



CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **710 638 A2**

(51) Int. Cl.: **H01L 41/107** (2006.01)
H01L 41/083 (2006.01)
H03H 9/58 (2006.01)

Demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(12) **DEMANDE DE BREVET**

(21) Numéro de la demande: 00069/15

(71) Requérant:
GVR Trade SA, Ch. de la Rose, 10
2025 Gorgier (CH)

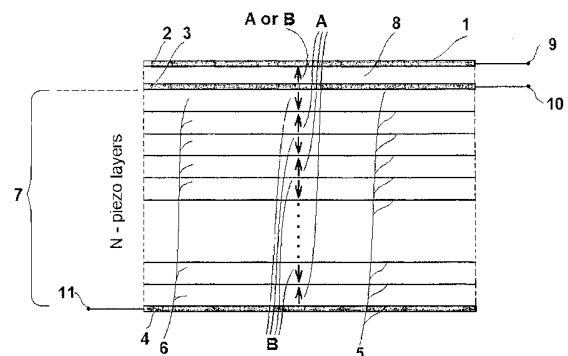
(22) Date de dépôt: 19.01.2015

(43) Demande publiée: 29.07.2016

(72) Inventeur(s):
Viktor Plesski, 2025 Gorgier (CH)
Ventsislav Yanchev, 1309 Sofia (BG)

(54) **Un filtre-transformateur piézoélectrique à ondes élastiques de volume.**

(57) L'invention concerne un transformateur piézoélectrique comprenant un transducteur piézoélectrique 8 pour générer des ondes élastiques longitudinales de volume et un empilement de couches piézoélectriques 7 polarisées avec une alternance de la polarisation de direction, dont les sens de polarisation A, B sont opposés les uns aux autres, caractérisé en ce que l'épaisseur des couches de l'empilement est choisie pour être sensiblement égale à la moitié de la longueur d'onde de l'onde élastique longitudinale se propageant selon la direction verticale dans le matériau piézoélectrique et un électrode «haute tension» supplémentaire 4 qui récupère la somme des tensions de l'empilement.



Description

Domaine de l'invention

[0001] L'invention présentée concerne les filtres piézoélectriques spécial, utilisant les ondes élastiques de volumes (BAW «Bulk Acoustic Wave») se propageant dans le substrat piézoélectrique, lesquels sont caractérisés par une valeur de la tension électrique en sortie plus grande que la valeur de la tension électrique en entrée. Le dispositif proposé permet de filtrer les fréquences tout en intégrant la fonctionnalité de transformateur des valeurs de tensions électrique d'entrée et de sortie. Par conséquent l'invention présentée sera référée en tant que filtre-transformateur piézoélectrique à ondes élastiques de volume.

[0002] Il est à noter que le changement de l'impédance électrique implique un changement des valeurs de tension électrique. Voici quelques descriptions des transformateurs piézoélectrique de tension électrique.

[0003] Les Filtres-transformateurs peuvent être utilisés pour augmenter la tension reçue par une antenne afin d'atteindre un niveau de tension nécessaire permettant de réveiller ou d'allumer un dispositif en veille ou éteint. Un schéma utilisant un filtre-transformateur est décrit dans le brevet de Katardjiev et Yantchev, Pat. No. WO 2012 156 818 A2 intitulé «A passive radio triggered switch with id functionality» («Un commutateur radio-fréquence passif avec la fonctionnalité d'identifiant»).

2. Description de l'art de la technique

[0004] Une mise en œuvre classique du transformateur de la tension électrique est le transformateur piézoélectrique de type Rosen [C. A. Rosen, «Ceramic Transformers and Filters, «Proc. Electronic Comp. Symp., pp. 205–211, 1956]. Le transformateur de type Rosen comprend une plaque piézoélectrique allongée. Une première partie de la plaque est polarisée dans le sens de l'épaisseur et est prise en sandwich entre deux électrodes. Une deuxième partie de la plaque piézoélectrique est polarisée dans le sens de la longueur et est électroniquement connectée à deux électrodes, la première électrode est l'une des deux électrodes appartenant à la première partie de la plaque, la deuxième électrode est placée au bout de la deuxième partie de la plaque sur son flanc. Lorsqu'un signal avec une tension électrique alternative, dont la fréquence est égale à la fréquence fondamentale de la résonance mécanique longitudinale, est appliquée aux bornes des électrodes de la première partie de la plaque, le champ électrique génère déformation mécanique longitudinale résonante grâce à l'effet piézoélectrique. Le déplacement longitudinal dans la seconde partie de la plaque est ensuite reconverti en une tension électrique grâce à l'effet piézoélectrique. La différence de potentiel en sortie entre les électrodes de la seconde partie de la plaque est plus grande (environ quelques centaines de fois) que la différence de potentiel en entrée entre les électrodes de la première partie de la plaque. Bien que cette structure soit solide et efficace, il est difficile de la dimensionner pour les hautes fréquences, car une partie de la plaque piézoélectrique a une polarisation orthogonale à l'autre partie. Ce type de polarisation est facilement réalisable avec des matériaux céramique piézoélectrique tel que du PZT en appliquant un champ électrique externe sur les électrodes, mais ce type de matériaux présentent des pertes inacceptables pour une communication radio-fréquence et plus spécifiquement pour la gamme des fréquences inférieures au gigahertz. Un autre inconvénient des transformateurs de type Rosen est leur faible bande passante résultant du faible coefficient de couplage piézoélectrique K_{31} qui parfois est relativement faible.

[0005] Pour remédier à la faible bande passante, le transformateur exploite l'épaisseur du matériau en utilisant les ondes de volumes (BAW) dans la plaque piézoélectrique. Avec cette conception, les ondes élastiques longitudinale de volume sont excitées plus efficacement dans la direction de l'épaisseur de la plaque, tout en exploitant le fort couplage électromécanique K_{33} . Une réalisation utilisant la piézoélectricité de minces films est décrite dans le brevet de Frank et al., pat. No. US 7 855 618 B2 intitulé «Bulk acoustic resonator electrical impedance transformers». Le transformateur est constitué de deux blocs des résonateur BAW, avec une couche de découplage entre les deux. Chaque bloc de résonateur BAW comprend une couche de matériaux piézoélectriques pris en sandwich entre deux électrodes. Les ports électriques du transformateur sont respectivement représentés par les électrodes des résonateurs BAW. Le champ électrique appliqué à l'un des ports, considéré ici comme le port d'entrée, est converti grâce à la piézoélectricité en ondes de volumes, qui à son tour se propagent dans l'épaisseur du matériau piézoélectrique du résonateur BAW concerné. La fréquence de résonance du champs électrique appliqué sur le port d'entrée, coïncide à la fréquence de résonance des BAW de l'ensemble du système (les deux résonateurs empilés). Les BAW, générées par le bloc résonateur d'entrée, sont couplées à l'autre bloc résonateur qui les reconvertit en champ électrique. Les électrodes du deuxième bloc résonateur correspondent à la sortie du système, le bloc du résonateur de sortie a une impédance électrique différente du bloc du résonateur d'entrée. La structure proposée est composée de deux blocs résonateurs qui ont la même polarisation, le rapport des impédances électriques des deux blocs est uniquement contrôlé par le rapport des épaisseurs des matériaux piézoélectriques des deux blocs et non par la polarisation du matériaux comme c'est le cas dans le transformateur de type Rosen. Cette architecture donne des résultats relativement limités pour la transformation de la tension électrique par rapport au transformateur de type Rosen.

[0006] Cette architecture peut aussi être utilisée avec un agencement particulier des deux blocs résonateurs, de tels sorte que le vecteur de polarisation soit dirigé dans le volume du matériaux selon l'axe-C dans les directions opposées. Cette arrangement offre la possibilité de déphaser le signal de sortie de 180 degré. Cet arrangement particulier alternant la polarisation des deux blocs a été proposé dans le brevet de R. Aigner et. al., intitulé «BAW resonator having piezoelectric

layers oriented in opposed directions» US pat. No. 6 975 183 B2 et dans le brevet de J. Larson III et al., intitulé «Method of making an acoustically coupled transformer», US pat. No. 7 367 095 B2.

[0007] L'un des modes de réalisation préférés du brevet américain «US pat. No. 6 975 183 B2», décrit un résonateur multicouches dont la polarisation alternée est dirigée dans des sens opposés. Les électrodes sont placés sur les interfaces entre les couches piézoélectriques de polarisation alternées. Les électrodes sont connectées au port d'entrée de manière à générer des champs électriques externe ayant des sens opposés dans chaque couche. Par conséquent, les contraintes mécaniques induites dans chaque couche piézoélectrique sont de même signe et ont une amplitude similaire. Une telle structure est efficace pour exciter une résonance de basse fréquence dans la structure.

[0008] L'un des autres modes de réalisation préféré du brevet Américain «US pat. No. 6 975 183 B2» décrit, un résonateur multicouches dont la polarisation alternée est dirigée dans des sens opposés et les électrodes sont placées aux deux extrémités de la structure. L'épaisseur de chaque couche est d'environ la moitié de la longueur d'onde de volume X, les contraintes mécaniques de chaque couche induisent un champ électrique de même sens et de même amplitude. Cette architecture est efficace pour exciter un harmonique d'une onde de volume caractérisée par une longueur d'onde d'environ deux fois l'épaisseur D de chaque couche piézoélectrique de polarisation alternée. Il est à noter que dans ce brevet, le principe d'une architecture multicouche piézoélectrique avec des sens alternés opposés de polarisation ne met pas en œuvre l'application possible d'induire une tension qui évolue avec le nombre de couches piézoélectrique de polarisation alternée.

[0009] Une architecture est composée de plusieurs couches piézoélectrique avec le sens de polarisation alterné. Les sens de la polarisations sont opposés l'un à l'autre dans la direction de l'épaisseur du matériau. L'architecture fonctionne comme un transformateur de mode de vibration de type BAW, elle est proposée dans le brevet de T. Inoue et al., intitulé «Thickness mode vibration piezoelectric transformer» US pat. No. 5 118 982. Dans cette structure, le dispositif se compose en deux parties, l'une d'elle est composée de plusieurs couches piézoélectriques dont la polarisation (dans le sens de l'épaisseur) est alternée. Les électrodes sont placés entre les différentes couches piézoélectriques. Les électrodes sont ensuite reliées entre elles de telle sorte que la partie du dispositif composée de plusieurs couches, soit caractérisée par une impédance électrique inférieure à celle de l'autre partie du dispositif. L'épaisseur totale du transformateur BAW est de l'ordre d'une moitié ou d'une longueur d'onde élastique de la fréquence de résonance. Il est à noter, que dans ce brevet toutes les électrodes doivent être connectées dans un ordre précis.

[0010] Un concept similaire de BAW a été en outre appliqué pour la vibration d'extension latéral d'une plaque composite utilisant le coefficient piézoélectrique K_{31}^2 . Ce concept est décrit dans le brevet de S. Takao intitulé «Piezoelectric transformer», EP pat. No. 0 714 141 B1. Ce brevet décrit une architecture de plusieurs couches piézoélectriques alternant le sens de polarisation qui est dirigé dans la direction du volume du matériau. Dans cette architecture, les deux parties de la structure sont constituées de plusieurs couches, les couches de la première partie du dispositif sont séparées en deux groupes qui renferment les couches de la deuxième partie. Bien que l'application de ce brevet atténue l'un des inconvénients du transformateur de type Rosen, à savoir la nécessité de deux directions de polarisation orthogonale l'une par rapport à l'autre sur le même matériaux, le faible coefficient de couplage K_{31} limite sont utilisation aux hautes fréquences pour lesquelles les couches ont un couplage électromécanique suffisamment élevé, mais présentent des pertes inacceptable.

Résumé de l'invention

[0011] L'objet de l'invention est de fournir un transformateur piézoélectrique BAW de tension, avec une efficacité de conversion élevée à des fréquences élevées et dans lequel l'impédance électrique dépend directement du nombre de couches piézoélectriques dont le sens de polarisation est alterné, ces couches sont connectées à un port électrique donné.

[0012] Conformément à l'invention, le transformateur piézoélectrique utilise l'épaisseur du substrat pour exciter les BAW, il fonctionne à une fréquence de résonance harmonique de sorte que la longueur d'onde des BAW au voisinage de chacune des couches piézoélectriques de l'empilement, soit deux fois plus grande que l'épaisseur D de chaque couche. Ainsi le produit de la fréquence f et de l'épaisseur D de la couche peut être approximativement approchée par $f \cdot D \approx V/2$, où V est la vitesse de phase des BAW-paramètre du matériel. En conséquence, la constante $f \cdot D$ peut être appliquée pour mettre en échelle la fréquence du transformateur. Ainsi, par exemple, une fréquence de synchronisme 10 fois plus faible, nécessite une épaisseur des couches piézoélectrique 10 fois plus grande.

[0013] Dans cette configuration basique la tension électrique induite par les BAW, dans chacune des couches piézoélectrique alternant les sens opposés de polarisation, s'accumule et somme avec les tensions électriques induit par les couches piézoélectriques voisines. En conséquence, la différence de potentiel global le long de la structure, s'adapte au nombre de couches piézoélectriques alternant le sens de la polarisation. L'impédance électrique de la structure proposée dépend de la surface des électrodes et plus particulièrement de la zone de chevauchement entre les électrodes.

[0014] Contrairement aux autres structures, le principe utilisé pour la transformation d'impédance électrique ne nécessite pas d'interconnecter des électrodes internes entre les couches piézoélectriques alternant la polarisation. En général, les couches d'électrodes dans la structure peuvent être utilisées pour un accès électrique mais ils ne rentrent pas au cœur du principe de transformation de la tension, bien qu'elles aient une influence sur l'efficacité de la transformation en raison de leurs pertes résistives et qu'elles perturbent la propagation des BAW. Ces électrodes internes peuvent être laissées aussi avec un potentiel électrique flottant.

[0015] Dans cette invention, le transformateur représente une extension spécifique de l'utilisation de plusieurs couches piézoélectriques avec un sens de polarisation alterné ou d'orientation d'axe c comme expliqué dans le brevet de R. Aigner et. al., intitulé «BAW resonator having piezoelectric layers oriented in opposed directions» US pat. No. 6 975 183 B2. Ce résonateur peut être considéré comme un prototype d'invention présentée ici.

Breve description des dessins

[0016] Ci-dessous, l'invention est décrite et expliquée, à titre d'exemple, en se basant sur certain modes de réalisation en se référant aux dessins.

- Fig. 1 montre une vue en coupe transversale d'un premier mode de réalisation du filtre-transformateur, conformément à l'invention.
- Fig. 2 Montre une simulation d'un modèle de vibration, à la fréquence de synchronisation, pour un filtre-transformateur comme celui présenté sur la Fig. 1 et comportant un mince film de nitrure d'aluminium comme couche piézoélectrique.
- Fig. 3 montre les résultats de la simulation en transmission pour une large bande passante d'un filtre-transformateur BAW connecté respectivement à des impédances électriques de 5 Ohm et 500 Ohm.
- Fig. 4 conformément à l'invention, montre une présentation schématique d'un filtre-transformateur adapté en impédance sur les ports du dispositif.
- Fig. 5 montre les résultat d'une simulation des coefficients de réflexion S11 et S22 sur diagramme de Smith pour un filtre-transformateur correspondant à celui montré dans la Fig. 4 et bien accordé à impédances de source et de la charge.
- Fig. 6 conformément à l'invention, montre une vue en coupe transversale du deuxième mode préféré de réalisation du filtre-transformateur.
- Fig. 7 Conformément à l'invention, montre une vue en coupe transversale du troisième mode préféré de réalisation du filtre-transformateur
- Fig. 8 conformément à l'invention, montre une vue en coupe transversale du quatrième mode de réalisation préféré du filtre-transformateur.

Definition de la terminologie

[0017] Tel qu'ils est utilisé ici «un», «une», «le» et «la», peut définir le nombre un ou plus que un.

[0018] Tel qu'utilisé ici, le terme «impédance électrique» fait référence à une mesure d'un obstacle à la circulation d'un courant alternatif, causé par la combinaison de résistances et de réactances et typiquement mesuré en Ohm pour une fréquence donnée.

[0019] Tel qu'il est utilisé, le terme «impédance acoustique» est une caractéristique du matériau qui fait référence au produit « $\rho \cdot V$ », « ρ » densité de la masse et 'V' la vitesse de phase, en supposant que les BAW se propageant dans le matériau le long de la direction de l'épaisseur de la couche.

[0020] Tel qu'il est utilisé ici, le terme «une alternance de couches piézoélectriques» se réfère à une séquence spécifique d'empilement de plusieurs couches piézoélectriques de telle sorte que chaque couche piézoélectrique ait une direction de polarisation opposée dans le sens de l'épaisseur ou une orientation d'axe C par rapport aux couches piézoélectrique voisine.

[0021] Tel qu'il est utilisé ici, le terme «transformation» se réfère au rapport des potentiels électriques entre la sortie et l'entrée.

[0022] Telle qu'utilisée ici, la zone de surface du transformateur est représentée par la zone efficace de l'électrode dans le plan orthogonal à la direction de la polarisation, respectivement selon l'axe C.

Description des modes de réalisation préférés

1. Premier mode de réalisation préféré

[0023] Dans la Fig. 1 un transformateur piézoélectrique 1, comprenant deux parties. La première partie est un transducteur piézoélectrique générant des ondes élastiques de volumes longitudinales ayant un vecteur de déplacement dans le sens perpendiculaire au transducteur plan, et ayant une couche piézo-électrique 8 et deux électrodes conductrices 2, 3 utilisées pour l'application de puissance radio-fréquence à travers les contacts d'entrées 9, 10 afin d'exciter lesdites ondes.

[0024] La deuxième partie représenté par un empilement de couche piézoélectrique 6 ayant une polarisation alternée ou une directions cristallographiques selon l'axe c (A, B), opposée les unes aux autres, et longitudinalement piézoélectriquement couplé. Ladite pile est fixée mécaniquement 7 par la première couche de l'un des côtés dudit transducteur.

[0025] Ledit empilement est caractérisé par son épaisseur de couche D qui est choisi pour être égal à une moitié de la longueur d'onde λ de l'onde élastique longitudinal se propageant dans le sens vertical du matériaux piézoélectrique dudit empilement de couches ($D=\lambda/2$). Les couches de l'empilement sont séparées par les domaines d'interfaces 5 qui sont des matériaux diélectriques ou métalliques d'une épaisseur d beaucoup plus petite que D ($d<0.1*D$).

[0026] Ledit transducteur est caractérisé par l'épaisseur de la couche piézoélectrique 8 du transducteur D_{TR} , étant ajustée pour la plage $0.2\lambda - 0.8 \lambda$.

[0027] La fréquence de fonctionnement F_0 est réglée pour fournir une résonance harmonique de l'ensemble de l'empilement, de telle sorte que la condition $\lambda=2D$ soit satisfaite, créant ainsi une résonance d'onde stationnaire dans l'empilement.

[0028] L'électrode «haute tension» 4 collectant la somme des tension additionnées dans l'empilement est placée à l'extérieur de la dernière couche dudit empilement et est connectée au contact de la sortie 11 du transformateur.

[0029] Les électrodes (2), (3) et (4) sont sous la forme d'une films mince conductrice. Les couches piézoélectriques sont soit des couches de céramiques avec une polarisation verticale en direction de l'épaisseur du matériau ou d'une fine couche piézoélectrique avec une structure cristallographique de Wurtizite tels que AlN, ZnO, GaN, etc., orientée selon l'axe C verticale en direction de l'épaisseur du matériau.

[0030] L'empilement des couches piézoélectriquement alternées 7, a une impédance électrique plus grande que l'impédance électrique de la première partie. Les couches piézoélectriquement alternées 6 sont séparées entre elles par d'autres couches du domaine d'interface 5. Chaque domaine d'interface peut être représenté par:

- a) une interface géométrique entre deux couches piézoélectriques adjacentes;
- b) une couche de matériau électriquement conducteur;
- c) une couche de matériau ayant une impédance acoustique plus faible par rapport à celle des couches piézoélectriques.
- d) une couche de matériau ayant une impédance acoustique plus grande par rapport à celle des couches piézoélectriques.
- e) une couche de départ formée avant l'étape ultérieure de déposition d'une couche piézoélectrique qui serve a former la couche avec une orientation d'axe cristallin préférée.
- f) une combinaison de composite de toutes couches minces décrit aux points a), b), c), d), e).

[0031] La propagation des BAW dans la deuxième partie (7) induit des différences de potentiels électriques entre les domaines d'interfaces entourant chaque couche piézoélectrique. La condition de synchronisme requise, implique que ces différences de potentiel s'additionnent de façon constructive le long de l'empilement de plusieurs couches. Conformément à cette condition, le coefficient de transformation global de la tension est déterminé par le nombre de couches N dans l'empilement et est proche de $N*D/D_{TR}$.

[0032] Dans la Fig. 2, le modèle de vibration est dimensionné pour satisfaire la condition de synchronisme, il est simulé à partir de la structure représentée dans la Fig. 1. Dans cette simulation, le dit transducteur se compose d'une épaisseur de 0.8um de AlN (nitruire d'aluminium) texturé-C 6, prise en sandwich entre deux électrodes d'aluminium d'épaisseur 0.1 μm 2,3. L'électrode 3 est une électrode ordinaire connectée à la masse pour le transformateur, tandis que le potentiel électrique RF d'entrée est appliqué sur l'électrode 2. Ledit empilement 7 est constitué de 10 couches d'AlN texturé-C 8 d'épaisseur 1 μm avec une électrode d'aluminium 4 d'une épaisseur de 0.1 μm formant la sortie électrique «haute tension». La fréquence de synchronisme est d'environ $F_0=5.56 \text{ GHz}$. Le déplacement longitudinal des BAW est affiché en couleurs représentant respectivement la compression de l'épaisseur et l'extension de l'épaisseur. Il est clairement montré que les motifs de déplacement des BAW satisfont la condition d'une demi longueur d'onde à l'intérieur de chacune des couches piézoélectriquement alternées

[0033] La structure présentée a été simulée en transmission, en supposant une aire de la surface de 300 μm x 300 μm , et les dimensions pour l'épaisseur discutées ci-dessus. Les calculs sont effectués en supposant des pertes élastiques correspondant à un facteurs de qualité du matériau Q d'environ 2000.

[0034] Dans la Fig. 3 le coefficient de transduction S21 en fonction de la fréquence est affiché en dB, il représente les pertes d'insertion de l'appareil connecté à des résistances environnementales de 5 Ohm (source) et 500 Ohm (charge). Le générateur avec impédance interne de 5 Ohm est connectée au contact d'entrée 9 et le contact commun de la masse 10, tandis que la charge de 500 Ohm est connectée au contact de sortie «haute tension» 11 et à la masse commune 10.

[0035] La fig. 3 montre clairement la réponse de la structure pour une résonance harmonique, où les pics de résonances sont périodiquement décalés les uns des autres par la fréquence de la résonance des BAW fondamentales de la structure. La résonance au voisinage de $F_0*D= 5,56 \text{ GHz}*\mu\text{m}$ est la plus proche de la condition de synchronisme du filtre-transformateur. A cette fréquence de résonance, les pertes d'insertion sont d'environ 1 dB.

[0036] La même topologie du dispositif et les mêmes conditions de simulation sont utilisées pour calculer les résultats présentés en Fig. 3, nous avons calculé et dimensionné un filtre-transformateur BAW dont la surface est de 100 μm x 100 μm . L'adaptation électrique de la structure simulé a été réalisée en utilisant une impédance électrique de 25 Ohm et de

5000 Ohm connectée respectivement sur l'entrée et la sortie «haute tension» du dispositif. Une inductance d'une valeur de 0,75 nH est connectée sur l'électrode d'entrée 9. La Fig. 4 montre une vue schématique de la configuration de l'adaptation électrique. Conformément à l'invention, la fig. 5 montre les coefficients de réflexion S11 et S22 sur diagramme de Smith du filtre-transformateur BAW correspondant à la configuration d'adaptation électrique. On peut voir que pour une fréquence le transformateur est bien adapté et réflexion d'énergie est minimale. Pratiquement toute l'énergie est transférée de «entrée» en «sortie» avec tension électrique modifiée. La racine carrée du rapport des résistances environnementales détermine le rapport de la tension de sortie sur la tension d'entrée, qui dans ce cas est $\sqrt{5000/25} \approx 14$. Ainsi, le dispositif décrit dans l'invention est prévu pour fonctionner comme un transformateur à condition que le dispositif fonctionne au voisinage de la condition de synchronisme. La fonction de filtre vient du fait que pour toutes les autres résonances harmoniques, le dispositif de l'invention présente des pertes d'insertion beaucoup plus grande.

2. Deuxième mode préféré de réalisation

[0037] La fig. 6, conformément à l'invention, est une vue en coupe transversal d'un transformateur piézoélectrique BAW selon le deuxième mode de réalisation. Une section de découplage formée par une couche diélectrique 12 et une électrode 13 est prévue entre ledit transducteur piézoélectrique et l'empilement de couches piézoélectrique 7. La couche diélectrique est formée par un matériau ayant une relativement faible permittivité diélectrique, comme par exemple Al_2O_3 ou SiO_2 . Le découplage permet à l'empilement de couches piézoélectriques 7 d'être séparé galvaniquement dudit transducteur.

3. Troisième mode préféré de réalisation

[0038] La fig. 7, conformément à l'invention, est une vue en coupe transversale d'un transformateur piézoélectrique BAW selon le troisième mode de réalisation. Une couche conductrice comme domaine d'interface dans la deuxième partie 7 peut être utilisée comme un port 16 du dispositif. Ce port a un coefficient de transformation relativement faible par rapport au port 11. En pratique, cela permet de faciliter le choix du coefficient de transformation à l'intérieur d'un seul même dispositif. Ainsi ce dispositif peut être construit conformément à l'invention et conformément au premier et deux modes de réalisation.

4. Quatrième mode préféré de réalisation

[0039] La fig. 8, selon le quatrième mode de réalisation, conformément à l'invention, est une vue en coupe transversale d'un transformateur piézoélectrique BAW dans lequel le deuxième empilement de couches piézoélectriques est mécaniquement attaché au second côté dudit transducteur et son électrode extérieure est fixée à ladite première électrode «haute tension» 4 connectée à la sortie du transformateur. Les polarisations alternées d'orientation d'axe-C des couches, sont disposés d'une manière à fournir sur le port de sortie, une sommation constructive de la tension des deux empilements.

[0040] Le dispositif, conformément à l'invention, a une impédance en entrée relativement faible entre les électrode 2 et 3, tandis que l'impédance électrique entre les électrodes 4 et 5 est relativement élevée.

[0041] L'invention selon le premier, le deuxième, le troisième et le quatrième mode de réalisation peut être formée d'un substrat support et d'un isolant acoustique au moyen d'une cavité acoustique ou d'un miroir de Bragg acoustique, selon les enseignements du brevet de Frank et al, US 7 855 618 B2 intitulé «Bulk acoustic resonator electrical impedance transformers» ainsi que dans le brevet par R. Aigner et. al., intitulé «BAW resonator having piezoelectric layers oriented in opposed directions», US pat. No. 6 975 183 B2.

[0042] Il doit être clair pour une personne qualifiée dans ce domaine d'art que différentes modifications peuvent être apportées à l'invention présentée. Par exemple, le dispositif peut fonctionner avec des ondes de cisaillement, avec un vecteur de déplacement horizontal, en utilisant – des couches piézoélectriques dans lesquels le champ électrique perpendiculaire à une couche peut exciter dedités ondes de cisaillement; différents types de matériaux piézoélectriques avec des coupes appropriées, telle que le LiNbO_3 , LiKO_3 , etc. peuvent être utilisés. Le dispositif peut comprendre quelques blocs «transducteur + empilement» avec la polarisation appropriée pour les couches piézoélectriques et une connexion des électrodes permettant de sommer la tension de l'empilement. Toutes ces modifications sont incluses dans la portée de ce brevet.

Revendications

1. Un transformateur piézoélectrique comprenant:
 - a) un transducteur piézoélectrique pour générer des ondes élastiques longitudinales de volume avec un vecteur de déplacement, qui est perpendiculaire au plan du transducteur, contenant la couche piézoélectrique d'épaisseur D_{tr} et deux électrodes conductrices utilisées pour une application de puissance radio-fréquence à travers les contacts d'entrée connectés à dedités électrodes.
 - b) un empilement de couches piézoélectriques polarisées avec une alternance de la polarisation de direction, dont le sens de polarisation est opposé les un au autre, et dans lequel le champ électrique perpendiculaire à plan de ledites couches est couplé piézoélectriquement avec les ondes élastiques longitudinales à la polarisation, perpendiculaire au plan du transducteur, ledit empilement étant attaché mécaniquement à la première couche de l'un des côtés dudit transducteur caractérisé en ce que

CH 710 638 A2

- l'épaisseur D des couches de l'empilement est choisie pour être sensiblement égal à la moitié de la longueur d'onde λ de l'onde élastique longitudinal se propageant selon la direction vertical dans le matériau piézoélectrique des couches de l'empilement ($D = \lambda/2 = (V/F_0)/2$, V – est vitesse desdites ondes et F_0 est fréquence d'opération du transformateur.
 - les couches de l'empilement sont séparées par des domaines d'interface diélectriques ou un matériau métallique dont l'épaisseur d est beaucoup plus petite que l'épaisseur D des couches ($d < 0.1 * D$)
 - l'épaisseur de la couche piézoélectrique du transducteur D_{tr} est dimensionnée pour la gamme $0.2\lambda - 0.8\lambda$
 - la fréquence de fonctionnement F_0 est réglée pour fournir une résonance de l'ensemble de l'empilement avec une longueur d'onde $\lambda = 2D$ créant ainsi dans l'empilement une résonance d'onde stationnaire.
 - l'électrode «haute tension» supplémentaire qui récupère la somme des tensions de l'empilement, est placée sur la surface extérieure de la dernière couche dudit empilement et est connectée au contact de sortie du transformateur.
2. Un transformateur piézoélectrique, selon la revendication 1, dans lequel le deuxième empilement de couches piézoélectrique est fixé mécaniquement à la seconde face dudit transducteur et dont l'électrode extérieure ensemble avec ledit premier «haute tension» électrode sont connectés à la sortie du transformateur, la polarisation alternée des couches est agencé de façon à fournir une sommation constructive des tensions de sortie des deux empilement.
 3. Un transformateur piézoélectrique, selon la revendication 1 et 2, caractérisé en ce que les couches piézoélectriques sont un fin film piézoélectrique texturé-C monocristallin ou polycristallins de structure cristallographique de Wurtzite de la liste: AlN, ZnO, AlxSc_{1-x}N, GaN, InN, etc., avec une orientation selon l'axe-C dans la direction perpendiculaire à dédites couches.
 4. Un transformateur piézoélectrique, selon la revendication 1 et 2, caractérisé en ce que la couche piézoélectrique est un matériau céramique piézoélectrique avec ladite polarisation perpendiculaire au plan de la couche.
 5. Un transformateur piézoélectrique, selon une des quelconques revendications précédentes, dans lequel le coefficient de transformation est déterminé par le nombre de couche dans l'empilement et dont la valeur du coefficient est proche de $N * D / D_{tr}$.
 6. Un transformateur piézoélectrique, selon l'une des quelconques revendications précédentes, dans lequel un domaine d'interface est représenté par des interfaces géométriques entre deux couches adjacentes.
 7. Un transformateur piézoélectrique, selon les revendications 1 à 5, dans lequel un domaine d'interface est une électrode constituée d'un matériau dont la conductivité électrique est relativement élevé (tels que Au, Al, Mo, W, etc.).
 8. Un transformateur piézoélectrique, selon l'une des quelconques revendications précédentes, quand lequel un domaine d'interface est caractérisé une impédance acoustique plus élevée que celle des couches piézoélectrique utilisées.
 9. Un transformateur, selon les revendications 1 à 7, dans lequel un domaine d'interface est caractérisé par une impédance acoustique plus faible que celle des couches piézoélectrique utilisées.
 10. Un transformateur piézoélectrique, selon la revendication 1 à 7, dans lequel un domaine d'interface est une fine couche «germe» («seed layer» en Anglais) formée avant le dépôt d'une couche piézoélectrique pour faciliter croissance de la couche piézoélectrique avec polarisation préférable.
 11. Un transformateur piézoélectrique, selon les revendications 1 à 5, dans lequel un domaine d'interface est une combinaison composite selon l'une des revendications 6 à 10.
 12. Un transformateur piézoélectrique selon l'une des revendications précédentes, dont au moins une des couches d'interface est conductrice et est connectée à un port de sortie supplémentaire.
 13. Un transformateur piézoélectrique, selon la revendication 1, opérant sur les bandes radio-fréquence ISM.
 14. Un transformateur piézoélectrique, selon la revendication 1 et 13, utilisé pour amplifier la tension électrique reçue par une antenne afin de réveiller un système électronique, RFID passif ou d'autre système fonctionnant grâce à la puissance reçue par le canal radio-fréquence.
 15. Un filtre-transformateur 1 piézoélectrique à ondes élastiques de volume, selon la revendication 1, où une couche de découplage d'un matériau ayant une relativement faible permittivité diélectrique est introduit à l'interface entre la première partie et la seconde partie, la seconde partie est muni d'une électrode à l'interface de la couche de découplage.

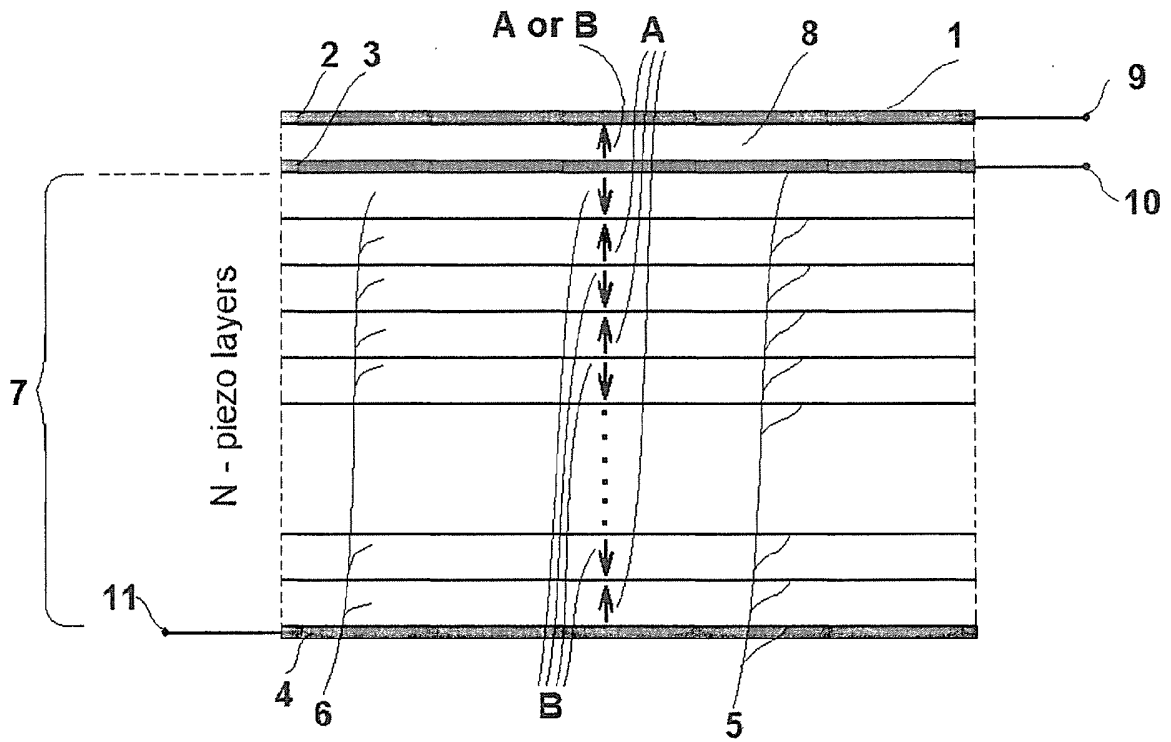


Figure 1.

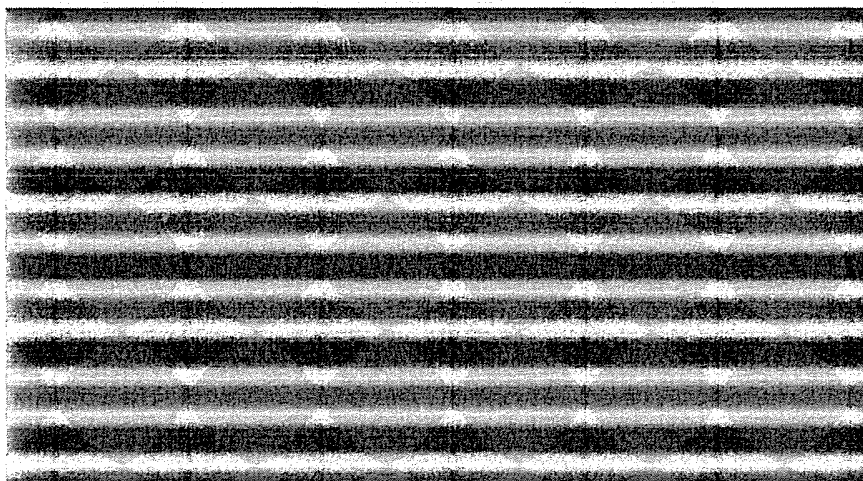


Figure 2

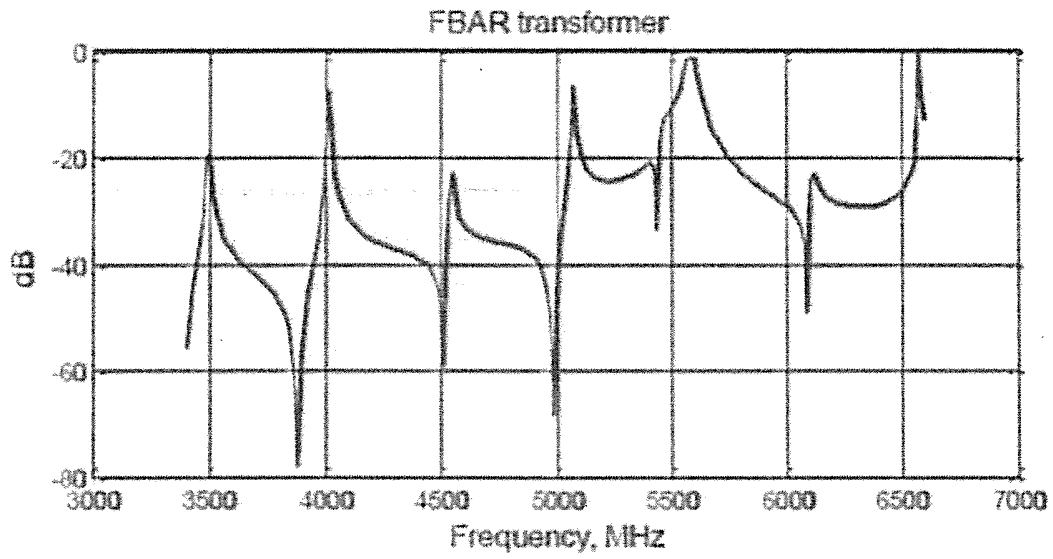


Figure 3

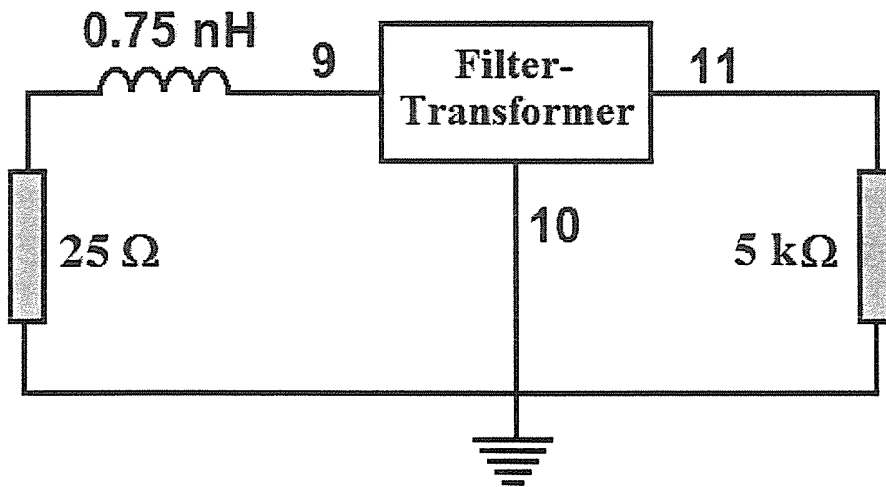


Figure 4

S11, S22, Smith chart

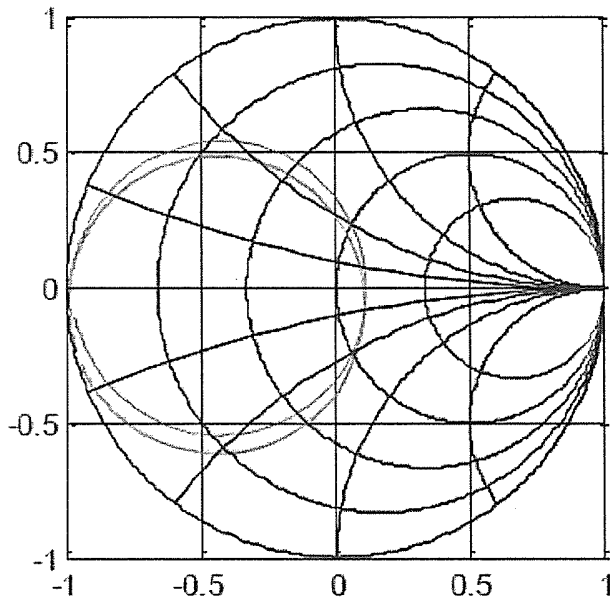


Figure 5

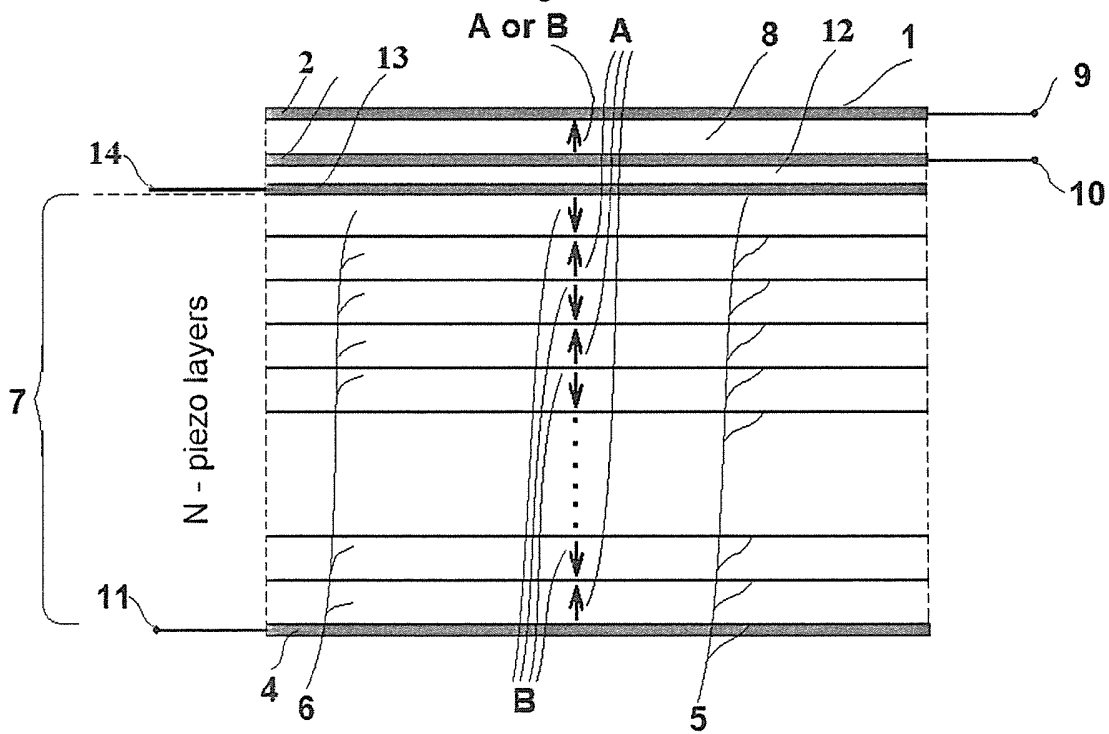


Figure 6

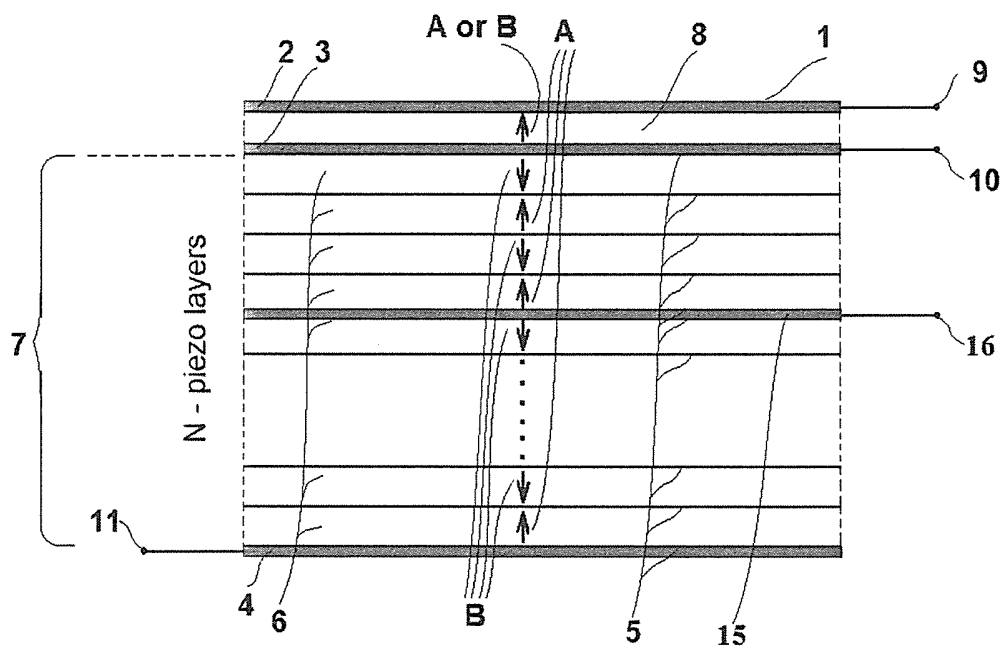


Figure 7

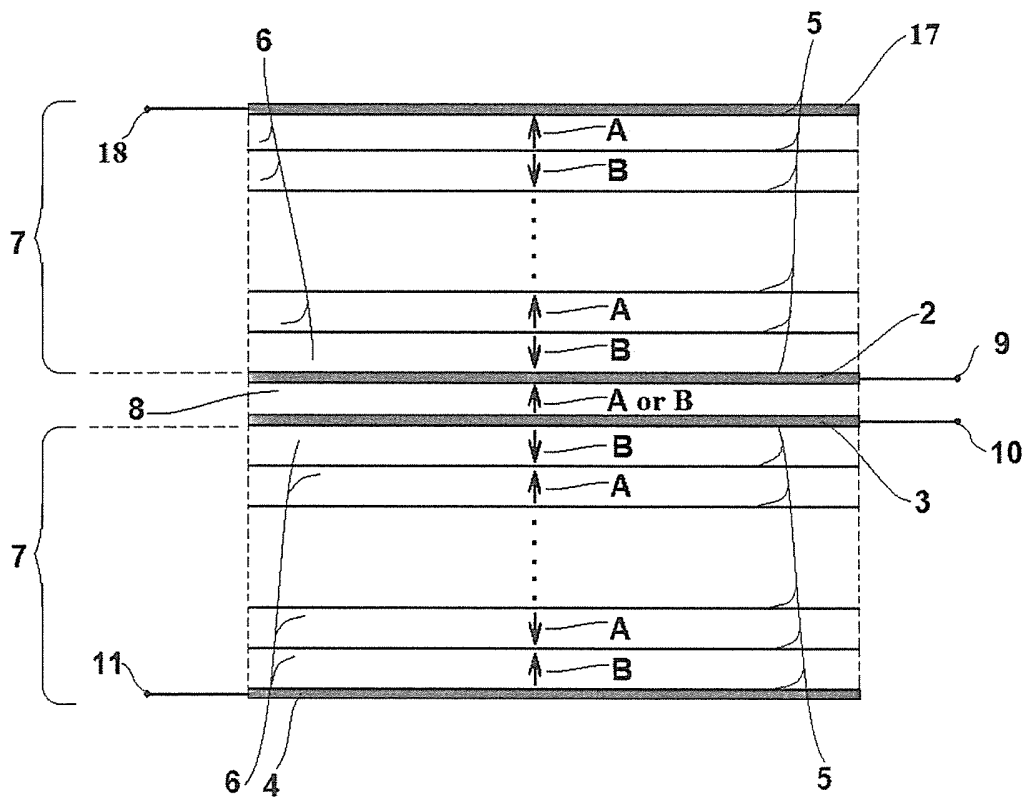


Figure 8