

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
19. Juni 2003 (19.06.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/050950 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H03H 9/17**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/04498

(22) Internationales Anmeldedatum:
6. Dezember 2002 (06.12.2002)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
101 60 617.6 11. Dezember 2001 (11.12.2001) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **EPCOS AG** [DE/DE]; St.-Martin-Str. 53, 81669 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **STOEMMER, Ralph** [DE/DE]; Hohenbrunnerstr. 36, 85579 Neubiberg (DE).

(74) Anwalt: **EPPING, HERMANN & FISCHER**; Ridlerstrasse 55, 80339 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): CN, JP, US.

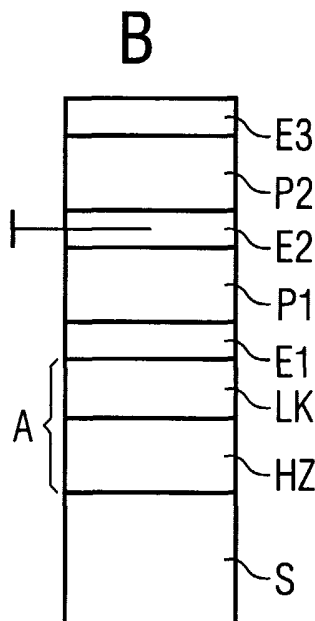
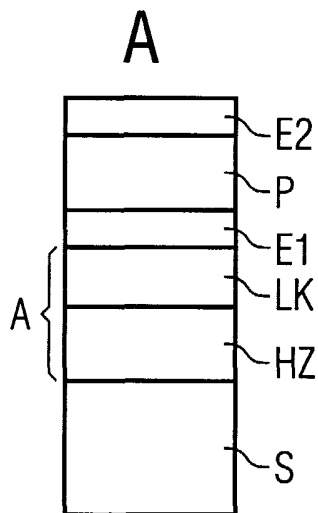
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht
— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

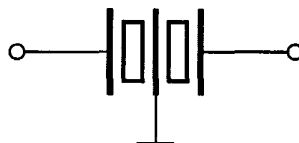
(54) Title: ACOUSTIC MIRROR WITH IMPROVED REFLECTION

(54) Bezeichnung: AKUSTISCHER SPIEGEL MIT VERBESSERTER REFLEXION



(57) Abstract: An acoustic mirror for a BAW resonator or a stacked crystal filter is disclosed, comprising at least one layer pair of $\lambda/4$ - or $3\lambda/4$ layers, whereby each layer pair comprises a first layer with low acoustic impedance and a second layer with higher acoustic impedance relative to the above and a low-k dielectric is selected as material with low acoustic impedance.

(57) Zusammenfassung: Für einen BAW-Resonator oder einen Stacked Crystal Filter wird ein akustischer Spiegel vorgeschlagen, der zumindest ein Schichtenpaar aus $\lambda/4$ - oder $3\lambda/4$ -Schichten aufweist, wobei jedes Schichtenpaar eine erste Schicht mit niedriger akustischer Impedanz und eine zweite Schicht mit relativ dazu hoher akustischer Impedanz umfaßt und wobei als Material mit niedriger akustischer Impedanz ein Low-k-Dielektrikum ausgewählt ist.



WO 03/050950 A1

Beschreibung

Akustischer Spiegel mit verbesserter Reflexion

- 5 Die Erfindung betrifft einen akustischen Spiegel für einen Bulk Acoustic Wave Resonator (BAW-Resonator) und einen Stacked Crystal Filter (SCF-Filter), mit zumindest einem Schichtenpaar aus Lambda-Viertel-Schichten oder $3\lambda/4$ Schichten, wobei jedes Schichtenpaar eine erste Schicht mit einem ersten
- 10 Material niedriger akustischer Impedanz und eine zweite Schicht mit einem zweiten Material relativ dazu hoher akustischer Impedanz umfaßt.

- Mit akustischen Wellen arbeitende Volumenschwinger, sogenannte
- 15 te FBAR (Thin-Film-Bulk-Acoustic-Resonator) oder auch BAW-Resonatoren genannt, basieren auf einem piezoelektrischen Grundkörper, der an zwei Hauptoberflächen mit je einer Elektrode versehen ist. Ein solcher Resonator weist eine Resonanzfrequenz f_r auf, die näherungsweise nach der Formel
- 20
$$f_r = v/2L_0$$

- von der Gesamtdicke L_0 des schwingenden Grundkörpers abhängig ist. Mit v ist dabei die Geschwindigkeit der Longitudinalwelle im piezoelektrischen Grundkörper bezeichnet. Solche Resonatoren können beispielsweise zum Aufbau von HF-Filtern verwendet werden. Dazu werden mehrere solcher Resonatoren in Abzweigschaltungen zu einem Filternetzwerk, einem sogenannten Reaktanzfilter, verschaltet.
- 25

- 30 Die für einen im HF-Bereich resonierenden BAW-Resonator erforderliche Schichtdicke L_0 des Grundkörpers liegt im μm - und im sub- μm -Bereich. Zur Herstellung der Schichten des Grundkörpers sind daher Dünnschichtverfahren erforderlich.

- 35 Um die Energie der akustischen Welle innerhalb des Resonatorgrundkörpers zu halten und eine scharfe Resonanzfrequenz des Resonators zu gewährleisten, sind zwei prinzipielle Konstruk-

tionsprinzipien bekannt, die eine genügend hohe Reflexion der akustischen Welle an Grenzflächen ermöglichen, um dabei eine ausreichende Filterwirkung mit niedrigen akustischen bzw. elektrischen Verlusten gewährleisten.

5

Eine Möglichkeit, die Energie der akustischen Welle innerhalb des Resonatorgrundkörpers zu erhalten, besteht darin, den Grundkörper über einem Hohlraum anzuordnen, wobei zwischen der unteren Elektrode und dem Substrat noch eine Membran als dünne Trägerschicht angeordnet sein kann. Diese Anordnung wird auch Bridge-Type Resonator genannt.

Weitere BAW-Resonatoren vom Mirror-Type verwenden einen sogenannten akustischen Spiegel. Dieser besteht aus einer Vielzahl von Schichtenpaaren mit alternierenden Schichten aus Materialien mit hoher und niedriger akustischer Impedanz. Jede der Schichten hat eine Schichtdicke von $\lambda/4$, so daß sich die an jeder Grenzfläche reflektierten Wellenanteile konstruktiv überlagern. Grundsätzlich sind bei der Wahl der Schichtdicken Werte möglich, die ungeradzahlgigen Vielfachen von $\lambda/4$ entsprechen, also $\lambda/4, 3\lambda/4, \dots, (2n-1)\lambda/4$ mit natürlichen Zahlen n . Aus Gründen der Optimierung der Resonatoreigenschaften kann bei den Spiegelschichtdicken geringfügig von der $\lambda/4, 3\lambda/4, \dots, (2n-1)\lambda/4$ -Regel abgewichen werden. Als Material mit niedriger akustischer Impedanz wird insbesondere SiO_2 verwendet, als Material hoher akustischer Impedanz dagegen ein Schwermetall wie Wolfram oder Molybdän, oder auch Aluminiumnitrid. Je höher der Impedanzunterschied zwischen den beiden Materialien, desto weniger Paare werden für einen akustischen Spiegel gebraucht. Konventionelle akustische Spiegel benötigen für gute Reflexion wenigstens zwei $\lambda/4$ -Schichtenpaare zwischen der unteren Elektrode und dem Substrat. Mit jeder zusätzlichen Schicht reduziert sich jedoch die effektive Kopplung des Resonators und damit die Bandbreite. Gegenüber einem Resonator vom Bridge-Typ kann sich dabei die Bandbreite des Resonators um bis zu 30 % reduzieren. Mit solchen Resonatoren ist es darum erheblich auf-

wendiger, ein Bandpaßfilter mit einer ausreichenden Bandbreite zu realisieren.

Ein weiterer Nachteil eines BAW-Resonators vom Mirror-Type besteht in der Komplexität der Verfahren zur Abscheidung und Strukturierung des dafür erforderlichen Mehrschichtaufbaus. Jede $\lambda/4$ -Schicht erhöht die Komplexität und damit die Kosten des Herstellungsprozesses. Mit der Zahl der nötigen Schichten häufen sich auch die Fehler, so daß über einen gesamten Wafer gesehen eine erhebliche Streuung der Resonanzfrequenzen der Resonatoren und damit der Mittenfrequenz von Filtern in Kauf zu nehmen ist.

Da sich mit der Zahl der Schichtpaare für den akustischen Spiegel die Bandbreite des akustischen Spiegels reduziert, wäre beispielsweise in einem Duplexer, welcher zwei Filter mit unterschiedlichen Durchlaßbereichen (Paß-Bändern) besitzt, jeweils ein separater akustischer Spiegel für jeden der beiden Filter erforderlich. Die Komplexität der Herstellung wird somit erhöht.

Schichten mit hoher dielektrischer Konstante, wie insbesondere die Metalle Wolfram und Molybdän, können zu einer Kopplung elektrischer Signale zum Substrat führen, was beispielsweise zu dem unerwünschten Übersprechen und zu einer Erhöhung der Einfügedämpfung führt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, einen akustischen Spiegel für einen solchen BAW-Resonator anzugeben, welcher einfacher als bekannte akustische Spiegel herzustellen ist und welcher die oben genannten Nachteile vermeidet.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen akustischen Spiegeln mit den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst. Vorteilhaft ausgestaltungen der Erfindung sowie ein den akustischen Spiegel umfassender BAW-Resonator, ein aus BAW-Resonatoren

aufgebautes Filter sowie ein solche Filter umfassender Duplexer sind weiteren Ansprüchen zu entnehmen.

Die Erfindung schlägt vor, einen akustischen Spiegel aus zu-
5 mindest einem Schichtenpaar von Materialien mit unterschied-
licher akustischer Impedanz anzufertigen, wobei in erfin-
dungsgemäßer Weise als Material mit niedriger akustischer Im-
pedanz ein Low-k-Dielektrikum ausgewählt wird. Wird ein sol-
ches Dielektrikum mit einer weiteren Schicht eines Materials
10 mit hoher akustischer Impedanz kombiniert, so wird ein
hochreflektierender akustischer Spiegel erhalten. Erfindungs-
gemäß werden Materialkombinationen für die Spiegelschichten-
paare aufgefunden, die einen hochreflektierenden Spiegel be-
reits mit nur einem Schichtenpaar ermöglichen.

15

Die erfindungsgemäß verwendeten Low-k-Dielektrika sind für
mikroelektronische Anwendungen als Isolations-, Abdeck- und
Zwischenschichten bekannt. In diese Materialklasse der Low-k-
Dielektrika fallen gehärtete Schäume, poröse Oxide und Aero-
20 gele sowie vernetzte gehärtete Polymere und andere organische
Materialien, welche mit CVD-Technik (Chemical Vapour Deposi-
tion) oder SOD-Technik (Spin-On Deposition) als dünne Schich-
ten abgeschieden werden können. Diese Stoffe weisen eine we-
sentlich niedrige Dielektrizitätskonstante als SiO_2 auf und
25 besitzen ein ϵ von weniger als 3. Zusätzlich besitzen sie
noch niedrige Dichten ρ und kleine elastische Konstanten c .
Da sich die akustische Impedanz Z nach der Formel

$$Z = \sqrt{\rho * c}$$

berechnet, ergeben sich mit diesen beiden niedrigen Werten c
30 und ρ extrem niedrige akustische Impedanzen, die in Kombina-
tion mit Materialien hoher Impedanz Z den erfindungsgemäßen
hochreflektiven akustischen Spiegel ergeben. In Verbindung
mit Wolfram als Hochimpedanzmaterial ist die Reflektivität
eines einzigen $\lambda/4$ -Schichtenpaares ausreichend, um einen gu-
35 ten akustischen Spiegel für einen BAW-Resonator herzustellen.
Unter $\lambda/4$ -Schichtenpaar sollen im Sinne der Erfindung auch
Schichtenpaare mit Schichtdicken von ungeradzahligen Vielfa-

chen von $\lambda/4$ verstanden werden, sowie Schichten, die geringfügig von diesem Wert abweichen. Allein die akustische Reflektivität an der Grenzfläche zwischen unterer Elektrode und low-k Dielektrikum beträgt über 90%, wenn als Material für die untere Elektrode Au gewählt wird. Bei Verwendung des konventionellen Materials SiO_2 beträgt die akustische Reflektivität an der Au/low-k-Grenzfläche nur 40%. Dabei berechnet sich die akustische Reflektivität R an der Grenzfläche zwischen zwei Schichten 1 und 2 nach der Formel

$$R = \left| \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right|^2$$

Z_1 entspricht der akustischen Impedanz von Au ($Z_{\text{Au}} = 63 \cdot 10^6 \text{ kg/s/m}^2$) und Z_2 entspricht der akustischen Impedanz des verwendeten low-k-Dielektrikums (exemplarisch für die low-k-Dielektrika SiLK® und BCB: $Z_{\text{low-k}} < 2 \cdot 10^6 \text{ kg/s/m}^2$) oder der akustischen Impedanz von SiO_2 ($Z_{\text{SiO}_2} = 14 \cdot 10^6 \text{ kg/s/m}^2$).

Da die akustische Impedanz eines Materials mit seiner Dichte steigt oder fällt, können erfindungsgemäß Maßnahmen vorgesehen werden, die die Dichte in den Schichten niedriger akustischer Impedanz weiter reduzieren. Vorteilhaft ist es beispielsweise, in der Spiegelschicht mit niedriger akustischer Impedanz Nanoporen vorzusehen. Solche Nanoporen können strukturell bedingt in einem entsprechenden Polymeren oder einem Material mit 3D-Struktur vorhanden sein. Nanoporen können aber auch nachträglich erzeugt werden, beispielsweise durch Aufschäumen des Materials mit einem ein Gas freisetzenden Mittel, insbesondere mit einem Treibmittel. Auch Siloxane, die von Silsesquioxanen abgeleitet sind, weisen strukturell bedingt Hohlräume auf, die die Dichte und damit die akustische Impedanz reduzieren. Materialien wie Aerogele oder poröse Silikate besitzen ebenfalls Poren und damit eine niedrige Dichte.

Für die Erfindung bevorzugte Low-k-Dielektrika sind polyaromatische Polymere, die beispielsweise durch Polymerisation von mit Cyclopentadienon und Acetylen substituierten Monome-

- ren der Polyphenylene oder Bisbenzocyclobuten-Monomeren abgeleitet sind. Durch die Polymerisation werden beispielsweise vernetzte Polyphenylene (Handelsname SiLK[®]) oder vernetzte Bisbenzocyclobutene (Handelsname BCB) erhalten, die für das
- 5 Beispiel BCB eine Glasübergangstemperatur (maximale Temperaturstabilität) von mehr als 350°C, eine elastische Konstante von etwa 2 GPa, eine mittlere Dichte von 1,0 g/cm³ und damit eine akustische Impedanz von nur 1,4 x 10⁶ kg/s/m² besitzt. Das low-k Dielektrikum SiLK besitzt eine Glasübergangstemperatur
- 10 (maximale Temperaturstabilität) von mehr als 490°C, eine elastische Konstante von etwa 2,45 GPa, eine mittlere Dichte von 1,2 g/cm³ und damit eine akustische Impedanz von nur 1,7 x 10⁶ kg/s/m².
- 15 Kommerzielle Polymere auf dieser Basis sind beispielsweise aus einem Artikel von S. J. Martin et al.: "Development of a low-dielectric-constant polymer for the fabrication of integrated circuit interconnect" in **Adv. Mater** 2000, 12, No. 23, December 1, Seite 1769 - 1778 bekannt und außerdem im Handel
- 20 erhältlich. Die elastische Konstante dieses Materials liegt im GPa-Bereich und damit über eine Größenordnung unter der elastischen Konstanten des bisher als Niederimpedanzschicht verwendeten SiO₂. Da auch die Dichte dieses Materials geringer ist als die von SiO₂ ergibt sich die genannte extrem
- 25 niedrige akustische Impedanz.

Die hohe thermische Stabilität dieses Materials ist bestens geeignet, um nachfolgende Schichtabscheidungen weiterer Funktionsschichten, wie beispielsweise einer weiteren Hochimpedanzschicht, piezoelektrischen Schichten, Elektroden, Diffusionsbarrieren oder Passivierungen auch bei den dazu erforderlichen hohen Temperaturen zu ermöglichen. Es läßt sich in

30 sehr homogener Schichtstruktur in Spin-On-Technik aufbringen, wobei eine gewünschte Schichtdicke mit hoher Genauigkeit eingestellt werden kann. Mit einem Spiegelschichtenpaar, welches

35 eine solche polyaromatische Schicht umfaßt, wird die Kopplung im BAW-Resonator vergrößert. Damit wird auch die Bandbreite

im BAW-Filter um durchschnittlich 14 % gegenüber konventionellen akustischen Spiegeln erhöht. Auf diese Weise wird ein BAW-Resonator mit akustischem Spiegel zur vollwertigen Alternative zu einem BAW-Resonator mit Bridge-Struktur.

5

Die Prozeßkosten bei der Herstellung eines BAW-Resonators bzw. bereits bei der Herstellung eines akustischen Spiegels für einen BAW-Resonator werden durch die Verringerung der Anzahl notwendiger Spiegelschichten deutlich verringert. Für
10 ein Schichtenpaar Wolfram/polyaromatisches Low-k-Dielektrikum ist nur ein einziges Schichtenpaar erforderlich.

Durch die Verringerung der Zahl notwendiger Spiegelschichten wird auch die Streuung der Mittenfrequenz über alle auf einem
15 einzigen Wafer hergestellten Resonatoren reduziert. Auch die störende elektrische Kopplung zum Substrat, verursacht insbesondere bei Verwendung von metallischen Hochimpedanzschichten im akustischen Spiegel, wird durch Reduktion der Schichtenzahl im Spiegel und durch Reduktion der relativen dielektrischen
20 Konstanten des Low-k-Dielektrikums vermindert.

Ein neben SiLK[®] weiteres Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante, niedriger Dichte und eine geringe elastische Konstante c ist Benzocyclobuten. Dieses Material ist unter
25 dem Kürzen BCB aus der Mikroelektronik als Dielektrikum, Isolations- und Abdeckschicht bekannt. Auch für erfindungsgemäße akustische Spiegelschichten mit niedriger akustischer Impedanz ist es hervorragend geeignet, da es außerdem eine hohe Schichtdickenhomogenität bei der Aufbringung gewährleistet
30 und gezielt und reproduzierbar in einer gewünschten Dicke auf einem Substrat aufzubringen ist, beispielsweise mittels Spin-On-Technik.

Eine vorteilhafte Anwendung findet ein erfindungsgemäßer akustischer Spiegel in einem BAW-Resonator, bei dem direkt über
35 einem als Träger fungierenden Material zunächst die Schicht hoher akustischer Impedanz, beispielsweise Wolfram, darüber

die Schicht niedriger akustischer Impedanz, beispielsweise die genannten polyaromatischen Verbindungen wie SiLK[®] und BCB oder ein anderes Low-k-Dielektrikum und darüber ein Resonator, bestehend aus einer ersten Elektrode, einer piezoelektrischen Schicht und einer oberen zweiten Elektrode. Als Substratmaterial sind z.B. Glas, Keramik oder Halbleiter geeignet. Auch ist es möglich, ein mehrschichtiges Substrat zu verwenden, wobei einzelne Schichten oder das gesamte Substrat auch aus organischem Material bestehen kann.

Die Schichtdicken für die Schichtenpaare des akustischen Spiegels sind der gewünschten Resonanzfrequenz der Resonatoren und damit der Mittenfrequenz der daraus resultierenden Filter angepaßt. Aufgrund der hohen Bandbreite kann ein gegebenes Schichtenpaar aus $\lambda/4$ - oder $3\lambda/4$ -Schichten nicht nur für eine gegebene Resonanzfrequenz, sondern auch bei anderen innerhalb der Bandbreite des Spiegels liegenden Resonanzfrequenzen bzw. bei Resonatoren mit solchen Resonanzfrequenzen eingesetzt werden.

Für das Material der unteren Elektrode sind die Metalle Aluminium, Wolfram, Molybdän oder Gold geeignet. Vorteilhaft wird für die untere Elektrodenschicht ein Material mit hoher akustischer Impedanz eingesetzt, wodurch bereits an der Grenzfläche zwischen unterer Elektrode und low-k-Dielektrikum möglichst hohe Reflexion erreicht wird.

Für die piezoelektrische Schicht wird vorzugsweise ein Material mit hoher Kopplungskonstante gewählt, welches sich homogen in der gewünschten und von der Mittenfrequenz abhängigen Schichtdicke abscheiden läßt. Für BAW-Resonatoren besonders geeignet sind beispielsweise Zinkoxid oder Aluminiumnitrid. Doch sind prinzipiell auch andere piezoelektrische Materialien geeignet, sofern diese die genannten Randbedingungen erfüllen.

Für die obere Elektrodenschicht gilt prinzipiell die gleiche Auswahl wie für die untere Elektrodenschicht. Jede der "unteren" Schichten eines BAW-Resonator-Schichtaufbaus dient als "Substrat" für die darüber aufgebraachte Schicht und muß dementsprechend zumindest den Abscheidebedingungen der darüberliegenden Schicht unbeschädigt standhalten, sowie geringe Oberflächenrauigkeiten aufweisen, damit an den Grenzflächen keine akustischen Streuungen, Verluste und Wachstumsstörungen auftreten, die die Dynamik der Resonatoren verringern und damit die Einfügedämpfung der resultierenden Filter erhöhen.

Bei konventionellen akustischen Spiegeln mit SiO₂ als Spiegelschicht mit niedriger akustischer Impedanz macht die Oberflächenrauigkeit von SiO₂ einen Polierprozess (Chemomechanical Polishing CMP als Naßätzprozess, Ionenstrahlätzen als Trockenätzprozess) vor Abscheidung der unteren Elektrode notwendig. Einer der Hauptgründe für die erhöhte Rauigkeit der obersten SiO₂-Schicht des konventionellen akustischen Spiegels liegt darin, daß die SiO₂-Schichten als Niederimpedanzschichten die großen Oberflächenrauigkeiten der Hochimpedanzschichten (W, Mo, AlN) bei der sukzessiven Schichtabscheidung nach oben hin abbilden. Ohne diesen Polierschritt würde die an der Grenzfläche zwischen unterer Elektrode und Niederimpedanzschicht auftretende Rauigkeit die akustischen Verluste in den Resonatoren erhöhen und damit die Einfügedämpfung der Filter vergrößern. Low-k-Dielektrika wie SiLK[®] oder BCB, die z.B. in Spin-On-Technik auf eine Hochimpedanzschicht wie z.B. W aufgebracht werden, glätten durch ihre Fließeigenschaften die Rauigkeiten der darunterliegenden Schicht. Die Oberflächenrauigkeit der low-k-Dielektrika wie SiLK oder BCB ist, nach Aushärteprozessen der Schichten, selbst äußerst gering. Typische RMS-Rauigkeiten sind kleiner 1nm. Weitere Maßnahmen wie aufwändige und teure Polierprozesse, die eine homogene Grenzfläche gewährleisten sollen, sind damit überflüssig.

Ein BAW-Resonator, oder in etwas veränderter Ausführungsform ein Stacked Crystal Filter, kann als Impedanzelement zum Aufbau eines Reaktanzfilters eingesetzt werden, wie es beispielsweise aus der US 5 910 756 bekannt ist. Ein solcher umfaßt in einer Abzweigeschaltung parallel und seriell verschaltete Resonatoren, wobei die Verschaltung beispielsweise vom Ladder-Type oder vom Lattice-Type sein kann. Unter Beachtung weiterer für die Reaktanzfilter bekannter Designregeln kann auf diese Weise ein Bandpaßfilter geschaffen werden, welches eine für HF-Anwendungen und insbesondere in den gängigen Kommunikationssystemen geforderte Bandbreite aufweist.

Bei erfindungsgemäßen BAW-Resonatoren mit erfindungsgemäßem akustischem Spiegel wird bereits für den einzelnen Resonator eine gegenüber bekannten Resonatoren mit konventionellem akustischen Spiegel erhöhte Bandbreite erhalten. Dies läßt sich direkt aus dem Admittanzverlauf des Resonators ablesen, wobei der Abstand zwischen Resonanz- und Antiresonanzfrequenz des Resonators ein Maß für die Bandbreite darstellt.

Eine vorteilhafte Anwendung findet ein erfindungsgemäßer BAW-Resonatorfilter mit erfindungsgemäßem akustischen Spiegel in einem Duplexer. Ein solcher Duplexer umfaßt zwei Bandpaßfilter, deren Mittenfrequenzen eng benachbart sind und beispielsweise das Sende- und das Empfangsband eines Kommunikationssystems abdecken. Die beiden Bandpaßfilter eines Duplexers müssen so aufeinander abgestimmt sein, daß jeder Filter bei der Mittenfrequenz des jeweils anderen Filters eine möglichst hohe Dämpfung aufweist. Je nach gefordertem Abstand zwischen den beiden Mittenfrequenzen kann es dazu auch erforderlich sein, daß die beiden zueinanderweisenden Flanken der Durchlaßbereiche der beiden Filter besonders steil eingestellt sind. Für solche Anforderungen sind hochwertige Filter erforderlich, die im Falle von Reaktanzfiltern hochwertige Resonatoren erfordern. Aus BAW-Resonatoren bestehende Reaktanzfilter benötigten dazu bisher Resonatoren, die für jede Resonanzfrequenz einen eigenen auf die Resonanzfrequenz ange-

paßten akustischen Spiegel erforderten. Mit Hilfe der erfindungsgemäßen akustischen Spiegel gelingt es nun, einen einzigen, aus nur einem Schichtenpaar bestehenden akustischen Spiegel für die beiden Filter eines Duplexers zu verwenden und dabei dennoch die hohen Anforderungen an die Flankensteilheit, Bandbreite und Nahselektion zu erfüllen. Mit Hilfe der Erfindung gelingt es also, auf nur einem Substrat mit nur einem ganzflächig aufgebrachten erfindungsgemäßen akustischen Spiegel die Resonatoren für zwei in nahe benachbarten Frequenzbereichen arbeitende Filter zu realisieren. Dies vereinfacht die Herstellung und senkt dabei die Kosten. Aufgrund der reduzierten Kopplung über die akustischen Spiegelschichten ist es mit dem erfindungsgemäßen akustischen Spiegel auch möglich, das oder die Schichtenpaare für den akustischen Spiegel ganzflächig aufzubringen und ohne weitere Strukturierung zwischen einzelnen Resonatoren oder einzelnen Filtern den Resonator weiter aufzubauen.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und der dazugehörigen Figuren näher erläutert.

Figur 1a zeigt im schematischen Querschnitt einen BAW-Resonator mit einem erfindungsgemäßen akustischen Spiegel.

25

Figur 1b zeigt im schematischen Querschnitt einen Stacked Crystal Filter (SCF) mit einem erfindungsgemäßen akustischen Spiegel

Figur 2 zeigt exemplarisch eine Oberflächentopographie des low-k-Dielektrikums BCB, die mittels Rasterkraftmikroskopie erstellt wurde

Figur 3 zeigt die Admittanzkurven eines erfindungsgemäßen BAW-Resonator verglichen mit der Admittanzkurve eines herkömmlichen Resonators.

35

Figur 4a zeigt exemplarisch einen möglichen Aufbau eines Reaktanzfilters in Ladder-Type-Struktur.

Figur 4b zeigt exemplarisch einen weiteren möglichen Aufbau eines Reaktanzfilters in Ladder-Type-Struktur.

Figur 4c zeigt exemplarisch einen möglichen Aufbau eines Reaktanzfilters in Lattice-Struktur.

10

Figur 5 zeigt exemplarisch die Durchlaßkurve eines aus erfindungsgemäßen BAW-Resonatoren aufgebauten Reaktanzfilters, verglichen mit der Durchlaßkurve eines aus herkömmlichen BAW-Resonatoren aufgebauten Reaktanzfilters.

Figur 6 zeigt die Durchlaßkurven eines aus erfindungsgemäßen BAW-Resonatoren aufgebauten Duplexers (Kurven 2), verglichen mit den Durchlaßkurven eines aus herkömmlichen BAW-Resonatoren aufgebauten Duplexers (Kurven 1).

Figur 7 zeigt die Durchlaßkurven eines aus erfindungsgemäßen BAW-Resonatoren aufgebauten Duplexers als Funktion von Schichtdickenabweichungen des Low-k-Dielektrikums.

Figur 8 zeigt die Durchlaßkurven eines aus erfindungsgemäßen BAW-Resonatoren aufgebauten Duplexers als Funktion von Schichtdickenabweichungen der Hochimpedanzschicht des erfindungsgemäßen akustischen Spiegels.

35

Figur 1a zeigt im schematischen Querschnitt einen BAW-Resonator mit einem erfindungsgemäßen akustischen Spiegel,

dessen Spiegelschichten unabhängig voneinander als $\lambda/4$ -Schichten oder $3\lambda/4$ -Schichten ausgeführt sein können. Geringe Abweichungen von diesen Bedingungen dienen der Optimierung der Resonatoreigenschaften. Unter dem schematischen Querschnitt ist ein elektronisches Ersatzschaltbild des BAW-Resonators angegeben. Dieser ist auf einem Substrat S aufgebaut, welches lediglich als mechanisch fester Träger dient. Dementsprechend breit ist die Auswahl der dafür geeigneten Materialien. Direkt auf dem Substrat ist eine erste Schicht HZ mit hoher akustischer Impedanz aufgebracht, beispielsweise eine Wolfram-Schicht. Diese weist eine Impedanz von ungefähr $105 \times 10^6 \text{ kg/sm}^2$ auf. Die Dicke der Schicht HZ ist so gewählt, daß sie bei der gewünschten Resonanzfrequenz des BAW-Resonators und der im Material (Wolfram) gegebenen Ausbreitungsgeschwindigkeit der akustischen Welle eine Dicke von $\lambda/4$ aufweist. Dies sind beispielsweise bei einer Resonanzfrequenz von 2,1 GHz eine Dicke von 611nm. Über der Schicht HZ ist als weitere Schicht mit einer Dicke von $\lambda/4$ oder einer Dicke von $3\lambda/4$ ein Low-k-Dielektrikum angeordnet, beispielsweise eines Materials, welches unter dem Namen SiLK® von der Dow Chemical Corporation als Dielektrikum vertrieben wird. Das Materialsystem SiLK® besteht aus vernetzten Polyphenylenen, die durch Polymerisation von mit Cyclopentadienon und Acetylen substituierten Monomeren erhalten werden können. Das akustisch sehr ähnliche Material, BCB, besteht aus vernetzten Bisbenzocyclobutenen. Bei Verwendung von SiLK® oder BCB ergeben sich für die Spiegelschichtdicken exemplarisch folgende Werte: bei einer Resonanzfrequenz von 2,1GHz wird die Spiegelschichtdicke einer $\lambda/4$ -Schicht zu etwa 165nm, und die Spiegelschichtdicke einer $3\lambda/4$ -Schicht zu etwa 500nm gewählt.

Mit der gegebenen Materialkombination W/SiLK® kann ein breitbandiger akustischer Spiegel A realisiert werden, der mehr als 95 % Reflektivität für die akustische Energie einer Welle der genannten Mittenfrequenz besitzt. Der akustische Spiegel A kann aber noch weitere Schichtenpaare umfassen, also weitere Schichten mit hoher akustischer Impedanz HZ und

weitere Schichten mit niedriger Impedanz LK. Diese Schichten werden alternierend in der gewünschten Anzahl übereinander angeordnet. Über der Schicht aus dem Low-k-Material LK wird die untere Elektrode des BAW-Resonators, oder ein Haftvermittler, Diffusionsbarrieren, oder Wachstumsschichten gebildet, beispielsweise durch CVD-Abscheidung oder Sputtern von einer Molybdänschicht mit einer Schichtdicke von ca.195nm.

Über der unteren Elektrode E1 wird nun eine piezoelektrische Schicht P aufgebracht, beispielsweise eine Zinkoxidschicht. Als Aufbringverfahren sind beispielsweise Sputter-Verfahren geeignet. Die piezoelektrische Schicht P kann jedoch auch aus anderen Materialien bestehen, beispielsweise aus Aluminiumnitrid oder einem anderen geeigneten, piezoelektrischen Material.

Als obere Elektrode des BAW-Resonators wird über der piezoelektrischen Schicht P eine zweite Elektrodenschicht E2 angeordnet, nicht notwendigerweise aus dem gleichen Material wie die erste Elektrodenschicht E1. In vielen Fällen wird die obere Elektrode E1 zusätzlich mit Tuning-, Trimming-, oder Passivierungsschichten versehen.

Die Resonanzfrequenz des BAW-Resonators bestimmt sich näherungsweise nach der Formel $f = v/2L_0$, wobei L_0 die Schichtdicke des BAW-Resonators ist und sich aus den Schichtdicken der piezoelektrischen Schicht P und der beiden Elektrodenschichten E1 und E2 zusammensetzt. Für die Hauptschwingungs-mode des BAW-Resonators wird die Dicke auf $\lambda/2$ eingestellt. Möglich ist es jedoch auch, die Dicke d auf ein Vielfaches von $\lambda/2$ einzustellen und dementsprechend höhere Schwingungsmoden anzuregen. Neben dem schematischen Querschnitt zeigt Figur 1a noch das elektronische Ersatzschaltbild eines BAW-Resonators.

35

Figur 1b zeigt im schematischen Querschnitt einen Stacked Crystal Filter (SCF) mit einem erfindungsgemäßen akustischen

Spiegel, dessen Spiegelschichten unabhängig voneinander als $\lambda/4$ -Schichten oder $3\lambda/4$ -Schichten ausgeführt sein können. Geringe Abweichungen von diesen Bedingungen dienen der Optimierung der SCF-Eigenschaften. Der SCF entspricht im prinzipiellen Aufbau einem BAW-Resonator, der mit einem zweiten Resonator elektrisch und akustisch gekoppelt ist. Unter dem schematischen Querschnitt ist ein elektronisches Ersatzschaltbild des SCF angegeben. Verschiedene Ausführungsbeispiele und Abwandlungen von SCFs finden sich in einem Artikel von K. M. Lakin et al.: "High Performance Stacked Crystal Filters for GPS and Wide Bandwidth Applications" in IEEE 2001 Ultrasonics Symposium Paper 3E-6, October 9, 2001.

Ein SCF wird, wie in den vorangegangenen Absätzen zu Figur 1a beschrieben, zunächst wie ein BAW-Resonator aufgebaut. Dabei sind verwendete Materialien, Herstellungstechniken und Prozessabläufe ähnlich. Über der Elektrodenschicht E2, welche auf einer piezoelektrischen Schicht P1 abgeschieden ist, wird beispielsweise mittels Sputter-Technik eine zweite piezoelektrische Schicht P2 aufgebracht. Diese wiederum wird von einer obersten Elektrode E3 bedeckt.

In einer möglichen Abwandlung des SCFs werden zwischen Elektrode E2a und einer weiteren darauf abgeschiedenen Elektrode E2b ein- oder mehrere akustische Spiegelschichten eingefügt, welche die elektrische und die akustische Kopplung zwischen dem Resonator E1-P1-E2a und dem Resonator E2b-P2-E3 verändern. In diesen Spiegelschichten, die als $\lambda/4$ - oder auch $3\lambda/4$ -Schichten ausgeführt sein können, können Low-k-Dielektrika wie beispielsweise SiLK oder BCB als Niederimpedanzschichten verwendet werden. Unter dem schematischen Querschnitt ist ein elektronisches Ersatzschaltbild der einfachen Ausführungsform des SCF angegeben.

Figur 2 zeigt exemplarisch eine Oberflächentopographie des low-k-Dielektrikums BCB, die mittels Rasterkraftmikroskopie auf einem Gebiet von $2\mu\text{m} \times 2\mu\text{m}$ erstellt wurde. Die Aufnahme

zeigt, daß das Low-k-Dielektrikum nach Aushärtung mit $RMS=0,28nm$ eine sehr niedrige Oberflächenrauigkeit aufweist. Dieser geringe Wert stellt sicher, daß folgende Schichten wie z.B. Elektroden ungestört aufgewachsen werden können, und daß

5 an der Grenzfläche zwischen Low-k-Dielektrikum und Elektrode keine akustischen Verluste und Streuungen auftreten, welche die Dynamik der Resonatoren verringern und damit die Einfügedämpfung der Filter erhöhen. Low-k-Dielektrika wie BCB oder SiLK[®], die in Spin-On-Technik auf Oberflächen aufgebracht

10 werden, glätten zusätzlich durch ihre Fließeigenschaften die Rauigkeiten der darunterliegenden Schichten. Die Grenzflächenrauigkeiten, die sich in konventionellen Spiegeln nach oben hin kumulativ fortsetzen können, werden bei diesen low-k-Dielektrika nicht weiter nach oben abgebildet. Maßnahmen

15 wie das Polieren von Oberflächen, die bei konventionellen Spiegeln mit SiO_2 als oberster Niederimpedanzschicht notwendig werden können, sind hiermit bei den erfindungsgemäßen akustischen Spiegeln überflüssig.

20 Figur 3 zeigt den Admittanzverlauf eines mit einem erfindungsgemäßen akustischen Spiegel A versehenen BAW-Resonators. Dessen Kurve 2 wird mit einer Kurve 1 verglichen, die anhand eines herkömmlichen BAW-Resonators mit einem herkömmlichen akustischen Spiegel ermittelt wird. Dieser bekannte akustische

25 Spiegel ist aus zwei $\lambda/4$ Schichtenpaaren SiO_2/W aufgebaut. Aus der Figur zeigt sich, daß mit dem erfindungsgemäßen Resonator eine höhere Bandbreite erhalten wird als mit dem Resonator mit herkömmlichem Spiegel. Die Bandbreite ergibt sich aus dem Abstand zwischen der Resonanzfrequenz f_r und der

30 Antiresonanzfrequenz f_a . Die Breitbandigkeit ist die beste Voraussetzung, auch ein Bandpaßfilter mit erhöhter Bandbreite herzustellen. Aus der Figur 3 ergibt sich eine Zunahme der Bandbreite von 9,4 MHz. Gegenüber der Bandbreite eines BAW-Resonators mit konventionellem Spiegel von 57,5 MHz bedeutet

35 dies eine Bandbreitenzunahme von 16 %. Die dargestellten Admittanzverläufe entsprechen BAW-Resonatoren mit Gold und Aluminium als Elektrodenmaterial. Als Substrat dient Silizium.

Die verbesserten Eigenschaften des erfindungsgemäßen Resonators werden insbesondere auf die günstigen Eigenschaften der Low-k-Dielektrikumsschicht LK zurückgeführt, die gegenüber dem bisher dafür verwendeten Siliziumdioxid in wesentlichen Parametern verbessert ist. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick der wichtigsten Eigenschaften des bekannten Materials (SiO_2) und des erfindungsgemäß verwendeten polyaromatischen SiLK®:

	SiO_2	SiLK®
Dichte	2,2 g/cm ³	< 2,0 g/cm ³
elastische Konstante	7,8 x 10 ¹⁰ Pa	< 0,27 x 10 ¹⁰ Pa
relative dielektrische Konstante	4	2,65
akustische Impedanz	13 x 10 ⁶ kg/sm ²	< 2,3 x 10 ⁶ kg/sm ²

10

Figur 4 zeigt drei beispielhafte Möglichkeiten, wie ein Reaktanzfilter aus mehreren BAW-Resonatoren aufgebaut werden kann. In den Ladder-Type-Strukturen von Figur 4a und Figur 4b wird zumindest ein Resonator R_s zwischen dem Filtereingang und dem Filterausgang in Serie geschaltet. Parallel dazu wird mindestens ein weiterer Resonator R_p auf Masse geschaltet. Die Resonanzfrequenz des im Serienarm angeordneten Resonators R_s wird dabei so gewählt, daß sie ungefähr bei der Antiresonanzfrequenz des Resonators R_p im parallelen Zweig des Filters liegt: $f_{ap} = f_{rs}$.

20

Vorzugsweise besteht ein Reaktanzfilter aus einer Ladder-Type-Struktur, bei der mehrere in Serie geschaltete BAW-Resonatoren R_{s1} , R_{s2} und R_{s3} und mehrere parallel dazu geschaltete Resonatoren R_{p1} , R_{p2} wie dargestellt miteinander verschaltet sind. Beginnend an einem Ein- oder Ausgang kann die Struktur abgekürzt mit den Buchstaben p für paralleler Resonator mit R_p bzw. s für serieller Resonator R_s angegeben werden. Dargestellt ist in Figur 4a z.B. eine Struktur

25

s-p-s-p-s mit fünf Resonatoren, während in Figur 4b eine Struktur p-s-p-s-p-s mit sechs Resonatoren gezeigt ist. Die Ladder-Type-Struktur kann um beliebige weitere serielle und parallele Resonatoren erweitert werden, wobei jeder parallele Resonator R_p aus zwei parallel geschalteten Parallelresonatoren und jeder serielle Resonator R_s aus zwei in Serie geschalteten Resonatoren zusammengesetzt sein kann. Die bekannten Designregel für Ladder-Type-Filter können angewendet werden.

10

Figur 4c zeigt die Lattice-Type-Struktur eines Reaktanzfilters, der aus BAW-Resonatoren aufgebaut ist. Diese Struktur wird vorzugsweise für den sog. Balanced-Balanced-Modus von Filtern eingesetzt.

15

Figur 5 zeigt das Durchlaßverhalten eines aus erfindungsgemäßen BAW-Resonatoren aufgebauten Bandpaßfilters mit Ladder-Type-Struktur. Die Durchlaßkurve 2 des erfindungsgemäßen BAW-Resonators ist dabei einer Durchlaßkurve 1 gegenübergestellt, die mit einem Filter mit herkömmlichen BAW-Resonatoren bestimmt wird. Als Vergleich werden dazu wieder BAW-Resonatoren mit einem akustischen Spiegel aus zwei $\lambda/4$ -Schichtenpaaren SiO_2/W herangezogen. Es zeigt sich, daß das neuartige Filter gegenüber einem herkömmlichen Filter eine erhöhte Bandbreite bei mindestens gleich guter Einfügedämpfung und gleich guter Sperrbereichsunterdrückung aufweist. Die Bandbreite nimmt beispielsweise um 14 % zu. Die Einfügedämpfung ändert sich praktisch nicht. Auf diese Weise ist es möglich, anstelle von Zinkoxid Aluminiumnitrid zu verwenden, welches wegen seiner niedrigeren Kopplung ansonsten eine niedrigere Bandbreite aufweist. Durch die relative Bandbreitenvergrößerung bei Verwendung eines erfindungsgemäßen Spiegels kann der Effekt bei ansonsten gleichen Spezifikationen kompensiert werden. Ebenso ist es mit dem erfindungsgemäßen akustischen Spiegel möglich, eine durch eine mindere Qualität der Piezo-Schicht P bewirkte Reduktion der Bandbreite zu kompensieren.

35

Durch die Erhöhung der Grenzflächenreflexion und der Breitbandigkeit des erfindungsgemäßen akustischen Spiegels ergibt sich auch eine gewisse Dickentoleranz für die Dicke der $\lambda/4$ - und $3\lambda/4$ -Schichten. So ist es möglich, ein und dieselbe

5 Schichtdicke für die akustischen Spiegelschichten zweier unterschiedlicher Filter zu verwenden, deren Resonanzfrequenzen nahe beieinander liegen, beispielsweise wie ein Duplexer mit einem RX-Filter und einem TX-Filter für den 3G-Standard UMTS.

10 Figur 6 zeigt die Durchlaßkurven für RX- und TX-Filter eines UMTS-Duplexers, wobei in der Figur die Kurven für einen Duplexer mit erfindungsgemäßen BAW-Resonatoren den Filterkurven von herkömmlichen BAW-Resonatoren mit dem genannten konventionellen akustischen Spiegel gegenübergestellt sind. Während

15 für die Kurve 1 mit dem konventionellen akustischen Spiegel die $\lambda/4$ -Schichten separat für RX- und TX-Filter optimiert und auf unterschiedliche Schichthöhen eingestellt sind, wird für den aus erfindungsgemäßen BAW-Resonatoren bestehenden Duplexer gemäß der Durchlaßkurve 2 ein einheitlicher akustischer

20 Spiegel mit mittleren Schichtdicken für die $\lambda/4$ -Schichten eingesetzt, beispielsweise in einer auf die Mittenfrequenz des RX-Filters optimierten Schichtdicke. Man erkennt, daß trotz dieser Vereinfachung sowohl TX- als auch RX-Filter den vorgegebenen Spezifikationen genügen. In der Figur sind die

25 einzuhaltenden Grenzwerte, die im Durchlaßbereich unterhalb der Kurve, im Sperrbereich über der Kurve liegen müssen, in Form von waagerechten Balken eingezeichnet. Die vereinfachte Herstellung eines erfindungsgemäßen UMTS-Duplexers mit einheitlichem akustischem Spiegel ist möglich, da der erfindungsgemäße Spiegel mit nur einem $\lambda/4$ -Schichtenpaar über einen größeren Frequenzbereich als konventionelle Spiegel konstante Reflexionseigenschaften besitzt. Dies trägt letztlich zur Breitbandigkeit des erfindungsgemäßen Spiegels bei, welche die Herstellung von RX-Filtern und TX-Filtern von Duplexern auf einem einzigen Substrat mit identischen Spiegeln

30 bzw. mit einheitlichem Spiegel ermöglicht. Damit reduzieren sich die Prozeßkomplexität und die Herstellungskosten erheb-

lich. Trotz einheitlicher bzw. identischer Spiegelschichtdicken für RX- und TX-Filter nimmt die Bandbreite auch hier für TX-Filter um 13 % und für den RX-Filter um 14 % zu. Während der TX-Filter eine wie in Figur 4a dargestellte Ladder-Type-Struktur aufweist, weist der RX-Filter am Eingang einen weiteren parallelen Resonator Rp auf.

In einem weiteren Versuch wird die Abhängigkeit der Filtereigenschaften von Schichtdickenschwankungen innerhalb des akustischen Spiegels ermittelt. Dazu wird anhand des bereits beschriebenen RX/TX-Filterpaares für einen UMTS-Duplexer mit erfindungsgemäßem akustischen Spiegel die Schichtdicke des Low-k-Dielektrikums (hier: SiLK®) abweichend vom optimalen Wert (hier: 165 nm) um +/- 13 nm variiert. Figur 7 zeigt die beiden Kurven mit jeweils nicht optimalen Schichtdicken, wobei die Abweichung immerhin +/- 7,8 % vom Zielwert 165 nm beträgt. Es zeigt sich, daß die beiden nicht optimalen Schichtdicken der genannten Spiegelschicht dennoch zu Bandpaßfiltern führen, die die vorgegebenen Spezifikationen gerade noch erfüllen. Dies zeigt, daß mit dem erfindungsgemäßen akustischen Spiegel relative Schichtdickenschwankungen der einzelnen Spiegelschichten von ca. +/- 7 % erlaubt sind. Damit ist die erlaubte Schichtdickenschwankung wesentlich höher als die maximale mit dem SiLK-Material in Kauf zu nehmende (laut Herstellerspezifikationen ist eine Schichtdickengenauigkeit von kleiner +/- 0,5 % bei Abscheidung in SOD-Technik möglich).

In Figur 8 wird die Schichtdicke der ersten Hochimpedanz-Spiegelschicht (hier: Wolfram) abweichend vom optimalen Wert (hier: 611nm) um +/- 300nm variiert. Die beiden Durchlaßkurven mit jeweils nicht optimalen Schichtdicken sind, wie in Figur 8 ersichtlich, nahezu nicht unterscheidbar, obwohl die Schichtdickenabweichung für die Wolfram $\lambda/4$ -Schicht nahezu +/- 50% beträgt. Trotz der hohen Schichtdickenabweichung in der genannten Spiegelschicht führen die Durchlaßkurven zu Bandpaßfiltern, die die vorgegebenen Spezifikationen erfüllen. Diese hohe Toleranz der Durchlaßkurven gegen Spiegel-

Schichtdickenschwankungen der Hochimpedanzschicht bei Verwendung von Low-k-Dielektrika wie beispielsweise SiLK oder BCB als Niederimpedanzschicht ist darauf zurückzuführen, daß der überwiegende Teil der akustischen Welle bereits an der Grenzfläche zwischen unterer Elektrode und Low-k-Dielektrikum reflektiert wird (Exemplarisch: Reflexion über 90%). Damit ist der Einfluß von Material- und Geometrieschwankungen darunterliegender Schichten auf die Lage und die Gestalt von Admittanzkurven der Resonatoren und von Durchlaßkurven der Filter stark reduziert. Durch die höhere Toleranz gegenüber Schichtdickenschwankungen sind auch einfachere Aufbringverfahren möglich, was die Kosten für den akustischen Spiegel weiter senkt.

Obwohl die Erfindung nur anhand weniger optimaler Materialkombinationen beschrieben wurde, liegen im Rahmen der Erfindung noch weitere Variationen bezüglich der verwendeten Materialien. Wenn von den genannten organischen Low-k-Dielektrika abgewichen wird, die die optimalen Voraussetzungen für den akustischen Spiegel mitbringen, so kann mehr als ein Schichtenpaar von $\lambda/4$ - und $3\lambda/4$ - Schichten für einen erfindungsgemäßen akustischen Spiegel erforderlich sein. Dies gilt auch, wenn von Wolfram als Material für die Schicht mit hoher akustischer Impedanz abgewichen wird und beispielsweise auf Molybdän oder Aluminiumnitrid übergegangen wird. In allen Fällen wird mit erfindungsgemäßen akustischen Spiegeln jedoch die Anzahl der notwendigen Spiegelschichten verringert. Dies verringert ebenfalls in allen Fällen die störende elektrische Kopplung zum Substrat und vereinfacht die Spiegelherstellung, die nun keine Strukturierung mehr erfordert. In allen Fällen erhält man mit erfindungsgemäßen akustischen Spiegeln einen höheren Freiheitsgrad bei der Auswahl der gewünschten Materialien, die eine weitere Optimierung von BAW-Resonatoren und daraus hergestellter Filter ermöglichen. Dabei werden die Eigenschaften konventioneller BAW-Resonatoren zumindest erreicht, für optimale Schichtkombinationen wie dargestellt jedoch erheblich übertroffen.

Patentansprüche

1. Akustischer Spiegel für einen BAW Resonator oder einen
Stacked Crystal Filter,
5 mit zumindest einem Schichtenpaar (LK,HZ) aus $\lambda/4$ -Schichten
oder $3\lambda/4$ -Schichten, wobei jedes Schichtenpaar eine erste
Schicht (LK) mit einem ersten Material niedriger akustischer
Impedanz und eine zweite Schicht (HZ) mit einem zweiten Mate-
rial relativ dazu hoher akustischer Impedanz umfaßt,
10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß das erste Material niedriger akustischer Impedanz ein
low-k Dielektrikum ist.
2. Akustischer Spiegel nach Anspruch 1,
15 welcher auf der obersten Schicht eines BAW Resonators oder
eines Stacked Crystal Filters angeordnet ist und mit einer
Schicht des ersten Material niedriger akustischer Impedanz
beginnt, auf dem die zweite Schicht (HZ) mit dem zweiten
Material relativ dazu hoher akustischer Impedanz abge-
20 schieden ist.
3. Akustischer Spiegel nach Anspruch 1,
bei dem das zweite Material (HZ) relativ hoher akusti-
scher Impedanz ausgewählt ist aus Wolfram W, Molybdän Mo
25 oder Aluminiumnitrid.
4. Akustischer Spiegel nach einem der Ansprüche 1 - 3,
bei dem das low-k Dielektrikum (LK) eine Dichte von weni-
ger als 2,4 g/cm³, elastische Konstanten mit Werten von
30 weniger als 10 Gpa und eine relative Dielektrizitätskon-
stante von weniger als 3 aufweist.
5. Akustischer Spiegel nach einem der Ansprüche 1 - 4,
bei dem als low-k Dielektrikum (LK) ein Aerogel, ein porö-
ses Silkat, ein Organosilikat, ein von kondensierten Sil-
35 sesquioxanen abgeleitetes Siloxan, eine polyaromatische

Verbindung, ein vernetztes Polyphenylen oder ein polymerisiertes Benzocyclobuten ausgewählt ist.

6. Akustischer Spiegel nach Anspruch 5,
5 bei dem als low-k Dielektrikum (LK) eine polyaromatische Verbindung ausgewählt ist, die von aromatisierten Polyarylenen abgeleitet ist, die unsubstituiert sind oder unpolare Gruppen tragen.
- 10 7. Akustischer Spiegel nach einem der Ansprüche 1 - 4, bei dem als low-k Dielektrikum (LK) ein von Benzocyclobuten abgeleitetes Dielektrikum niedriger akustischer Impedanz eingesetzt ist.
- 15 8. Akustischer Spiegel nach einem der Ansprüche 1 - 4, bei dem als low-k Dielektrikum (LK) ein von substituierten Polyphenylenen abgeleitetes Dielektrikum niedriger akustischer Impedanz eingesetzt ist.
- 20 9. Akustischer Spiegel nach einem der Ansprüche 1 - 8, bei dem low-k Dielektrikum (LK) mit Nanoporen versehen ist.
10. Akustischer Spiegel nach einem der Ansprüche 1 - 9,
25 mit einem einzigen Schichtenpaar (LK,HZ) von Lambda-Viertel-Schichten, bei dem das low-k Dielektrikum eine polyaromatische Verbindung ist, die von aromatisierten Polyphenylenen abgeleitet ist oder ein polymerisiertes Benzocyclobuten ist und bei dem das zweite Material hoher
30 akustischer Impedanz Wolfram, Molybdän, Aluminiumnitrid, Galliumnitrid oder Zinkoxid ist.
11. BAW Resonator mit einem akustischen Spiegel nach Anspruch 10,
35 bei dem über einem als Träger fungierenden Substrat (S) die Schicht (HZ) mit dem Material relativ hoher akustischer Impedanz und darüber die Schicht (LK) mit dem Mate-

- rial niedriger akustischer Impedanz angeordnet sind, die den akustischen Spiegel (A) bilden, bei dem über dem akustischen Spiegel eine erste Elektrode (E1), eine piezoelektrische Schicht (P) und eine zweite Elektrode (E2) angeordnet sind, wobei das Elektrodenmaterial ausgewählt ist aus Al, W, Mo, Cu oder Au und wobei das Material der piezoelektrischen Schicht (P) ausgewählt ist aus Zinkoxid Aluminiumnitrid, Galliumnitrid oder anderen piezoelektrischen Materialien geeigneter Kopplung.
- 10
12. Stacked Crystal Filter mit einem akustischen Spiegel nach Anspruch 10, bei dem über einem als Träger fungierenden Substrat (S) die Schicht (HZ) mit dem Material relativ hoher akustischer Impedanz und darüber die Schicht (LK) mit dem Material niedriger akustischer Impedanz angeordnet sind, die beide zusammen den akustischen Spiegel (A) bilden, bei dem über dem akustischen Spiegel eine erste Elektrode (E1), eine erste piezoelektrische Schicht (P1), eine zweite Elektrode (E2), eine zweite piezoelektrische Schicht (P2), und eine dritte Elektrode (E3) angeordnet sind, wobei das Material für erste und zweite Elektrode ausgewählt ist aus Al, W, Cu oder Au und wobei das Material der piezoelektrischen Schichten (P1) und (P2) ausgewählt ist aus Zinkoxid, Aluminiumnitrid, Galliumnitrid, oder anderen piezoelektrischen Materialien geeigneter Kopplung.
- 15
- 20
- 25
13. Stacked Crystal Filter nach Anspruch 12, bei dem zweite Elektrode (E2) in zwei Teilelektroden gesplittet ist, zwischen denen eine akustische Spiegelschicht angeordnet ist, die zumindest eine $\lambda/4$ -Schicht aus einem low-k-Dielektrikum umfaßt.
- 30
14. BAW Resonatorfilter oder Stacked Crystal Filter, bei dem mehrere BAW Resonatoren oder Stacked Crystal Filter nach einem der Ansprüche 11 bis 13 in einer Abzweig-
- 35

schaltung in einem seriellen Arm und dazu parallelen Armen angeordnet und zu einem Reaktanzfilter verschaltet sind.

15. BAW Resonatorfilter oder Stacked Crystal Filter nach Anspruch 14,
5 bei dem die BAW Resonatoren oder Stacked Crystal Filter in Lattice-Struktur zu einem Reaktanzfilter verschaltet sind.
16. Duplexer mit einem ersten und einem zweiten Reaktanzfilter,
10 welches jeweils als BAW Resonatorfilter nach Anspruch 11 ausgebildet ist.
17. Duplexer nach Anspruch 16,
bei dem alle BAW Resonatoren der beiden BAW Resonatorfilter
15 über einem gemeinsamen akustischen Spiegel (A) angeordnet sind.
18. Duplexer nach Anspruch 17,
bei dem der gemeinsame akustische Spiegel (A) ganzflächig
20 und unstrukturiert auf dem Substrat (S) unter den BAW Resonatoren ausgebildet ist.

FIG 1A

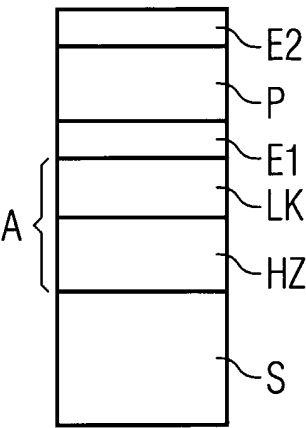


FIG 1B

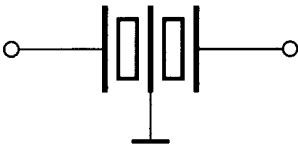
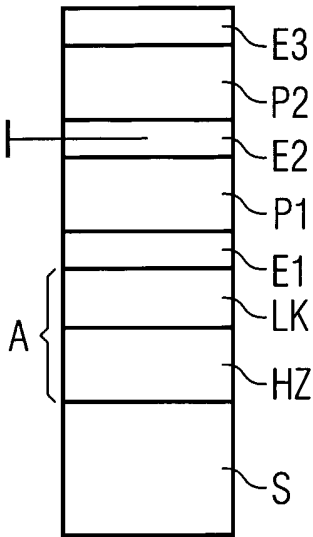


FIG 2

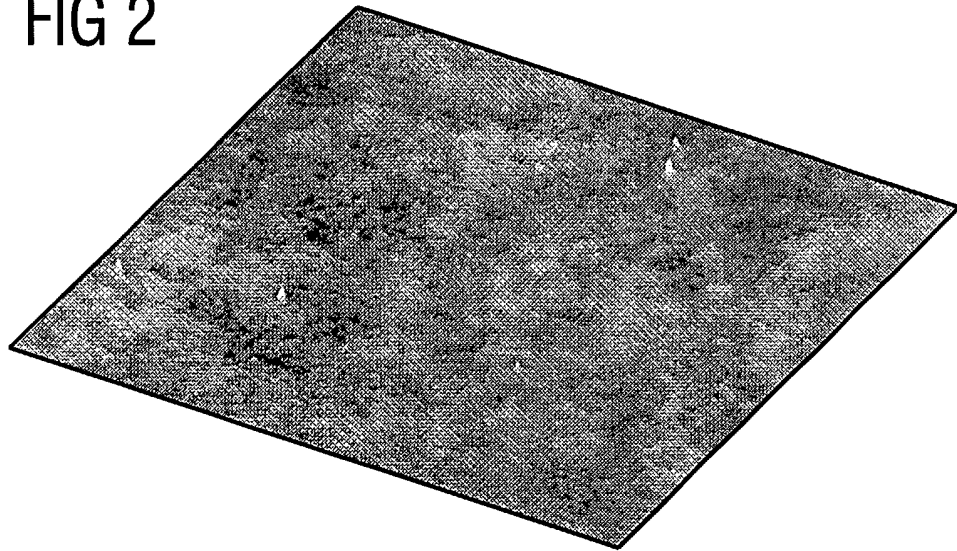


FIG 3

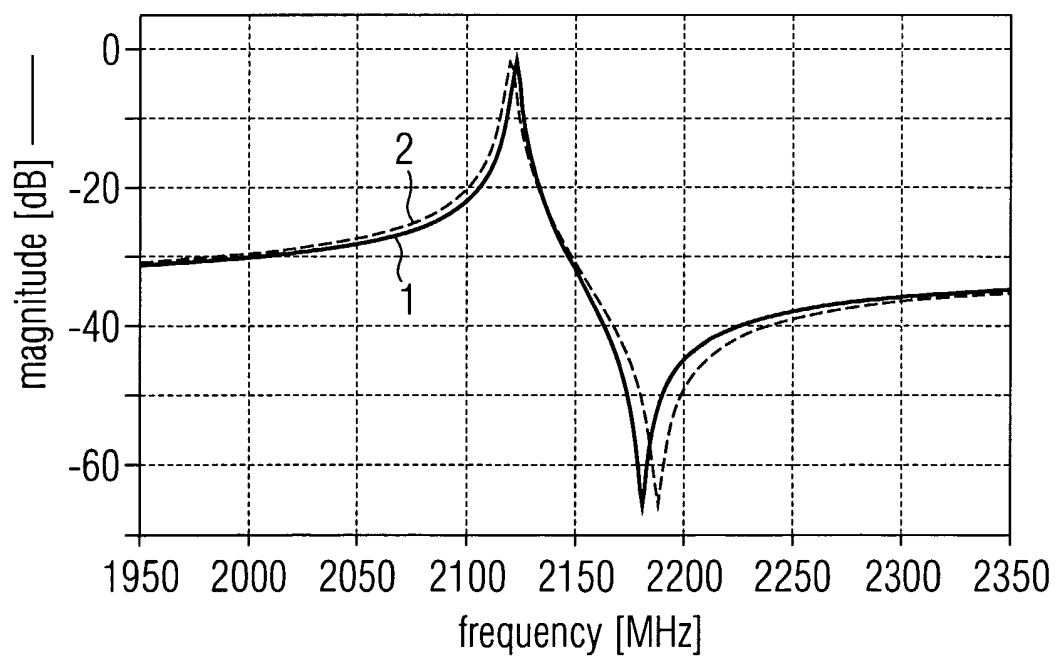


FIG 4A

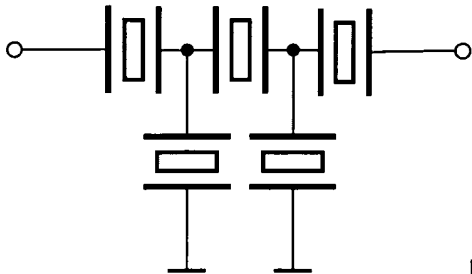


FIG 4B

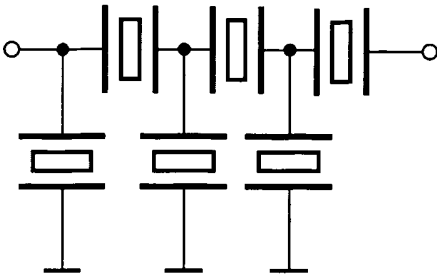


FIG 4C

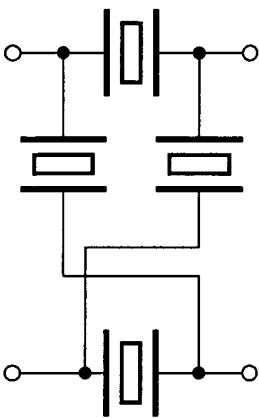


FIG 5

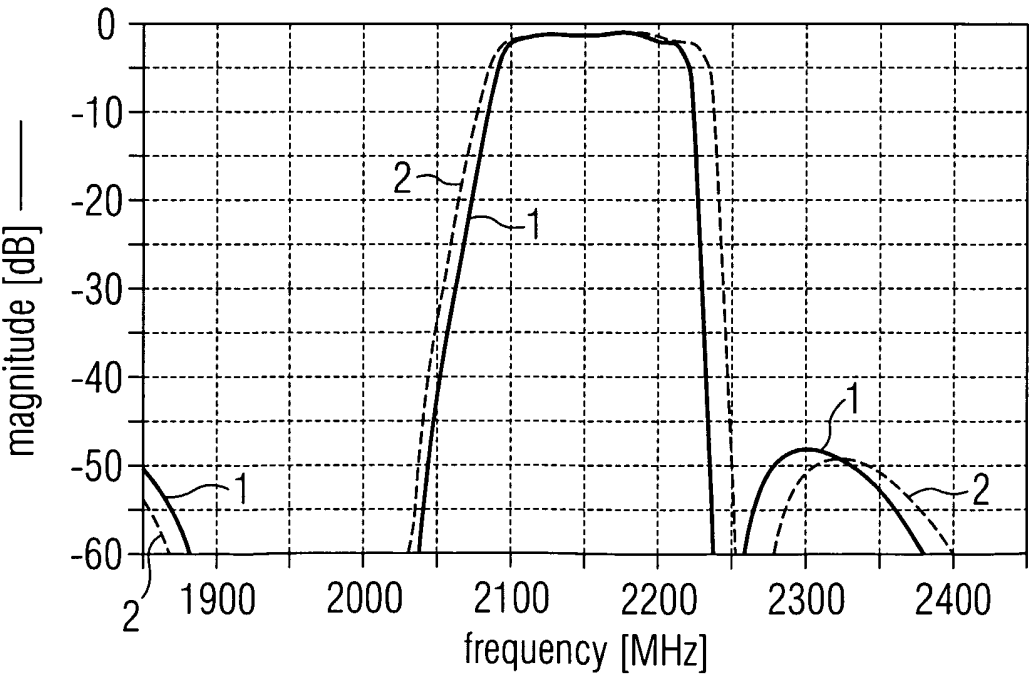


FIG 6

Tx Structure: s-p-s-p-s
Rx Structure: p-s-p-s-p-s

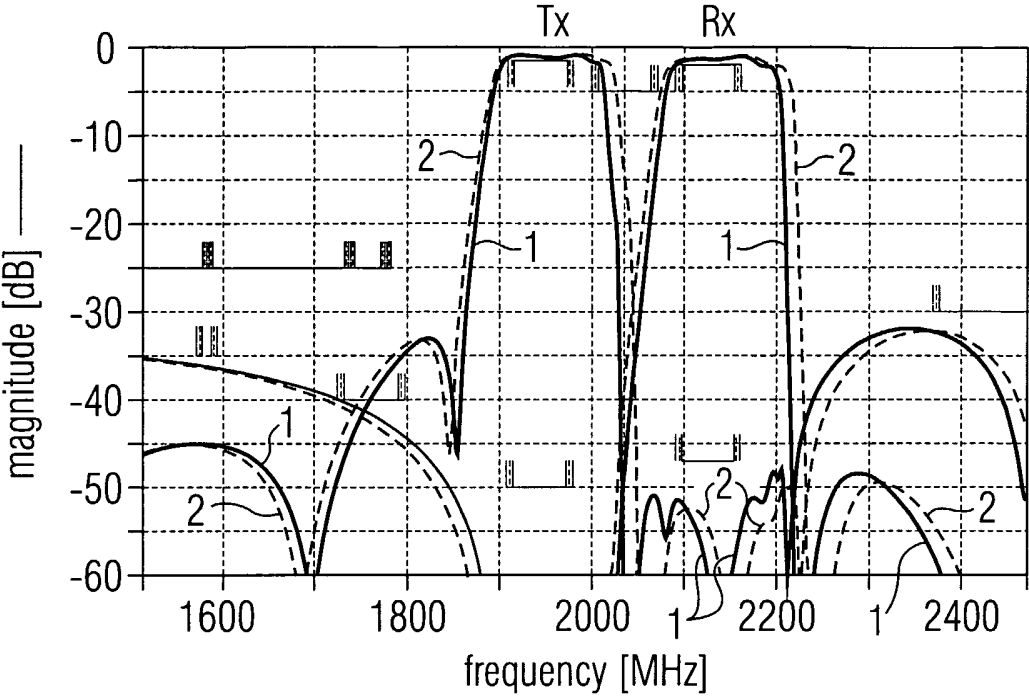


FIG 7

Tx Structure: s-p-s-p-s
Rx Structure: p-s-p-s-p-s

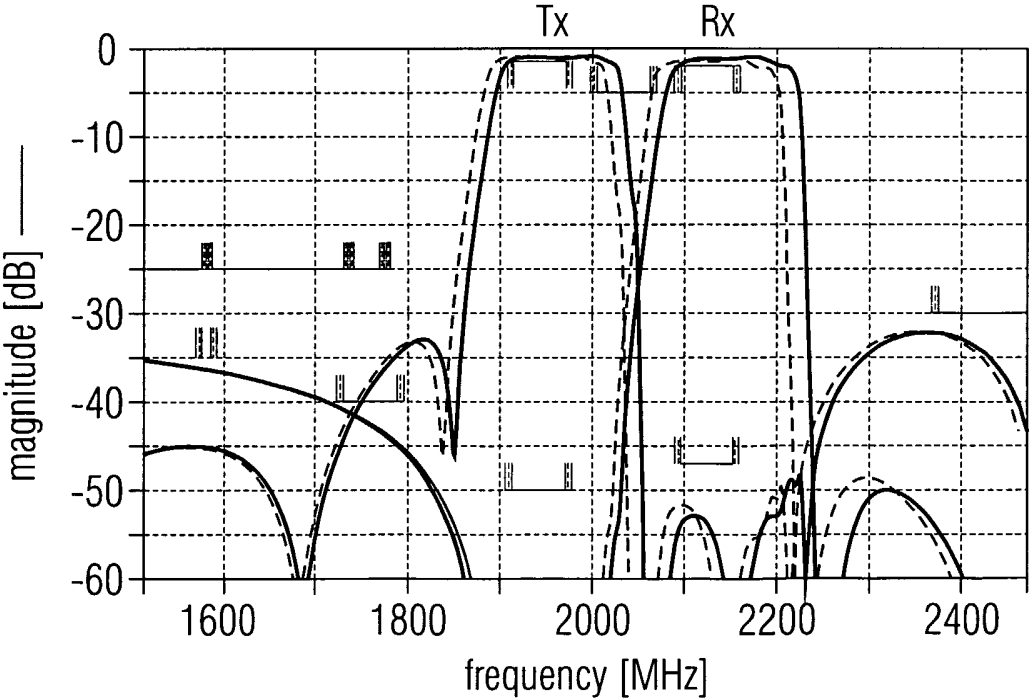
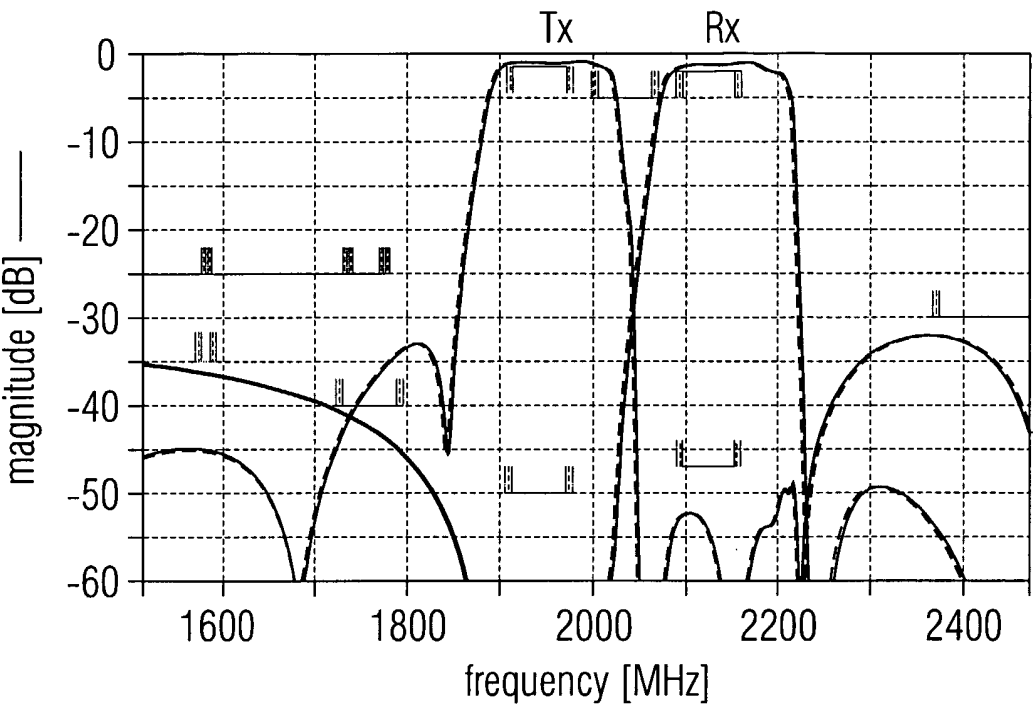


FIG 8

Tx Structure: s-p-s-p-s
Rx Structure: p-s-p-s-p-s



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 02/04498

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H03H9/17

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)

IPC 7 H03H

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, PAJ, IBM-TDB, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 067 685 A (PHILIPS CORP INTELLECTUAL PTY ;KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV (NL)) 10 January 2001 (2001-01-10) paragraphs '0036!-'0050! ---	1-18
X	EP 1 158 671 A (AGERE SYSTEMS GUARDIAN CORP) 28 November 2001 (2001-11-28) figures 1,2 paragraphs '0005!-'0007! paragraph '0012! paragraphs '0036!-'0038! --- -/--	1-18



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in 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

21 May 2003

Date of mailing of the international search report

28/05/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Radomirescu, B-M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Interi al Application No

PCT/DE 02/04498

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>MARTIN S J ET AL: "DEVELOPMENT OF A LOW-DIELECTRIC-CONSTANT POLYMER FOR THE FABRICATION OF INTEGRATED CIRCUIT INTERCONNECT"</p> <p>ADVANCED MATERIALS, VCH VERLAGSGESELLSCHAFT, WEINHEIM, DE, vol. 12, no. 23, 1 December 2000 (2000-12-01), pages 1769-1778, XP000977267 ISSN: 0935-9648 table 1 page 1772, left-hand column, line 11 -page 1775, right-hand column, line 32 ---</p>	4-10
A	<p>PETERS L: "PURSUING THE PERFECT LOW-K DIELECTRIC"</p> <p>SEMICONDUCTOR INTERNATIONAL, CAHNERS PUB., NEWTON, MAS, IL, US, vol. 21, no. 10, September 1998 (1998-09), pages 64-66,68,70,72,74, XP000951575 ISSN: 0163-3767 page 64, left-hand column -middle column ---</p>	6
A	<p>LEE U Y ET AL: "The properties of electrical conduction and photoconduction in polyphenylene sulfide by uniaxial elongation"</p> <p>CONDUCTION AND BREAKDOWN IN SOLID DIELECTRICS, 1998. ICSD '98. PROCEEDINGS OF THE 1998 IEEE 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON VASTERAS, SWEDEN 22-25 JUNE 1998, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 22 June 1998 (1998-06-22), pages 241-244, XP010296209 ISBN: 0-7803-4237-2 page 241, left-hand column page 242, right-hand column, line 17,18 -----</p>	8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International Application No
PCT/DE 02/04498

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1067685	A	10-01-2001	DE 19931297 A1	11-01-2001
			EP 1067685 A2	10-01-2001
			JP 2001089236 A	03-04-2001
			US 6466105 B1	15-10-2002
<hr/>				
EP 1158671	A	28-11-2001	EP 1158671 A2	28-11-2001
			JP 2002041052 A	08-02-2002
<hr/>				

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H03H9/17

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H03H

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, IBM-TDB, INSPEC, COMPENDEX

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 067 685 A (PHILIPS CORP INTELLECTUAL PTY ;KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV (NL)) 10. Januar 2001 (2001-01-10) Absätze '0036!-'0050! ---	1-18
X	EP 1 158 671 A (AGERE SYSTEMS GUARDIAN CORP) 28. November 2001 (2001-11-28) Abbildungen 1,2 Absätze '0005!-'0007! Absatz '0012! Absätze '0036!-'0038! --- -/--	1-18

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen☒ Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

21. Mai 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

28/05/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Radomirescu, B-M

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>MARTIN S J ET AL: "DEVELOPMENT OF A LOW-DIELECTRIC-CONSTANT POLYMER FOR THE FABRICATION OF INTEGRATED CIRCUIT INTERCONNECT"</p> <p>ADVANCED MATERIALS, VCH VERLAGSGESELLSCHAFT, WEINHEIM, DE, Bd. 12, Nr. 23, 1. Dezember 2000 (2000-12-01), Seiten 1769-1778, XP000977267 ISSN: 0935-9648 Tabelle 1 Seite 1772, linke Spalte, Zeile 11 -Seite 1775, rechte Spalte, Zeile 32 ----</p>	4-10
A	<p>PETERS L: "PURSUING THE PERFECT LOW-K DIELECTRIC"</p> <p>SEMICONDUCTOR INTERNATIONAL, CAHNERS PUB., NEWTON, MAS, IL, US, Bd. 21, Nr. 10, September 1998 (1998-09), Seiten 64-66,68,70,72,74, XP000951575 ISSN: 0163-3767 Seite 64, linke Spalte -mittlere Spalte ----</p>	6
A	<p>LEE U Y ET AL: "The properties of electrical conduction and photoconduction in polyphenylene sulfide by uniaxial elongation"</p> <p>CONDUCTION AND BREAKDOWN IN SOLID DIELECTRICS, 1998. ICSD '98. PROCEEDINGS OF THE 1998 IEEE 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON VASTERAS, SWEDEN 22-25 JUNE 1998, NEW YORK, NY, USA,IEEE, US, 22. Juni 1998 (1998-06-22), Seiten 241-244, XP010296209 ISBN: 0-7803-4237-2 Seite 241, linke Spalte Seite 242, rechte Spalte, Zeile 17,18 -----</p>	8

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 02/04498

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1067685 A	10-01-2001	DE 19931297 A1	11-01-2001
		EP 1067685 A2	10-01-2001
		JP 2001089236 A	03-04-2001
		US 6466105 B1	15-10-2002

EP 1158671 A	28-11-2001	EP 1158671 A2	28-11-2001
		JP 2002041052 A	08-02-2002
