations d'un condensateur tridimensionnel à ramifications latérales ; et
- la figure 17 est un tableau montrant les gains en valeur de capacité, de résistance et de facteur de qualité, grâce à la présence de ramifications latérales centrales.

En se référant tout d'abord à la figure 3, on va décrire un exemple de réalisation d'un condensateur tridimensionnel MOM réalisé en technologie 45 nanomètres.

Comme on le voit, dans l'exemple décrit, le condensateur tridimensionnel comporte ici sept niveaux de métallisation, les niveaux de métallisation supérieurs M_6 et M_7 étant configurés de manière à réduire la résistance d'accès et augmenter la valeur de capacité pour une même surface de circuit.

Comme indiqué précédemment, les condensateurs tridimensionnels traditionnels comportent un ensemble d'électrodes superposées réparties dans des niveaux de métallisation du circuit intégré, et en partie supérieure, des électrodes additionnelles formées dans les niveaux de métallisation M_6 et M_7. Les niveaux de métallisation supérieurs M_6 et M_7 ont une configuration et une orientation identiques en peignes imbriqués, de sorte que chaque électrode comporte une paire de peignes P_1 et P_2 formés chacun par une association de barreaux B s'étendant selon une première direction à partir d'un barreau transversal B' s'étendant selon une deuxième

direction perpendiculaire à la première direction, telle que les barreaux de l'un des peignes soient intercalés entre deux barreaux de l'autre peigne.

Dans le but d'améliorer les performances électriques du condensateur, les électrodes des niveaux de métallisation supérieurs M_6 et M_7 sont modifiées de telle sorte que les barreaux situés au centre comportent des ramifications latérales R qui s'étendent parallèlement selon la deuxième direction, c'est-à-dire parallèlement aux barreaux B' à partir desquels s'étendent les barreaux ramifiés B. Selon cette configuration, les deux barreaux centraux en regard des peignes comportent des ramifications imbriquées de sorte que les ramifications de l'un des barreaux s'étendent entre les ramifications R de l'autre barreau.

En d'autres termes, selon cette configuration en peignes, chaque peigne comporte deux ensembles de doigts ou barreaux, à savoir un premier ensemble de barreaux B parallèles, ici au nombre de quatre, qui s'étend selon l'une direction X ou Y du circuit, ici la direction Y, et qui comportent des barreaux ramifiés centraux, et un deuxième ensemble de barreaux B', ici au nombre de un, à partir duquel ou desquels s'étendent les barreaux B et qui s'étendent selon l'autre direction X.

Les ramifications de l'un des barreaux sont ici au nombre de deux et sont disposées chacune entre deux ramifications de l'autre peigne, ici au nombre de trois.

Mais, bien entendu, et comme cela sera détaillé par la suite, tout autre configuration peut également être adoptée.

Comme on le voit également sur la figure 4, selon cette configuration, seuls les niveaux de métallisation M_6 et M_7, qui adoptent une configuration identique et une même orientation, sont modifiés, les niveaux de métallisation inférieurs adoptant une configuration traditionnelle, c'est-à-dire une configuration en peignes imbriqués, de sorte que dans l'empilement des électrodes, les orientations des barreaux diffèrent de 90° d'un empilement à l'autre.

En se référant à la figure 5, la conception d'un condensateur tridimensionnel à ramifications latérales centrales s'effectue à partir de paramètres de conception imposés au concepteur, tels que la valeur de la capacité, le premier niveau de métallisation à partir duquel les électrodes doivent être formées, le dernier niveau de métallisation, le premier niveau de raccordement du condensateur dans le circuit intégré, le dernier niveau de raccordement et, le cas échéant, les dimensions planaires (en X,Y) du condensateur.

La conception s'effectue également à partir de règles de conception, imposées par exemple par la technologie employée, telles que l'espacement entre les barreaux, ou la largeur des barreaux.

A partir des paramètres de conception, la configuration des niveaux de métallisation inférieurs, par exemple les niveaux de métallisation M_1 à M_5, est élaborée, en utilisant un modèle mathématique tendant à déterminer, notamment, le nombre de barreaux ou doigts dans chacune des première et deuxième direction X et Y.

A partir de ces paramètres du condensateur, des paramètres de conception et des règles de conception, il est ensuite procédé à la conception des niveaux de métallisation M_6 et M_7.

En se référant aux figures 6 et 7, cette phase de conception consiste essentiellement à déterminer l'espacement entre les barreaux de manière à pouvoir créer des extensions latérales tout en tenant compte de l'espacement requis entre les barreaux et, en particulier, de l'espacement requis entre les extensions latérales de l'un des barreaux et un barreau ramifié en vis-à-vis.

Lors de la conception des niveaux de métallisation à barreaux ramifiés, ici les niveaux M_6 et M_7, au cours d'une première étape 10, on calcule le nombre de barreaux nbEA de chaque électrode supérieure. Les électrodes additionnelles des niveaux M_6 et M_7 ont une structure identique et une même orientation. Les calculs mis en œuvre s'appliquent donc aux deux couches.

Pour calculer le nombre de barreaux nbEA, on procède aux calculs suivants :

$$wfEA = \text{Width min DRM}(M6, M7) \quad (1)$$

$$spcfEA = \text{Spacing min DRM}(M6, M7) \quad (2)$$

$$nbEA = \text{tronc}\left(\frac{nb\ x.wf + (nbx - 1).sp\ cf}{2(w\ fEA + spcfE\ A)}\right) \quad (3)$$

dans lesquels :

- *Widthmin DRM* désigne la largeur minimum de ligne de métal réalisable en fabrication;
- *Spacingmin DRM* désigne l'espacement minimum entre 2 lignes de métal réalisable en fabrication;
- *tronc* désigne l'opération de troncature, c'est-à-dire la partie entière ;
- *wfEA* désigne la largeur des barreaux ;
- *spcfEA* désigne l'espace entre les barreaux ;
- *nbx* et *spcf* désignent respectivement le nombre de barreaux et l'espacement entre barreaux dans les niveaux de métallisation inférieurs.

Lors de l'étape 11 suivante, on procède au calcul de l'espacement ou distance ΔIA entre barreaux ramifiés, comme illustré sur la figure 7, à partir de la relation suivante :

$$\Delta IA = nbx.wf + (nbx - 1).spcf - 2.[nbEA.wfEA + (nbEA - 1).spcfEA] \quad (4)$$

Il convient alors, lors de l'étape 12 suivante, de vérifier que l'espacement entre les barreaux ramifiés est suffisant pour incorporer des ramifications, en tenant compte de l'espacement requis entre les barreaux ramifiés spcfIA.

Si tel n'est pas le cas, c'est-à-dire si ΔIA est inférieur à la valeur minimum requise spcfIA, on retranche un barreau pour chaque peigne ou, en d'autres termes, on retranche une paire de barreaux pour chaque niveau de métallisation M_6 ou M_7 (étape 12').

Au contraire, si tel est le cas, on procède au calcul de la longueur des barreaux ramifiés et de leur nombre. On procède ainsi

tout d'abord au calcul de la longueur LIA des barreaux ramifiés selon la relation suivante :

$$LIA = \frac{\Delta IA - spcfIA}{2} \quad (5)$$

Lors de l'étape 14 suivante, on procède à une adaptation de l'espacement entre les barreaux de manière à s'adapter à la technologie et en particulier au pas de grille.

Pour ce faire, on calcule un paramètre ε, selon la relation suivante :

$$\varepsilon = nbx.wf + (nbx - 1).spcf - 2.[nbEA.wfA + (nbEA - 1).spcfA] + LIA + \frac{spcfA}{2} \quad (6)$$

Si au cours de cette étape 14, on constate que la valeur de ce paramètre ε est non nulle, lors de l'étape 15 suivante, on procède à un nouveau calcul d'espacement spcfA selon la relation suivante :

$$spcfA = \frac{nbx.wf + (nbx - 1).spcf - 2.(nbEA.wfA - LIA)}{2.nbEA} \quad (7)$$

Puis la procédure retourne à l'étape 13 précédente pour procéder à un nouveau calcul de la longueur de doigt.

Lorsqu'il a été vérifié que le paramètre ε est égal à zéro, lors de l'étape 16 suivante, on procède au calcul du nombre de ramifications nbIA selon la relation suivante :

$$nbIA = tronc\left(\frac{LEA}{wfA + spcfA}\right) \quad (8)$$

Puis, lors de l'étape 17 suivante, on calcule l'espacement spcfIA entre les barreaux ramifiés ou, en d'autres termes, la distance entre les ramifications du barreau ramifié de l'un des peignes, et du barreau ramifié de l'autre peigne, selon la relation suivante :

$$spcfIA2 = \frac{LEA - nbIA.wfA}{nbIA - 1} \quad (9)$$

On calcule alors un paramètre α qui correspond à la différence entre, d'une part, le nombre de ramifications selon une première

configuration selon laquelle ces ramifications s'étendent selon une première direction X du circuit intégré multipliée par leur longueur et, d'autre part, le nombre de ramifications selon une seconde configuration selon laquelle ces ramifications s'étendent selon une seconde direction Y du circuit intégré multipliée par leur longueur (étape 18).

En d'autres termes, on procède au calcul du paramètre α suivant :

$$\alpha = nbIA_xdir.LIA_xdir - nbIA_ydir.LIA_ydir \qquad (10)$$

Si la valeur de ce paramètre α est négative, on procède à un changement d'orientation, puis on met à nouveau en œuvre les étapes 10 à 17 précédemment mentionnées en changeant l'orientation de la configuration de manière à aboutir à un paramètre α positif ou nul.

Lors de l'étape 19 suivante, on retient alors la valeur calculée des divers paramètres permettant de décrire les barreaux et ramifications tels que le nombre, la longueur, la largeur et l'espacement entre les barreaux.

On notera que, dans le mode de réalisation qui vient d'être décrit, les niveaux de métallisation supérieurs, ici les niveaux de métallisation M_6 et M_7, comportent chacun des motifs comprenant une paire de peignes imbriqués.

On notera toutefois que la configuration évoquée précédemment n'est nullement limitative, et d'autres variantes peuvent également être envisagées.

En se référant tout d'abord aux figures 8 et 9, et comme indiqué précédemment, en fonction de la valeur calculée du paramètre α, il est possible de changer l'orientation des barreaux et de leurs ramifications.

Il est ainsi possible, comme visible sur la figure 8, d'orienter les ramifications de manière qu'elles s'étendent parallèlement à une première direction X et d'orienter les barreaux de sorte qu'ils s'étendent parallèlement à une deuxième direction Y du circuit intégré. Au contraire, il est possible d'orienter les ramifications internes selon

la deuxième direction Y et d'orienter les barreaux selon la première direction X (figure 9).

En se référant à la figure 10, il est également possible de modifier la longueur des barreaux et, de même, le nombre de ramifications internes.

Ainsi, comme visible sur les figures 11 et 12, il est possible de ne prévoir dans les niveaux de métallisation supérieurs qu'une seule ramification et qu'un seul barreau ou, en variante, de ne prévoir qu'une seule paire de barreaux imbriqués comprenant chacun une unique ramification.

Mais lorsque l'on prévoit plusieurs barreaux comprenant un ou plusieurs barreaux ramifiés, ceux-ci sont disposés de préférence au centre tandis que les barreaux non ramifiés sont disposés de part et d'autre des barreaux ramifiés.

De même, comme indiqué précédemment, la longueur des ramifications peut varier selon les contraintes de conception (figures 13 et 14).

En se référant aux figures 15 et 16, il est également possible de prolonger un barreau latéral de chaque peigne par des barreaux additionnels conférant alors aux électrodes une forme à deux spirales imbriquées.

En se référant enfin à la figure 1, il a été constaté que la configuration à barreaux ramifiés permettait d'augmenter de manière très significative la valeur de la capacité du condensateur, pour une valeur de résistance et de facteur de qualité sensiblement constant (configuration 2 par rapport à une configuration conventionnelle (configuration 1)).

REVENDICATIONS

1. Condensateur tridimensionnel comprenant un empilement d'électrodes superposées formées dans des niveaux de métallisation respectifs d'un circuit intégré, caractérisé en ce qu'il comporte en outre au moins deux électrodes additionnelles superposées formées au dessus dudit empilement, les électrodes additionnelles comprenant chacune un ensemble d'au moins un barreau (B, B') s'étendant selon une première direction et en ce qu'une partie au moins desdits barreaux comporte des ramifications (R) s'étendant selon une deuxième direction.

2. Condensateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les ramifications (R) sont constituées par des doigts s'étendant perpendiculairement aux barreaux.

3. Condensateur selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que les électrodes additionnelles comportent des barreaux d'extrémité (B) rectilignes non ramifiés et des barreaux centraux (B') ramifiés prévus entre les barreaux.

4. Condensateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les barreaux de l'une des électrodes additionnelles s'étendent parallèlement aux barreaux de l'autre électrode additionnelle.

5. Condensateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les barreaux de chaque électrode additionnelle comprennent une paire de motifs (P_1, P_2) identiques appariés et imbriqués comprenant chacun un premier ensemble d'au moins un barreau (B) s'étendant parallèlement à chaque barreau d'un autre motif selon ladite première direction et une deuxième ensemble d'au moins un barreau (B') s'étendant parallèlement aux barreaux du deuxième ensemble de barreaux de l'autre motif selon ladite deuxième direction.

6. Condensateur selon la revendication 5, caractérisé en ce que les ramifications (R) s'étendent à partir des barreaux centraux (B) du premier ensemble de barreaux.

7. Condensateur selon l'une des revendications 5 et 6, caractérisé en ce que les barreaux (B) du premier ensemble de barreaux sont formés à partir de l'un des barreaux (B') du deuxième ensemble de barreaux.

8. Condensateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que les électrodes de l'empilement d'électrodes comprennent chacune une paire de motifs identiques et imbriqués comprenant chacun un premier ensemble de barreaux s'étendant parallèlement à chaque barreau d'un autre motif selon l'une desdites première et deuxième direction et un deuxième ensemble de barreaux s'étendant parallèlement à chaque deuxième barreau de l'autre motif selon l'autre desdites première et deuxième directions.

9. Condensateur selon la revendication 8, caractérisé en ce que les motifs de chaque électrode de l'empilement d'électrodes sont orientés selon une direction différente de celle des motifs d'une électrode immédiatement inférieure ou supérieure.

10. Procédé de conception d'un condensateur tridimensionnel comprenant un empilement d'électrodes superposées formées dans des niveaux de métallisation respectifs d'un circuit intégré, et comprenant au moins deux électrodes additionnelles superposées formées au dessus dudit empilement de sorte que chaque électrode additionnelle comprenne un ensemble d'au moins un barreau (B) s'étendant selon une première direction et qu'une partie au moins des barreaux comprend des ramifications (R) s'étendant selon une deuxième direction, caractérisé en ce que l'on calcule un nombre de barreaux pour chaque électrode additionnelle, on calcule la distance disponible (ΔIA) pour les ramifications et l'on adapte le nombre de barreaux de manière à obtenir une longueur disponible pour les ramifications supérieures à une distance minimale requise (SpcfIA) entre barreaux.

11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que l'on détermine le nombre de ramifications à partir de la longueur des barreaux, de la largeur des ramifications et de l'espacement entre des ramifications voisines, et la longueur des ramifications à partir de la

distance entre les barreaux et de l'espacement minimum requis entre les barreaux.

12. Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que l'on fixe la largeur des ramifications égale à la largeur des barreaux.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes de :

- calcul du nombre de barreaux en fonction de la largeur des barreaux et de l'espacement entre les barreaux ;
- calcul de l'espacement entre les barreaux ramifiés ;
- comparaison de l'espacement calculé avec une valeur minimum d'espacement requis entre une ramification et un barreau ramifié voisin ; et
- modification du nombre de barreaux calculés de manière à obtenir une valeur d'espacement supérieure à une valeur minium requise.

14. Condensateur selon la revendication 13, caractérisé en ce qu'il comporte en outre une étape d'adaptation de l'espacement requis entre les barreaux préalable au calcul de la longueur des ramifications.

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 10 à 14, caractérisé en ce que l'on calcule en outre la distance entre deux ramifications voisines.

16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que l'on oriente les barreaux de manière à obtenir la plus grande longueur totale des ramifications.

17. Procédé selon la revendication 16, caractérisé en ce que l'on calcule la différence entre, d'une part, la longueur des ramifications pour une première configuration dans laquelle les barreaux s'étendent dans une première direction, multipliée par le nombre de ramifications, et, d'autre part, la longueur des ramifications pour une deuxième configuration dans laquelle les barreaux s'étendent dans une deuxième direction perpendiculaire à la première direction, multipliée par le nombre de ramifications, et l'on choisit la première ou la deuxième configuration selon le résultat du calcul de ladite différence.

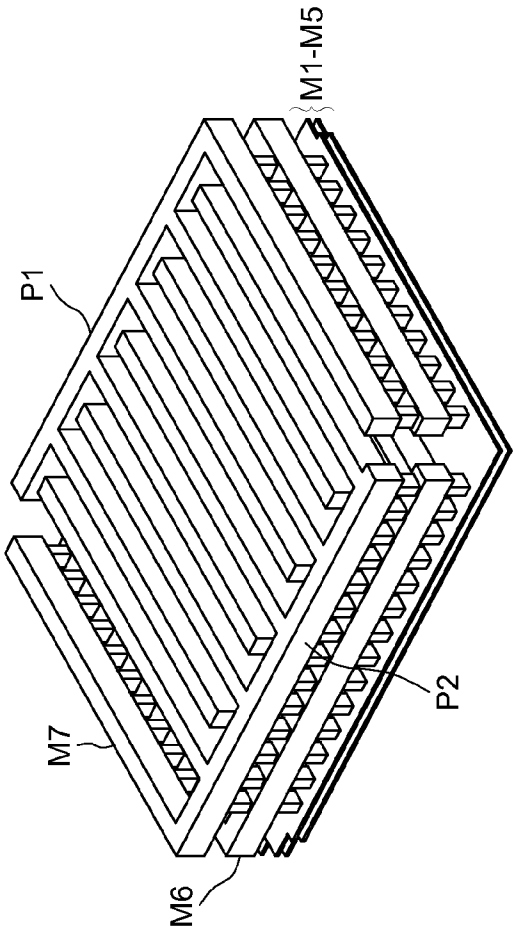


FIG.2

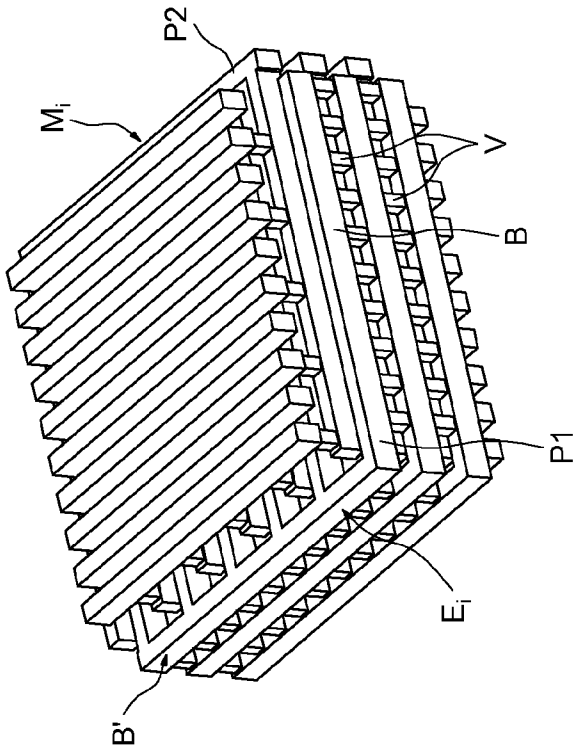


FIG.1

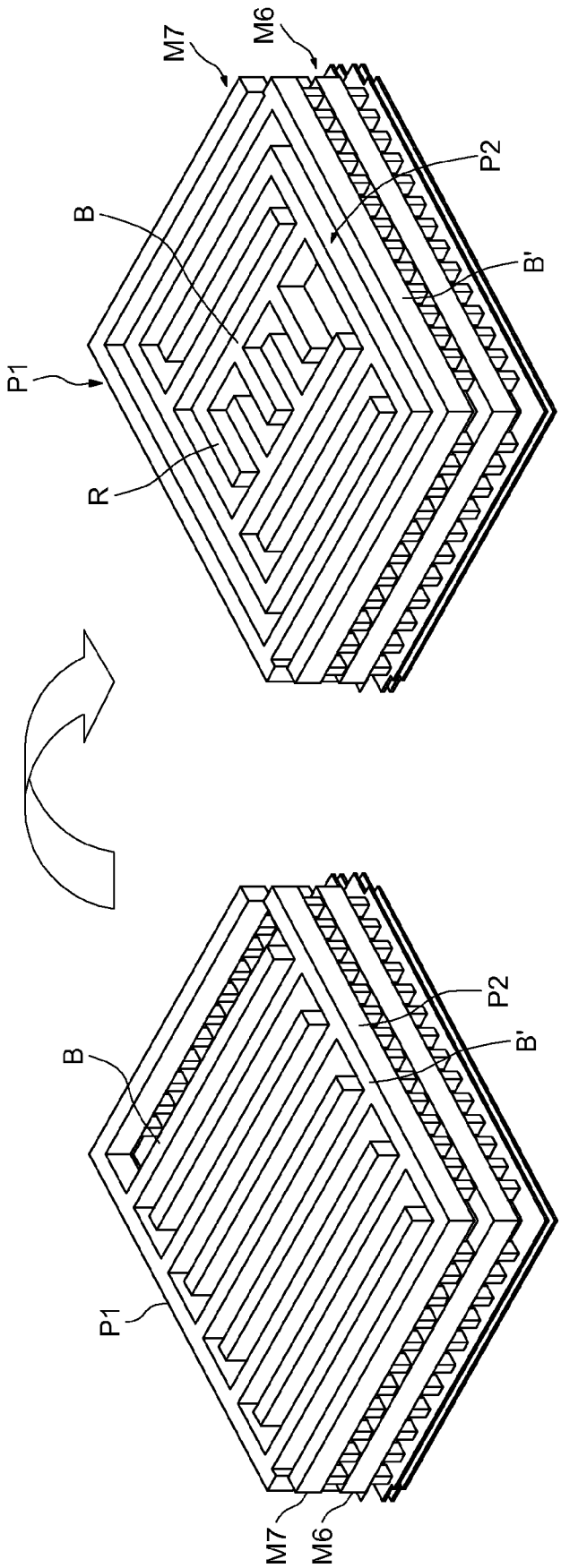


FIG.3

FIG.4

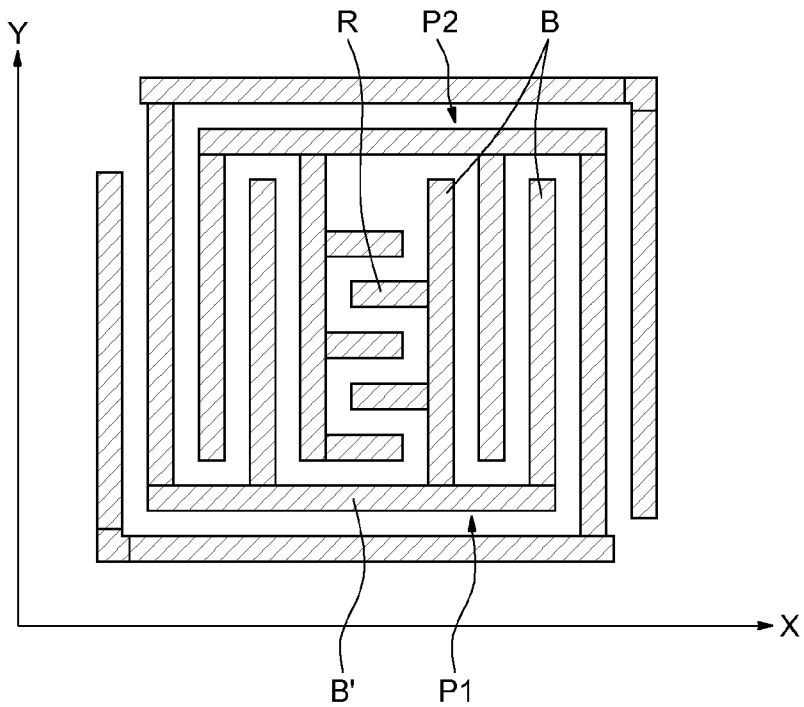


FIG.5

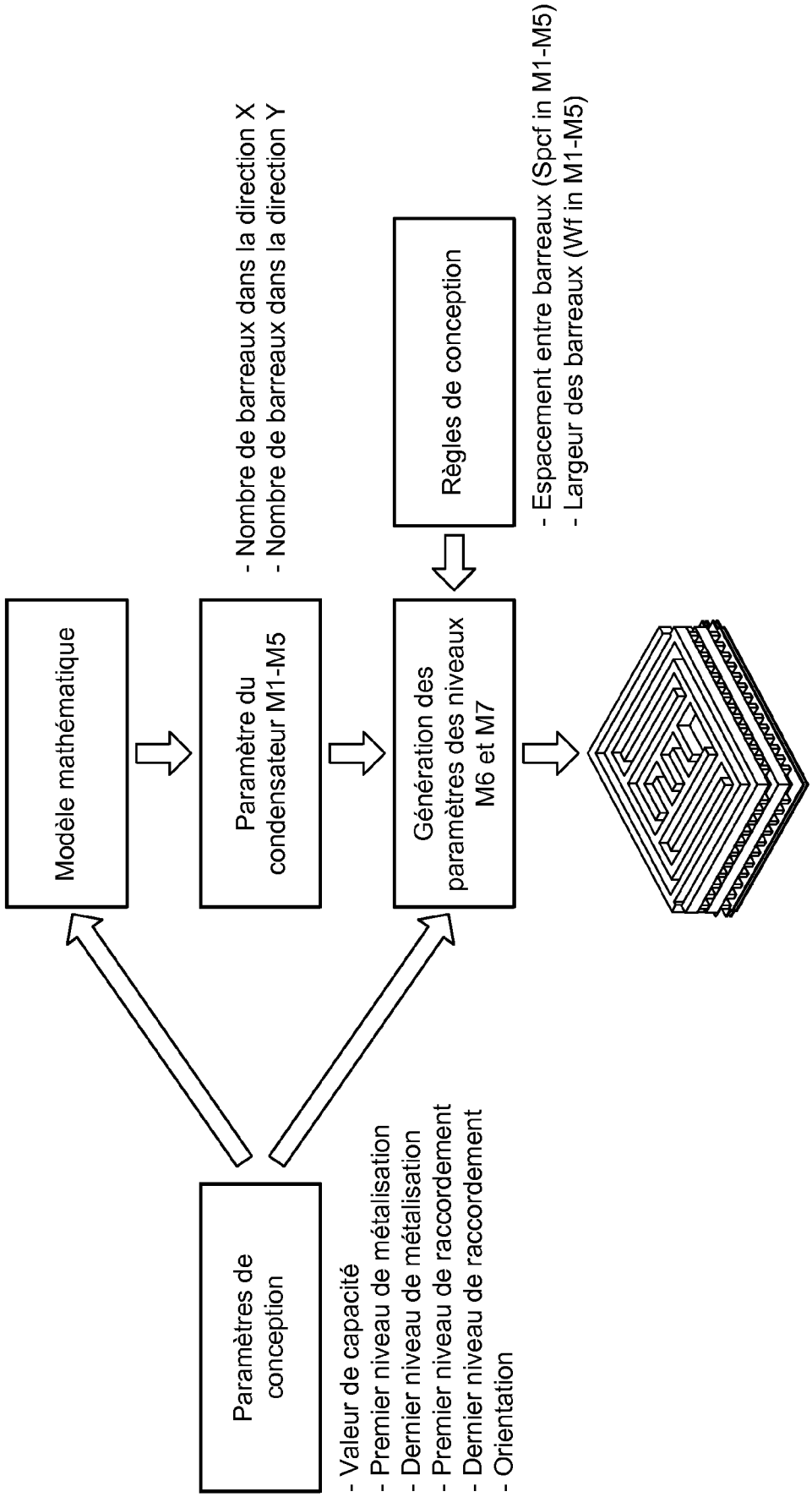
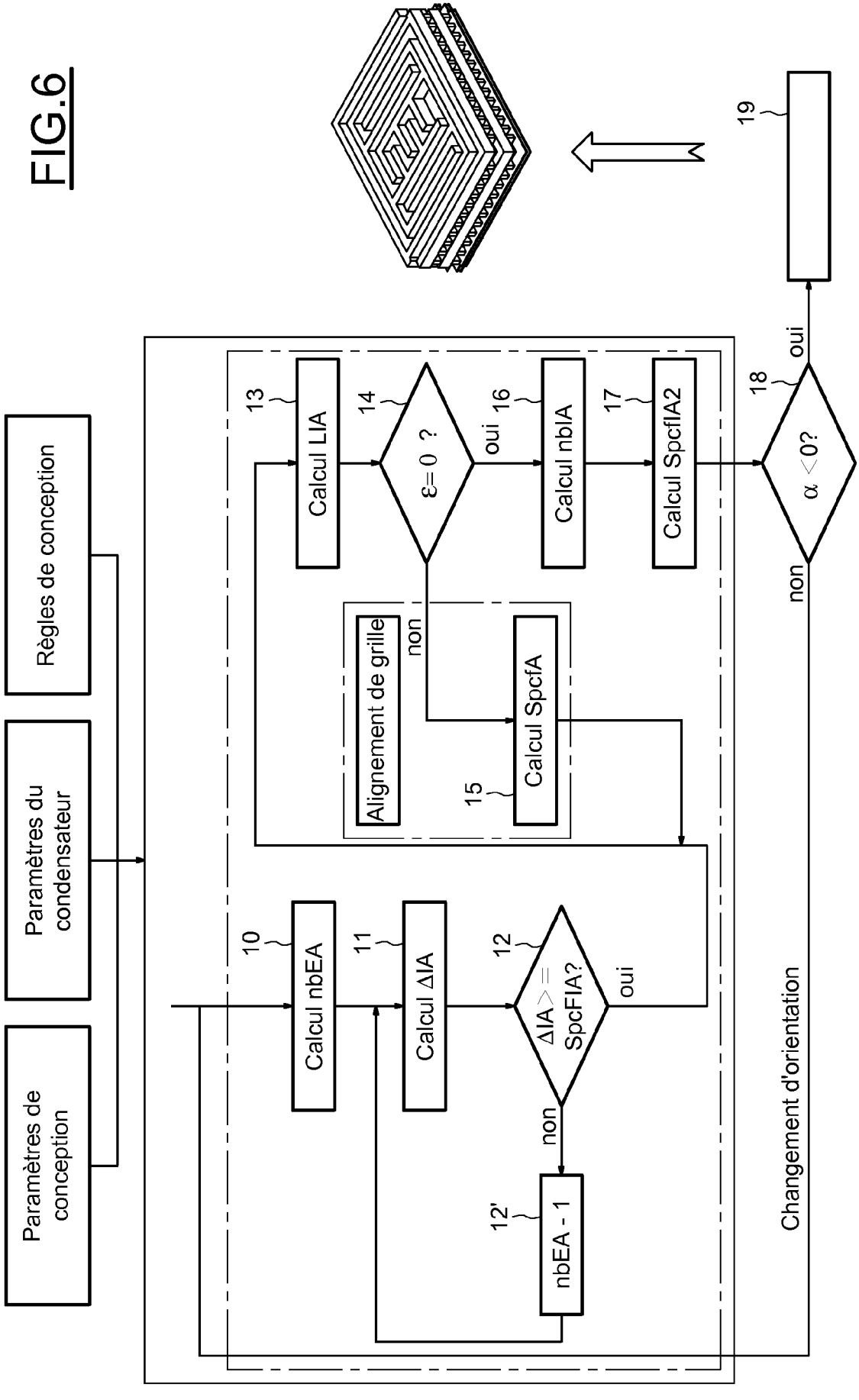

Modèle mathématique
Paramètre du condensateur M1-M5
Génération des paramètres des niveaux M6 et M7
Paramètres de conception
Règles de conception
- Nombre de barreaux dans la direction X
- Nombre de barreaux dans la direction Y
- Espacement entre barreaux (Spcf in M1-M5)
- Largeur des barreaux (Wf in M1-M5)
- Valeur de capacité
- Premier niveau de métalisation
- Dernier niveau de métalisation
- Premier niveau de raccordement
- Dernier niveau de raccordement
- Orientation

FIG.6


Règles de conception
Paramètres du condensateur
Paramètres de conception
10
Calcul nbEA
11
Calcul ΔIA
12
ΔIA >= SpcfIA?
oui
non
12'
nbEA - 1
13
Calcul LIA
14
ε= 0 ?
oui
non
Alignement de grille
15
Calcul SpcfA
16
Calcul nbIA
17
Calcul SpcfIA2
18
α <0?
oui
non
Changement d'orientation
19

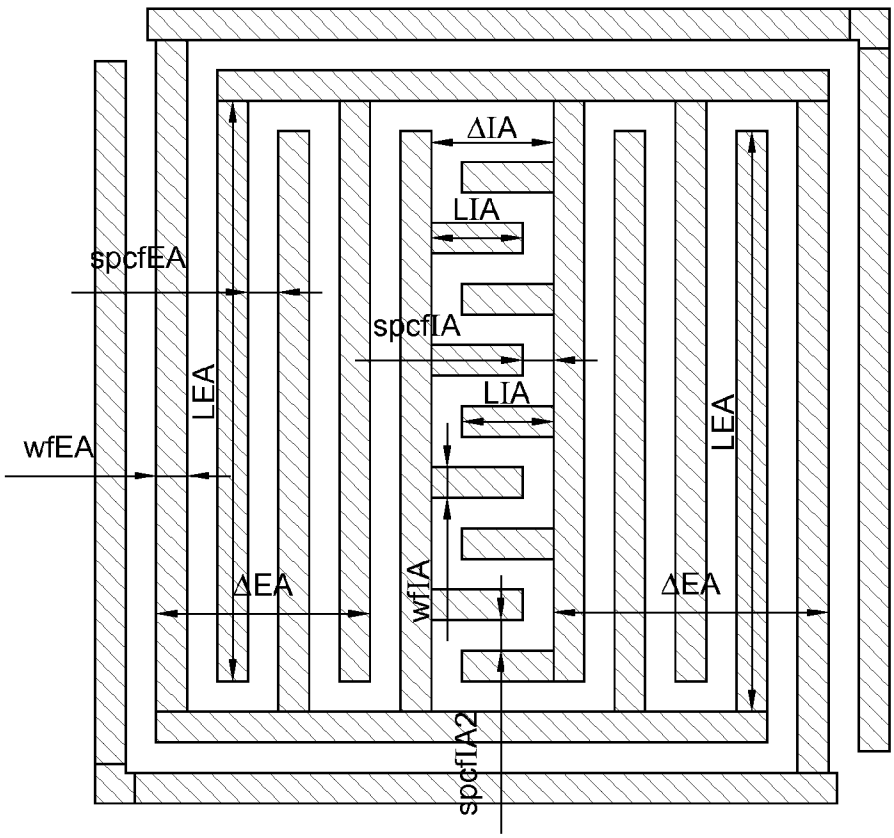


FIG.7

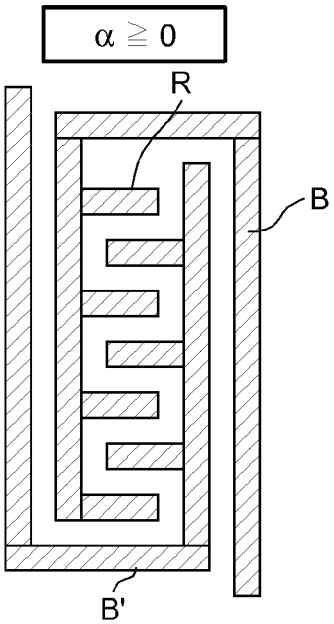


FIG.8

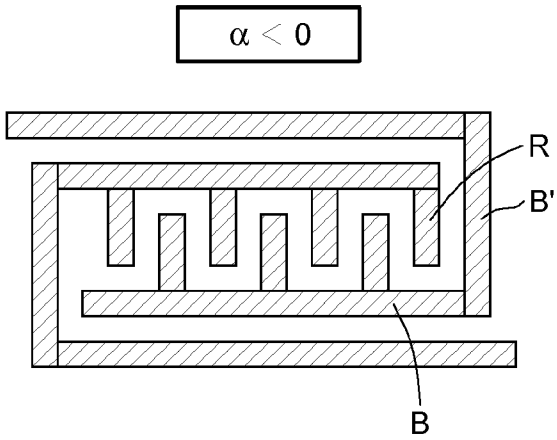


FIG.9

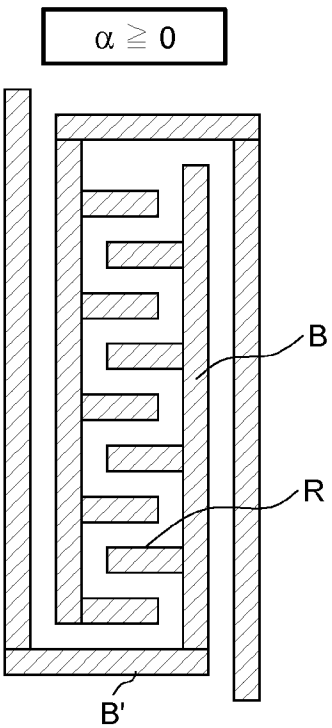


FIG.10

FIG.11

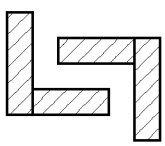


FIG.12

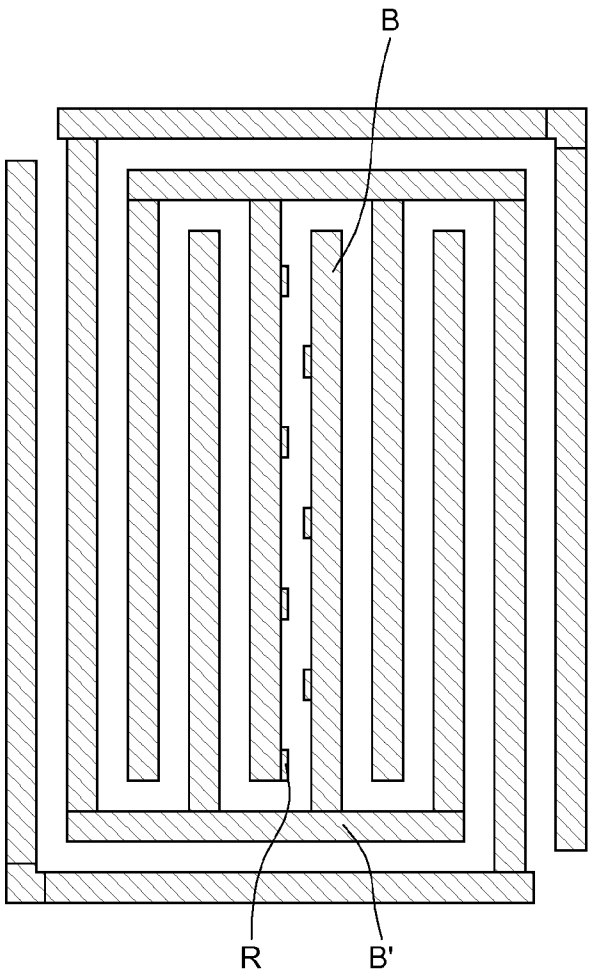


FIG.13

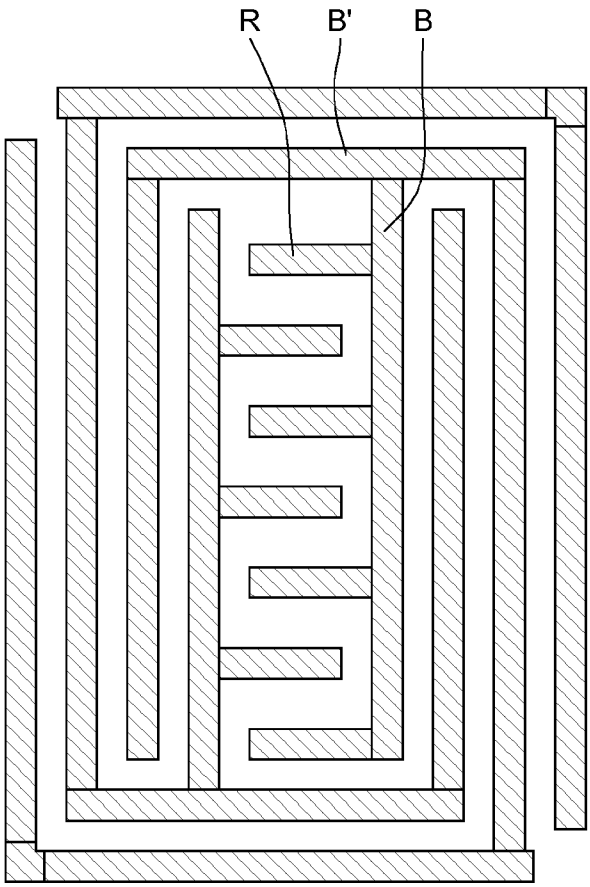


FIG.14

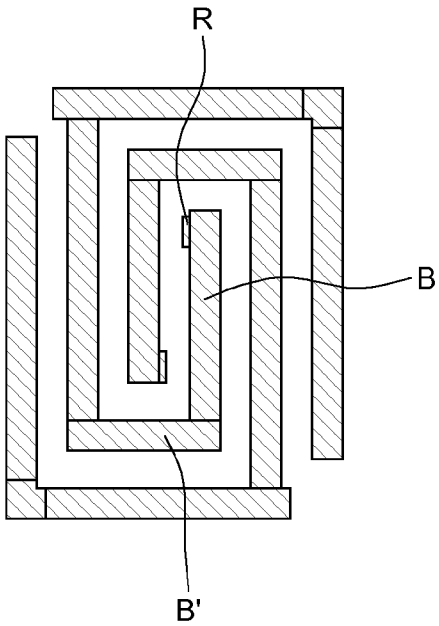


FIG.15

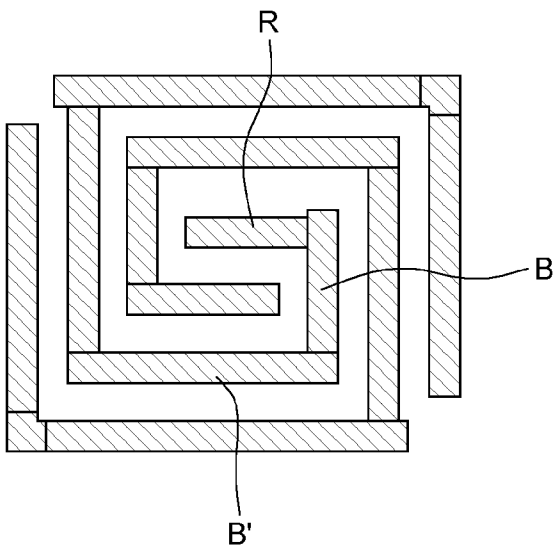


FIG.16

FIG.17

Configuration	Capacité (C_s)	Résistance (R_s)	Facteur de Qualité (Q) (extrait à 1 GHz)
Configuration 1	224 fF	385 mΩ	1845
Configuration 2	242 fF	373 mΩ	1763 (115 at 11 GHz)
	+8%	-3%	-4%

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2009/051620

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01G4/005 H01G4/30 H01L21/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01G H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2007/126078 A1 (HUANG KAI-YI [TW] ET AL) 7 June 2007 (2007-06-07) paragraph [0041] - paragraphs [0043], [0052]; claim 5; figure 12b	1-17
X,P	US 2009/002916 A1 (WEI CHANG LIN [TW] ET AL) 1 January 2009 (2009-01-01) figure 2	1
X	CA 2 395 900 A1 (DEVRIES CHRISTOPHER ANDREW [CA]; MASON RALPH DICKSON [CA]) 12 February 2004 (2004-02-12) page 5 - page 6; figure 1	1
A	WO 96/27907 A1 (NORTHERN TELECOM LTD [CA]) 12 September 1996 (1996-09-12) claim 1	1-17

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C. [X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
27 January 2010	04/02/2010

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Lescop, Emmanuelle

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2009/051620

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2004/174655 A1 (TSAI TSE-LUN [TW] ET AL) 9 September 2004 (2004-09-09) figure 8	1-17
A	US 2006/086965 A1 (SAKAGUCHI AKEMI [JP] ET AL) 27 April 2006 (2006-04-27) page 3 - page 6	1-17
A	FR 2 870 042 A1 (ST MICROELECTRONICS SA [FR]) 11 November 2005 (2005-11-11) the whole document	1-17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/FR2009/051620

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2007126078 A1	07-06-2007	NONE	
US 2009002916 A1	01-01-2009	NONE	
CA 2395900 A1	12-02-2004	AU 2003257311 A1	25-02-2004
		WO 2004015777 A1	19-02-2004
		US 2004031982 A1	19-02-2004
WO 9627907 A1	12-09-1996	CA 2214123 A1	12-09-1996
		DE 69621011 D1	06-06-2002
		DE 69621011 T2	27-02-2003
		EP 0813752 A1	29-12-1997
		JP 4382876 B2	16-12-2009
		JP 11501159 T	26-01-1999
		US 5583359 A	10-12-1996
US 2004174655 A1	09-09-2004	NONE	
US 2006086965 A1	27-04-2006	CN 1779966 A	31-05-2006
		JP 4343085 B2	14-10-2009
		JP 2006128164 A	18-05-2006
FR 2870042 A1	11-11-2005	US 2005259379 A1	24-11-2005

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/FR2009/051620

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. H01G4/005 H01G4/30 H01L21/02

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
H01G H01L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2007/126078 A1 (HUANG KAI-YI [TW] ET AL) 7 juin 2007 (2007-06-07) alinéa [0041] - alinéas [0043], [0 52]; revendication 5; figure 12b	1-17
X,P	US 2009/002916 A1 (WEI CHANG LIN [TW] ET AL) 1 janvier 2009 (2009-01-01) figure 2	1
X	CA 2 395 900 A1 (DEVRIES CHRISTOPHER ANDREW [CA]; MASON RALPH DICKSON [CA]) 12 février 2004 (2004-02-12) page 5 - page 6; figure 1	1
A	WO 96/27907 A1 (NORTHERN TELECOM LTD [CA]) 12 septembre 1996 (1996-09-12) revendication 1	1-17

-/--

[X] Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

[X] Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
27 janvier 2010	04/02/2010

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Lescop, Emmanuelle

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/FR2009/051620

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 2004/174655 A1 (TSAI TSE-LUN [TW] ET AL) 9 septembre 2004 (2004-09-09) figure 8	1-17
A	US 2006/086965 A1 (SAKAGUCHI AKEMI [JP] ET AL) 27 avril 2006 (2006-04-27) page 3 - page 6	1-17
A	FR 2 870 042 A1 (ST MICROELECTRONICS SA [FR]) 11 novembre 2005 (2005-11-11) le document en entier	1-17

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/FR2009/051620

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2007126078 A1	07-06-2007	AUCUN	
US 2009002916 A1	01-01-2009	AUCUN	
CA 2395900 A1	12-02-2004	AU 2003257311 A1	25-02-2004
		WO 2004015777 A1	19-02-2004
		US 2004031982 A1	19-02-2004
WO 9627907 A1	12-09-1996	CA 2214123 A1	12-09-1996
		DE 69621011 D1	06-06-2002
		DE 69621011 T2	27-02-2003
		EP 0813752 A1	29-12-1997
		JP 4382876 B2	16-12-2009
		JP 11501159 T	26-01-1999
		US 5583359 A	10-12-1996
US 2004174655 A1	09-09-2004	AUCUN	
US 2006086965 A1	27-04-2006	CN 1779966 A	31-05-2006
		JP 4343085 B2	14-10-2009
		JP 2006128164 A	18-05-2006
FR 2870042 A1	11-11-2005	US 2005259379 A1	24-11-2005