

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 17.07.03.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 21.01.05 Bulletin 05/03.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

71 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE Etablissement de caractère scientifique techni-
que et industriel — FR et STMICROELECTRONICS SA
— FR.

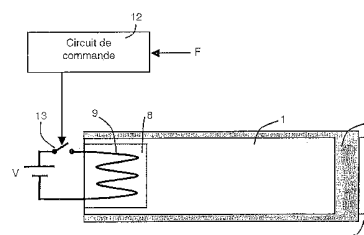
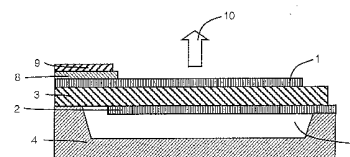
72 Inventeur(s) : ROBERT PHILIPPE, ANCEY PASCAL
et CARUYER GREGORY.

73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : CABINET HECKE.

54 RESONATEUR ACOUSTIQUE DE VOLUME A FREQUENCE DE RESONANCE AJUSTEE ET PROCEDE DE
REALISATION.

57 Le résonateur comporte une couche piézoélectrique
(3) disposée entre deux électrodes (1, 2). Une résistance
électrique (9) de chauffage est disposée en contact thermi-
que avec au moins une des électrodes (1). Le chauffage
temporaire de l'électrode (1) permet d'évaporer partielle-
ment le matériau constituant l'électrode (1), de manière à
amincir l'électrode (1) et, ainsi, d'ajuster la fréquence de ré-
sonance. La mesure de la fréquence de résonance au cours
de l'évaporation permet d'interrompre le chauffage lorsque
la fréquence de résonance désirée est obtenue. L'une des
électrodes peut être disposée sur un substrat constitué par
un réseau de Bragg acoustique. Le résonateur peut com-
porter un substrat (4) comportant une cavité (5) sur laquelle
est disposée, au moins partiellement, l'une des électrodes
(2).



Résonateur acoustique de volume à fréquence de résonance ajustée et procédé de réalisation

5 Domaine technique de l'invention

L'invention concerne un résonateur acoustique de volume ayant au moins une fréquence de résonance et comportant une couche piézoélectrique disposée entre deux électrodes.

10

État de la technique

Dans une chaîne d'émission-réception, par exemple pour communication mobile, plusieurs niveaux de filtrage radiofréquence sont nécessaires : en sortie d'antenne, comme filtre de rejet, etc... Pour réaliser des filtres radiofréquence, actuellement, trois techniques principales sont utilisées :

- Les circuits du type RLC, qui sont intégrables, mais dont les caractéristiques sont médiocres compte tenu des performances de chacun des composants, en particulier de l'inductance, le facteur de qualité d'une inductance intégrée dépassant difficilement 30.
- Les filtres céramiques, qui ne sont pas intégrables.
- Les composants à ondes acoustiques de surface (« SAW : surface acoustic wave »), qui ne sont pas intégrables.

25

Dans les composants de type SAW, une onde acoustique de surface est excitée dans un matériau piézoélectrique par un premier réseau d'électrodes en peigne. Un deuxième réseau d'électrodes en peigne est intercalé dans le premier réseau et détecte l'onde de surface pour fournir la tension de sortie du filtre. La

largeur, l'écartement et le nombre de doigts des peignes déterminent une fréquence de résonance ou une bande passante du filtre. La surface de ces composants, typiquement de plusieurs mm², et les matériaux utilisés les rendent inadaptés à une intégration sur circuits intégrés. Par ailleurs, les filtres du type SAW sont limités en fréquence à une gamme comprise entre 100MHz et environ 2,5 GHz.

Un autre axe de recherche apparaît, basé sur l'utilisation de résonateurs à ondes acoustiques de volume (« BAW : bulk acoustic wave »). Ces résonateurs peuvent être intégrés et offrent des facteurs de qualité importants (>1000). Une onde acoustique de volume est excitée dans une couche mince piézoélectrique comprise entre deux électrodes. Des filtres réalisés à partir de résonateurs de type BAW comportent généralement plusieurs résonateurs couplés. Les fréquences de résonance des résonateurs individuels déterminent la fréquence centrale du filtre. Sa bande passante dépend des caractéristiques du couplage, par exemple de la position et de la rigidité, tandis que le nombre de résonateurs donne l'ordre du filtre. Ce type de résonateur permet de réaliser des filtres dans une gamme comprise entre 300 MHz et environ 10 GHz.

On distingue deux types de résonateurs acoustiques de volume :

- Les résonateurs acoustiques de volume à couche mince (« FBAR : Thin Film Bulk Acoustic Resonators »), représentés aux figures 1 et 2, où l'empilement constitué par les deux électrodes 1 et 2 et la couche piézoélectrique 3, est éloigné d'un substrat 4 par une cavité 5 permettant de réduire la dissipation des ondes acoustiques. La cavité 5 est réalisée soit par gravure du substrat 4 (figure 1) soit en suspendant ledit empilement (figure 2) par l'utilisation d'une couche sacrificielle lors de la fabrication.
- Les résonateurs montés solidement (« SMR : Solidly Mounted Resonators »), dans lesquels l'empilement constitué par les deux

électrodes 1 et 2 et la couche piézoélectrique 3 est disposé sur un réseau de Bragg 6 acoustique destiné à réfléchir l'onde acoustique (figure 3). Un réseau de Bragg acoustique est constitué d'un empilement de couches, 7, 7' et 7'' sur la figure 3, de matériaux différents présentant des impédances acoustiques très différentes, l'épaisseur de chaque couche 7, 7' et 7'' correspondant approximativement à un quart de la longueur d'onde acoustique.

Pour ces deux types de résonateurs acoustiques de volume, la fréquence de résonance est inversement proportionnelle à l'épaisseur de la couche piézoélectrique 3. Dans le cas d'une couche piézoélectrique en nitrure d'aluminium, par exemple, une fréquence de 2GHz est obtenue pour une épaisseur de 1,8 μm environ.

Dans les applications radiofréquence, on recherche classiquement des fréquences de résonance de l'ordre du GHz, qui correspondent à des épaisseurs de couches piézoélectriques voisines du micron. Un contrôle de la fréquence à une dizaine de MHz près correspond à un contrôle de l'épaisseur de la couche piézoélectrique de l'ordre de 10 nm, c'est-à-dire d'environ 1% de l'épaisseur totale, ce qui d'un point de vue industriel n'est guère envisageable. Les erreurs d'épaisseur des électrodes et de la couche piézoélectrique induisent alors une erreur de la fréquence de résonance. Par conséquent, on utilise des méthodes d'ajustement de la fréquence de résonance, en cours ou après réalisation du composant. Or, les méthodes d'ajustement connues détériorent les performances du composant final et/ou rendent sa fabrication compliquée. En effet, pour modifier la fréquence de résonance après fabrication du composant, il est possible de lui associer une diode du type varactor (« variable capacitor ») en série. Le changement de la valeur de la capacité variable de la diode modifie la fréquence de résonance de l'ensemble. Cependant, le facteur

de qualité des diodes du type varactor est très faible par rapport aux facteurs de qualité des résonateurs du type BAW et réduit, ainsi, considérablement le facteur de qualité de l'ensemble.

- 5 D'autres méthodes d'ajustement de la fréquence de résonance reposent sur des dépôts ou des gravures successives et des mesures de fréquence de résonance intermédiaires. Ces méthodes sont généralement lourdes et coûteuses.
- 10 Dans le document US 5,873,153, un matériau conducteur fusible est disposé dans la cavité d'un résonateur de type FBAR. Le passage d'un courant provoque l'évaporation du matériau fusible, qui se dépose sur les parois de la cavité. Dans une première approche, le matériau fusible est initialement disposé sur le substrat et se dépose, après évaporation, en formant une couche sur
- 15 l'électrode disposée sur la cavité. Cette méthode nécessite, en plus des étapes classiques de fabrication du résonateur, de venir positionner et aligner une plaque comportant le matériau fusible sous chaque composant. Le matériau évaporé peut générer des contraintes et dégrader les performances du résonateur. De plus, la couche de matériau évaporé peut modifier les propriétés
- 20 acoustiques par ajout d'une interface. Dans une seconde approche, le matériau fusible est initialement disposé sous forme d'une couche sur l'électrode et se dépose, après évaporation, sur les parois de la cavité appartenant au substrat. Le matériau fusible non-évaporé peut modifier les propriétés acoustiques par ajout de l'interface entre ce matériau et l'électrode. Les deux approches
- 25 conviennent aux résonateurs du type FBAR, mais ne sont pas applicables aux résonateurs du type SMR. De plus, l'ajustement de fréquence se fait par l'intermédiaire d'une couche supplémentaire sur l'électrode dans laquelle la densité d'énergie acoustique est assez faible. L'effet d'une modification de cette

couche supplémentaire est, par conséquent, faible par rapport à l'influence de l'épaisseur de la couche piézoélectrique ou des électrodes.

5 **Objet de l'invention**

L'invention a pour but de remédier à ces inconvénients et, en particulier, de réaliser un résonateur acoustique de volume ayant une fréquence de résonance prédéterminée, tout en simplifiant le procédé de fabrication.

10

Selon l'invention, ce but est atteint par le fait que le résonateur comporte des moyens de chauffage disposés en contact thermique avec au moins une des électrodes et permettant, par chauffage temporaire de l'électrode, d'évaporer partiellement le matériau constituant l'électrode.

15

Selon un mode de réalisation préférentiel, les moyens de chauffage comportent au moins une résistance électrique.

20

Selon un développement de l'invention, le résonateur comporte une couche électriquement isolante sur une face extérieure d'au moins une des électrodes, la résistance électrique étant disposée sur la face extérieure de la couche isolante.

25

Selon un autre développement de l'invention, la résistance électrique est intégrée dans l'électrode.

Selon une variante de réalisation, la face extérieure d'une des électrodes est disposée sur une face avant d'un substrat constitué par un réseau de Bragg

acoustique, les moyens de chauffage étant en contact thermique avec l'autre électrode.

5 Selon une autre variante de réalisation, le résonateur comporte un substrat comportant une cavité sur laquelle est disposée, au moins partiellement, l'une des électrodes.

L'invention a également pour but un procédé comportant

- le dépôt d'une première électrode sur un substrat,
- 10 - le dépôt de la couche piézoélectrique sur la première électrode,
- le dépôt d'une deuxième électrode sur la couche piézoélectrique,
- la réalisation des moyens de chauffage, disposés en contact thermique avec au moins une des électrodes,
- la commande, pendant une période déterminée, des moyens de chauffage,
- 15 de manière à amincir l'électrode, par évaporation du matériau la constituant et, ainsi, à ajuster la fréquence de résonance.

Selon un développement de l'invention, le procédé comporte la mesure de la fréquence de résonance au cours de l'évaporation du matériau de l'électrode, et
20 l'interruption de la commande des moyens de chauffage lorsque la fréquence de résonance désirée est obtenue.

Description sommaire des dessins

25

D'autres avantages et caractéristiques ressortiront plus clairement de la description qui va suivre de modes particuliers de réalisation de l'invention donnés à titre d'exemples non limitatifs et représentés aux dessins annexés, dans lesquels :

Les figures 1 à 3 représentent des résonateurs acoustiques de volume selon l'art antérieur.

Les figures 4 et 5 représentent un mode de réalisation particulier d'un résonateur du type FBAR selon l'invention, respectivement en coupe et en vue de dessus.

Les figures 6 et 7 représentent un mode de réalisation particulier d'un résonateur du type SMR selon l'invention, respectivement en coupe et en vue de dessus.

Description de modes particuliers de réalisation

Le résonateur acoustique de volume représenté aux figures 4 et 5 comporte une couche piézoélectrique 3 disposée entre deux électrodes 1 et 2 planes. L'ensemble de la couche piézoélectrique 3 et des deux électrodes 1 et 2 est disposé sur un substrat 4 comportant une cavité 5 sur laquelle est disposée l'une des électrodes 2. Sur la face extérieure de l'autre électrode 1, est disposée une couche électriquement isolante 8. Une résistance électrique 9 de chauffage de l'ordre de quelques centaines d'ohms, est disposée sur la couche isolante 8. La couche isolante 8 est suffisamment fine pour permettre un contact thermique entre l'électrode 1 et la résistance électrique 9. Un circuit de contrôle 12 d'un interrupteur 13, disposé en série avec la résistance, permet d'appliquer temporairement une tension électrique V aux bornes de la résistance électrique 9 (figure 5). L'électrode 1 correspondante est ainsi chauffée, ce qui provoque l'évaporation partielle (schématisée par la flèche 10) du matériau constituant l'électrode 1 (figure 4) et, ainsi, l'amincissement de l'électrode 1. L'électrode 2 s'amincit également, dans une plus faible proportion que l'électrode 1, par conduction thermique via la couche piézoélectrique 3.

La fréquence de résonance F du résonateur acoustique de volume dépendant de l'épaisseur des électrodes 1 et 2, l'amincissement correspond à une modification de la fréquence de résonance. Ainsi, la fréquence de résonance F peut être ajustée de manière contrôlée en évaporant progressivement une partie du matériau constituant l'électrode 1 et/ou l'électrode 2. Dans un mode de réalisation préférentiel, la fréquence de résonance F , mesurée par tout moyen approprié commun, est fournie au circuit de contrôle 12 et la commande de la résistance électrique 9 de chauffage est interrompue (ouverture de l'interrupteur 13) lorsque la fréquence de résonance désirée est obtenue.

L'épaisseur initiale de l'électrode à amincir est suffisamment importante, par exemple environ $0,2 \mu\text{m}$, pour permettre de compenser une erreur de fréquence de résonance correspondant aux variations d'épaisseur des électrodes et de la couche piézoélectrique dues à la fabrication.

Dans le cas d'un résonateur du type FBAR, l'électrode disposée sur la cavité peut également être amincie, au moyens d'une résistance de chauffage correspondante, à moins que le résonateur ne comporte une membrane diélectrique disposée entre le substrat et l'électrode correspondante.

Aux figures 6 et 7, la face extérieure d'une première électrode 2 est disposée sur un substrat constitué par un réseau de Bragg 6 acoustique. Le réseau de Bragg 6 est composé d'un empilement de couches, alternativement 7 et 7', de matériaux présentant des impédances acoustiques très différentes. La première électrode 2 étant enfermée entre le réseau de Bragg 6 et la couche piézoélectrique 3, elle ne peut être évaporée. Ainsi, dans un résonateur de ce type, la résistance électrique 9 de chauffage peut uniquement être disposée en contact thermique avec la deuxième électrode 1.

Dans le mode particulier de réalisation représenté sur les figures 6 et 7, la résistance électrique 9 de chauffage est intégrée dans la deuxième électrode 1. Comme représenté à la figure 7, une couche électriquement isolante 11 est
 5 intégrée dans la deuxième électrode 1, de manière à délimiter la résistance électrique 9 de chauffage dans le matériau de l'électrode 1. Comme représenté sur la figure 7, pendant la génération d'ondes acoustiques dans le résonateur, une borne d'une source de tension alternative V_a , appliquée entre les première et deuxième électrodes (2 et 1), peut également être connectée à la résistance
 10 électrique 9 de chauffage, qui constitue, ainsi, une partie de l'électrode 1.

La résistance électrique 9 de chauffage forme, de préférence, un serpentín. Le serpentín est dimensionné (longueur, largeur, nombre de méandres) en fonction de la résistivité du matériau utilisé et de son épaisseur, de manière à obtenir
 15 une résistance chauffante de quelques centaines d'ohms. Le serpentín peut éventuellement couvrir entièrement la surface de l'électrode 1. Dans ce cas, la résistance électrique 9 constitue elle-même l'électrode 1.

Selon un mode particulier de réalisation d'un procédé de fabrication d'un résonateur, une première électrode 2 est déposée sur un substrat, par exemple sur un substrat constitué par un réseau de Bragg 6 acoustique, comme représenté sur la figure 6, ou sur un substrat 4 comportant une cavité 5 (figure 4) remplie d'une couche sacrificielle. Puis la couche piézoélectrique 3 est déposée sur la première électrode 2 et la deuxième électrode 1 est ensuite
 20 déposée sur la couche piézoélectrique 3 (figures 4 et 6). Les matériaux typiquement utilisés sont le nitrure d'aluminium ou l'oxyde de zinc pour la couche piézoélectrique 3 et l'aluminium, le molybdène ou le platine pour les électrodes 1 et 2. La profondeur d'une cavité 5 dans la face avant du substrat 4 est typiquement de l'ordre de 0,5 μm . L'épaisseur des électrodes 1 et 2 est

- environ de $0,2\ \mu\text{m}$. Ensuite, la résistance électrique 9 de chauffage est réalisée, par exemple par gravure d'une rainure en forme de serpentín dans la deuxième électrode 1 et par dépôt de la couche électriquement isolante 11 (figure 7) dans cette rainure. Afin d'évaporer partiellement le matériau de la deuxième électrode 1, une tension électrique V, de l'ordre de 5V, est appliquée temporairement à la résistance électrique 9. Ainsi, l'électrode 1 est amincie par évaporation 10 (figure 6) du matériau la constituant, de préférence sous vide, ce qui permet d'ajuster la fréquence de résonance F.
- 10 Comme précédemment, la fréquence de résonance F peut être mesurée au cours de l'évaporation 10 du matériau de l'électrode 1, de manière à provoquer l'interruption de la commande de la résistance électrique 9 de chauffage lorsque la fréquence de résonance désirée est obtenue.
- 15 L'invention est applicable aussi bien aux résonateurs de type FBAR qu'aux résonateurs de type SMR et elle n'est pas limitée aux modes de réalisation représentés. En particulier, plusieurs résistances électriques de chauffage peuvent être utilisées.
- 20 La réalisation du résonateur est compatible avec les technologies de fabrication des circuits intégrés. L'ajustement de la fréquence peut être automatisé par un circuit de commande intégré, avec le résonateur, sur une même puce.

Revendications

1. Résonateur acoustique de volume ayant au moins une fréquence de résonance, comportant une couche piézoélectrique (3) disposée entre deux électrodes (1, 2), résonateur caractérisé en ce qu'il comporte des moyens de chauffage disposés en contact thermique avec au moins une des électrodes (1) et permettant, par chauffage temporaire de l'électrode (1), d'évaporer partiellement le matériau constituant l'électrode (1).
5
2. Résonateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de chauffage comportent au moins une résistance électrique (9).
10
3. Résonateur selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comporte une couche électriquement isolante (8) sur une face extérieure d'au moins une des électrodes (1), la résistance électrique (9) étant disposée sur la face extérieure de la couche électriquement isolante (8).
15
4. Résonateur selon la revendication 2, caractérisé en ce que la résistance électrique (9) est intégrée dans l'électrode (1).
20
5. Résonateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la face extérieure d'une des électrodes (2) est disposée sur un substrat constitué par un réseau de Bragg acoustique (6), les moyens de chauffage étant en contact thermique avec l'autre électrode (1).
25
6. Résonateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comporte un substrat (4) comportant une cavité (5) sur laquelle est disposée, au moins partiellement, l'une des électrodes (2).

7. Procédé de fabrication d'un résonateur acoustique de volume selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comporte

- le dépôt d'une première électrode (2) sur un substrat (4),
- le dépôt de la couche piézoélectrique (3) sur la première électrode (2),
- 5 - le dépôt d'une deuxième électrode (1) sur la couche piézoélectrique (3),
- la réalisation des moyens de chauffage (9), disposés en contact thermique avec au moins une des électrodes (1),
- la commande (12, 13), pendant une période déterminée, des moyens de chauffage, de manière à amincir l'électrode (1), par évaporation (10) du
- 10 matériau la constituant et, ainsi, à ajuster la fréquence de résonance (F).

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'il comporte la mesure de la fréquence de résonance (F) au cours de l'évaporation (10) du matériau de l'électrode (1), et l'interruption de la commande (12, 13) des moyens de

15 chauffage lorsque la fréquence de résonance désirée est obtenue.

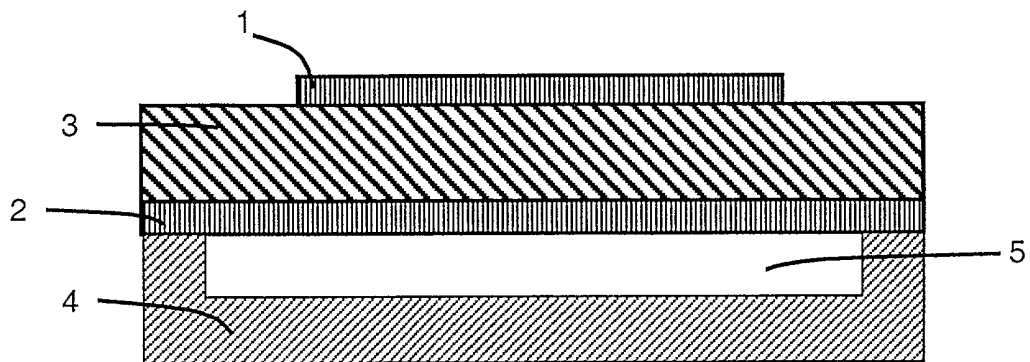


Figure 1 (Art antérieur)

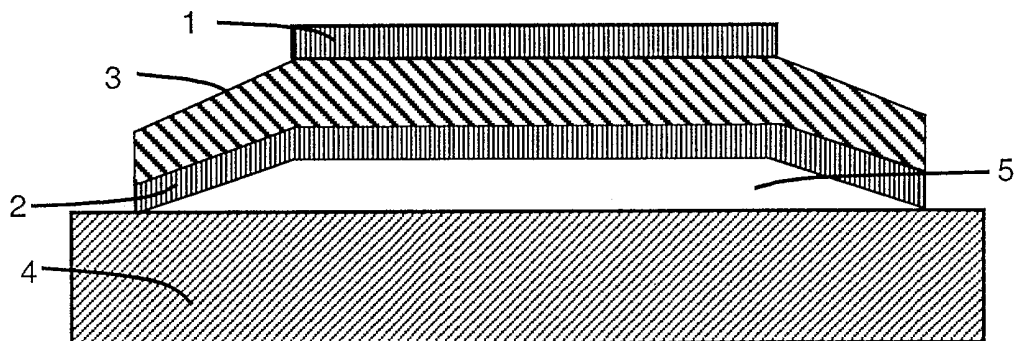


Figure 2 (Art antérieur)

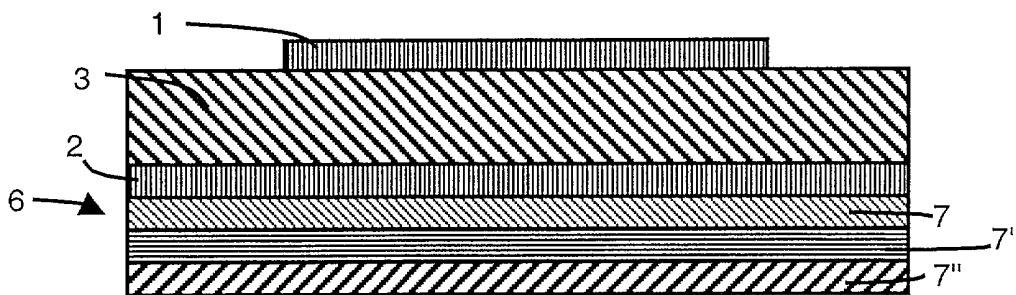


Figure 3 (Art antérieur)

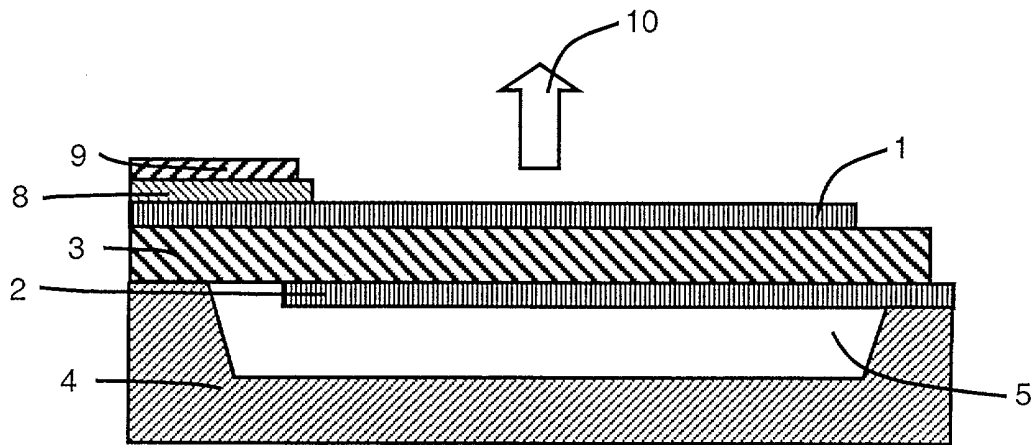


Figure 4

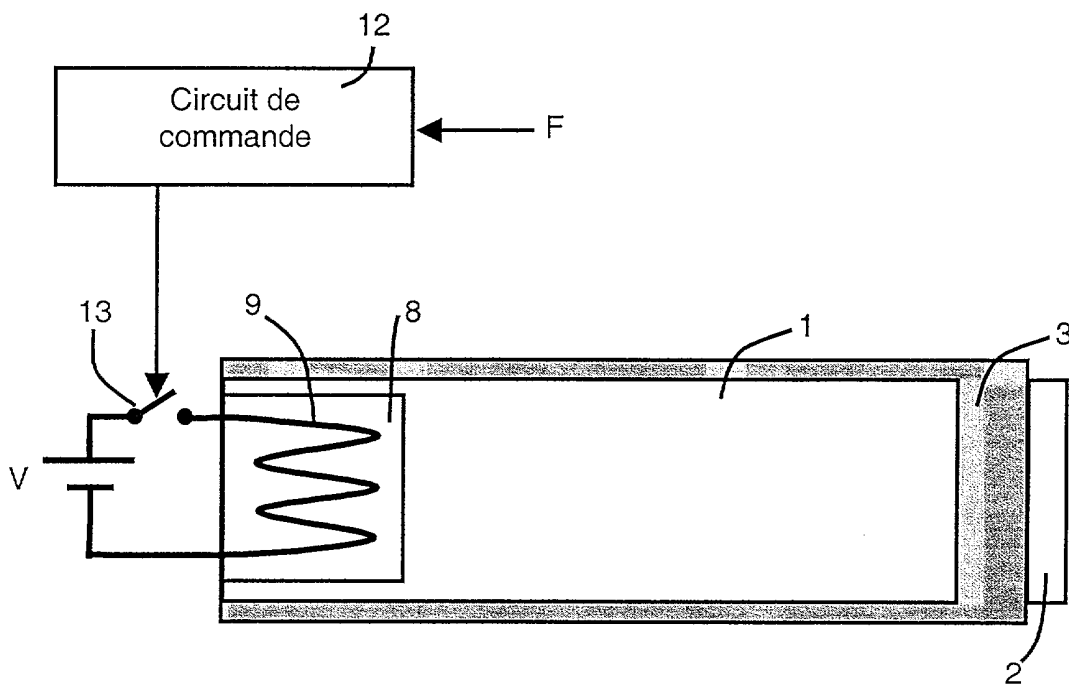


Figure 5

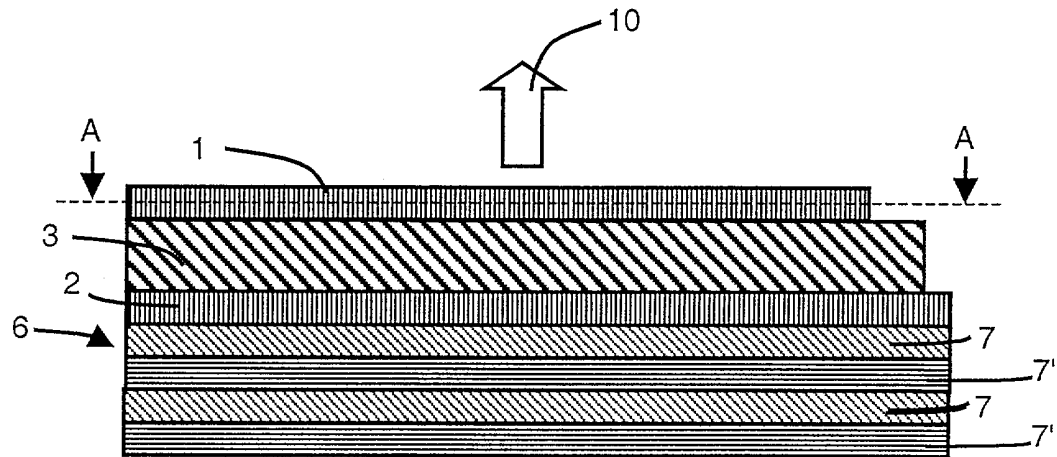


Figure 6

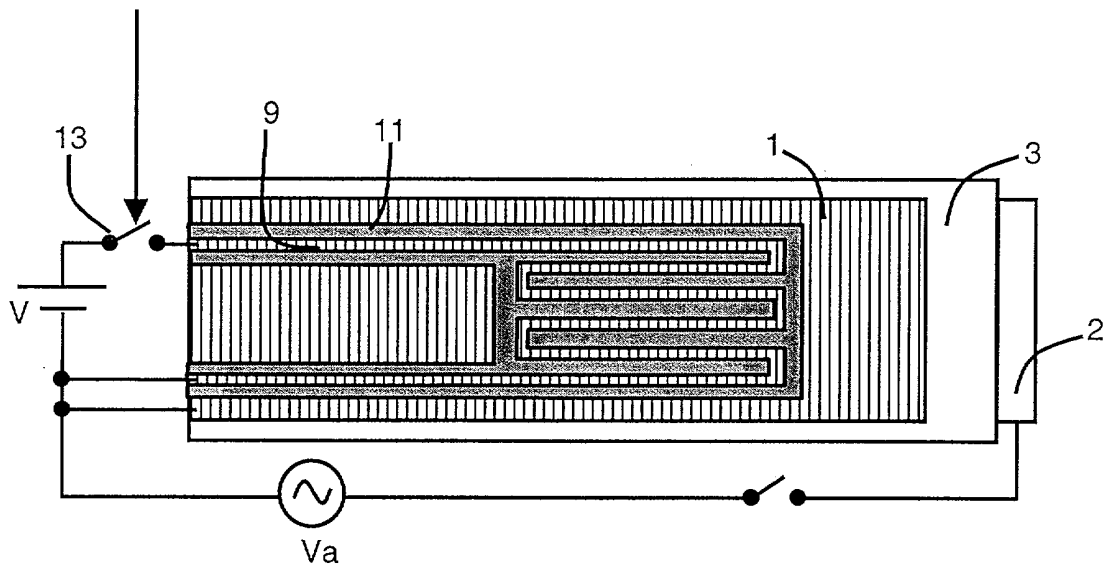


Figure 7

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 637023
FR 0308715

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
D,A	US 5 587 620 A (MERCHANT PAUL P ET AL) 24 décembre 1996 (1996-12-24) * figure 9 * * abrégé * * colonne 5, ligne 30-46 * ---	1-8	H01L41/047 H03H9/17 H03H3/04
A	GB 971 571 A (TELEFUNKEN PATENT) 30 septembre 1964 (1964-09-30) * page 1, colonne de droite, ligne 68,69 * * page 1, colonne de droite, ligne 75 - page 2, colonne de gauche, ligne 14 * * page 2, colonne de droite, ligne 74-92 * * page 3, colonne de gauche, ligne 1,2 * ---	1-8	
A	WO 84 00082 A (GTE PROD CORP) 5 janvier 1984 (1984-01-05) * abrégé; figure 3 * ---	1-8	
A	US 6 339 276 B1 (BARBER BRADLEY PAUL ET AL) 15 janvier 2002 (2002-01-15) * abrégé; figure 4 * ---	1-8	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 412 (E-676), 31 octobre 1988 (1988-10-31) & JP 63 151103 A (NIPPON DEMPA KOGYO CO LTD), 23 juin 1988 (1988-06-23) * abrégé * ---	1-8	H03H
A	GB 264 878 A (BRITISH THOMSON HOUSTON CO LTD) 9 juin 1927 (1927-06-09) * page 1, colonne de droite, ligne 66,67 * -----	1,7	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
5 mars 2004		Plathner, B-D	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS 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 T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ----- & : membre de la même famille, document correspondant			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0308715 FA 637023**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **05-03-2004**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5587620	A	24-12-1996	US	6507983 B1	21-01-2003
			US	5873153 A	23-02-1999

GB 971571	A	30-09-1964	DE	1166843 B	02-04-1964
			FR	1327673 A	17-05-1963

WO 8400082	A	05-01-1984	WO	8400082 A1	05-01-1984
			EP	0111483 A1	27-06-1984

US 6339276	B1	15-01-2002	US	2002185936 A1	12-12-2002
			US	2002008446 A1	24-01-2002

JP 63151103	A	23-06-1988	JP	2602215 B2	23-04-1997

GB 264878	A	09-06-1927	DE	445046 C	30-05-1927
			NL	23095 C	
