

(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  
21. Dezember 2006 (21.12.2006)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2006/133807 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

**H03H 3/04** (2006.01) **H03H 9/17** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2006/005192

(22) Internationales Anmeldedatum:

31. Mai 2006 (31.05.2006)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2005 027 715.2 15. Juni 2005 (15.06.2005) 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): **SCHMIDHAMMER, Edgar** [DE/DE]; Hochgernstr. 28, 83371 Stein (DE).

(74) Anwalt: **EPPING HERMANN FISCHER PATENTANWALTSGESELLSCHAFT MBH**; Ridlerstr. 55, 80339 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

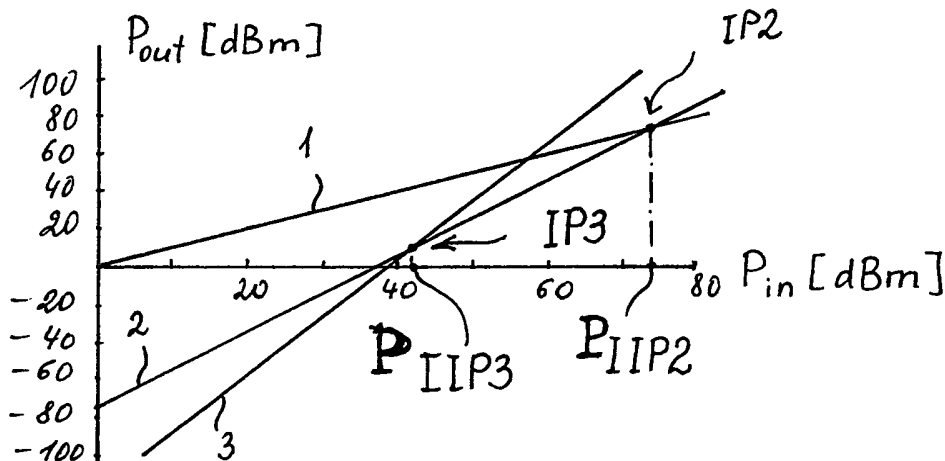
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ELECTROACOUSTIC RESONATOR, FILTER, DUPLEXER AND METHOD FOR DETERMINING PARAMETERS OF A RESONATOR

(54) Bezeichnung: ELEKTROAKUSTISCHER RESONATOR, FILTER, DUPLEXER UND VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG VON PARAMETERN EINES RESONATORS



(57) Abstract: The invention relates to a resonator that operates using acoustic waves. According to the invention, the surface area of said resonator is selected in such a way that in the transmission characteristics of the resonator, the critical input signal power, subject to the order of the spectral component that is used to determine an intercept point, does not fall below a predefined target level. The invention also relates to a method for determining the minimum surface area of a resonator, based on the intercept point.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein mit akustischen Wellen arbeitender Resonator angegeben, dessen Resonatorgrundfläche so gewählt ist, dass in der Übertragungscharakteristik des Resonators die kritische Eingangssignalleistung, abhängig von der Ordnung der zur Ermittlung eines Intercept-Punktes herangezogenen Spektralkomponente, einen vorgegebenen Zielpiegel nicht unterschreitet. Ferner wird ein Verfahren zur Bestimmung der Mindestgrundfläche eines Resonators auf der Basis des Intercept-Punktes angegeben.

WO 2006/133807 A1



---

*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.*

## Beschreibung

Elektroakustischer Resonator, Filter, Duplexer und Verfahren zur Bestimmung von Parametern eines Resonators

Mit akustischen Volumenwellen arbeitende Resonatoren - BAW-Resonatoren - sind z. B. aus den Druckschriften EP 0963040 A2, US 4719383 und US 5714917 bekannt (BAW = Bulk Acoustic Wave). Ein BAW-Resonator umfasst eine piezoelektrische Schicht z. B. aus ZnO, die zwischen zwei Elektroden angeordnet ist. Solche Resonatoren zeichnen sich durch eine hohe Leistungsfestigkeit aus.

Eine zu lösende Aufgabe besteht darin, einen elektroakustischen Resonator anzugeben, der zum Einsatz in Multiband-Geräten geeignet ist. Des weiteren wird eine Methode zur Bestimmung von Parametern eines in einem Multiband-Gerät einsetzfähigen elektroakustischen Resonators angegeben.

Es wurde festgestellt, dass Resonatoren unter Umständen nichtlineare Übertragungskennlinien aufweisen können. Es wird vorgeschlagen, Eigenschaften von Resonatoren mit gegebenen Parametern - z. B. in Entwicklungsstadium eines solche Resonatoren umfassenden Bauelements - auf Linearität zu prüfen. Insbesondere sollen mit akustischen Wellen arbeitende Resonatoren, vorzugsweise BAW-Resonatoren diesbezüglich geprüft werden.

Ein BAW-Resonator umfasst eine piezoelektrische Schicht, die zwischen zwei Elektroden angeordnet ist. Der BAW-Resonator kann über einem auf einem Trägersubstrat ausgebildeten akustischen Spiegel oder über einer in einem Trägersubstrat vorgesehenen Ausnehmung angeordnet sein.

Es wurde aufgrund von Messungen festgestellt, dass Filter mit herkömmlichen BAW-Resonatoren bei Anlegen einer hohen Signalleistung von z. B. 10 ... 35 dbm nichtlineare Kennlinien aufweisen, wobei die Nichtlinearität solcher Filter mit einer steigenden Leistung zunimmt. Eine Anregung eines nichtlinearen Systems führt im Allgemeinen zur Erzeugung von Harmonischen am Ausgang, selbst wenn ein Einton-Signal, d. h. ein Eingangssignal mit einer einzigen Frequenz angelegt wurde. Eine Nichtlinearität führt darüber hinaus zu störenden Intermodulationsprodukten, falls am Eingang Signale mit verschiedenen Frequenzen angelegt werden. Die Intermodulationsprodukte können in der Nähe des Nutzbands des zu untersuchenden Bauelements liegen und somit z. B. den Empfang des Nutzsignals stören. Den Intermodulationsstörungen und harmonischen Verzerrungen des Signals kann vorgebeugt werden, indem im Filter Resonatoren mit einer hohen Linearität eingesetzt werden.

Die Nichtlinearität eines BAW-Resonators rührt z. B. daher, dass die statische Kapazität des Resonators abhängig von der Signalamplitude, d. h. von der an den Resonator angelegten Spannung ist. Dies hängt damit zusammen, dass im piezoelektrischen Material die Auslenkung der Atome gegenüber ihrer Ruhelage und folglich auch die Dicke der piezoelektrischen Schicht von der angelegten Spannung abhängt.

Die statische Kapazität  $C_0$  eines BAW-Resonators ohne elektrisches Signal errechnet sich aus der Formel für einen Plattenkondensator:

$$C_0 = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{t} \quad (1),$$

wobei A die Fläche von Elektroden bzw. die Resonatorgrundflä-

che ist.  $t$  ist die Dicke der piezoelektrischen Schicht ohne elektrisches Signal.  $\epsilon_0$  ist die dielektrische Konstante des Vakuums und  $\epsilon_r$  die relative dielektrische Konstante der piezoelektrischen Schicht.

Die statische Kapazität  $C$  eines BAW-Resonators, an dem ein elektrisches Signal anliegt, errechnet sich als

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{t + \Delta x} = C_0 \frac{1}{1 + \frac{\Delta x}{t}}, \quad (2)$$

wobei  $\Delta x$  die Änderung der Dicke der piezoelektrischen Schicht ist, die proportional zur Amplitude  $U$  des elektrischen Signals ist. Der Ausdruck gemäß der Gleichung 2 kann in eine Reihe entwickelt werden:

$$C \cong C_0 \left[ 1 - \left( \frac{\Delta x}{t} \right) + \left( \frac{\Delta x}{t} \right)^2 - \dots \right].$$

Da  $\Delta x \propto U$  ist, gilt

$$C(U) \cong C_0 [1 + a_1 U + a_2 U^2 + \dots],$$

wobei  $a_1, a_2$  Koeffizienten sind, die für ein bestimmtes piezoelektrisches Material ermittelt werden können.

Es wurde festgestellt, dass durch die Einstellung bestimmter z. B. geometrischer Parameter eines Resonators seine Linearität verbessert werden kann.

Die Linearität eines Bauelements, in der Regel eines aktiven Bauelements, hier eines (passiven) Resonators, ist auf seine Übertragungskennlinie bezogen. Unter einer Übertragungskennlinie versteht man die Abhängigkeit des Leistungspegels eines

Ausgangssignals vom Leistungspegel eines Eingangssignals. Bei einem niedrigen Eingangssignalpegel verläuft die Übertragungskennlinie linear. Ab einem bestimmten Eingangssignalpegel machen sich Nichtlinearitäten des Bauelements bemerkbar, so dass die Übertragungskennlinie in diesem Bereich von einer Geraden abweicht.

Unter einem dynamischen Bereich eines Bauelements versteht man den Bereich solcher Eingangssignal-Leistungspegel, die einem linearen Abschnitt der Kennlinie der Grundwelle entsprechen.

Zur Bestimmung eines (linearen) dynamischen Bereichs eines Bauelements werden Kennlinien einer Grundwelle und einer in diesem Bauelement erzeugten, von der Grundwelle abweichenden Spektralkomponente  $n$ -ter Ordnung - z. B. einer Harmonischen  $n$ -ter Ordnung oder eines Intermodulationsproduktes  $n$ -ter Ordnung - herangezogen, wobei vorzugsweise gilt  $n=2$  oder  $n=3$ . Die Harmonische zweiter Ordnung entspricht einer Spektralkomponente zweiter Ordnung bei der doppelten Frequenz der Grundwelle und wird auch als erste Oberwelle bezeichnet. Die Harmonische dritter Ordnung entspricht einer Spektralkomponente dritter Ordnung bei der dreifachen Frequenz der Grundwelle und wird auch als zweite Oberwelle bezeichnet.

Die Übertragungskennlinien der Grundwelle und einer davon abweichenden Spektralkomponente  $n$ -ter Ordnung werden beide in einem Diagramm erfasst und dabei Ausgangssignalleistung gegen Eingangssignalleistung aufgetragen. Lineare Abschnitte der Kennlinie der Grundwelle und der Kennlinie der Spektralkomponente werden zu höheren Eingangssignalpegeln linear extrapoliert, wobei ihr Schnittpunkt ermittelt wird. Dieser Schnittpunkt wird auch Intercept-Punkt = IP genannt. Ein Intercept-

- 5 -

Punkt der Grundwelle und einer Spektralkomponente n-ter Ordnung wird als ein Intercept-Punkt n-ter Ordnung  $IP_n$  ( $IP_2$  für  $n=2$  bzw.  $IP_3$  für  $n=3$ ) bezeichnet.

Der dem Intercept-Punkt n-ter Ordnung entsprechende Leistungspegel des Eingangssignals wird als eine kritische Eingangssignalleistung oder ein Eingangs-Intercept-Punkt n-ter Ordnung  $P_{IIPn}$  bezeichnet.  $P_{IIPn}$ , z. B.  $P_{IIP2}$  für  $n=2$  bzw.  $P_{IIP3}$  für  $n=3$ , wird also als ein Signalpegel am Eingang eines nichtlinearen Systems definiert, bei dem der durch den Schnittpunkt extrapolierter Kennlinien ermittelte Ausgangspegel der Grundwelle und einer im Bauelement erzeugten Spektralkomponente n-ter Ordnung identisch sind. Dieser Ausgangspegel wird als Ausgangs-Intercept-Punkt n-ter Ordnung  $P_{OIPn}$ , z. B.  $P_{OIP2}$  für  $n=2$  (Second-Order Output Intercept Point) bzw.  $P_{OIP3}$  für  $n=3$  (Third-Order Output Intercept Point) bezeichnet.

Es wird ein mit akustischen Wellen arbeitender Resonator angegeben, dessen Resonatorgrundfläche so gewählt ist, dass in der Übertragungscharakteristik des Resonators die kritische Eingangssignalleistung, abhängig von der Ordnung der zur Ermittlung eines Intercept-Punktes herangezogenen Spektralkomponente, einen vorgegebenen Zielpegel nicht unterschreitet.

Dieser Zielpegel beträgt in einer bevorzugten Variante bezogen auf den Eingangs-Intercept-Punkt  $P_{IIP2}$  zweiter Ordnung mindestens 80 dBm und/oder bezogen auf den Eingangs-Intercept-Punkt  $P_{IIP3}$  dritter Ordnung mindestens 50 dBm.

In einer weiteren Variante ist der Zielpegel mindestens 85 dBm für  $n=2$  und/oder mindestens 55 dBm für  $n=3$ .

- 6 -

In einer weiteren Variante ist der Zielpegel mindestens 90 dBm für  $n=2$  und/oder mindestens 60 dBm für  $n=3$ .

In einer weiteren Variante ist der Zielpegel mindestens 100 dBm für  $n=2$  und/oder mindestens 65 dBm für  $n=3$ .

In einer weiteren Variante ist der Zielpegel mindestens 115 dBm für  $n=2$  und/oder mindestens 67,5 dBm für  $n=3$ .

Unter einer Resonatorgrundfläche wird die Projektion eines aktiven Resonatorbereichs, in dem eine akustische Welle angeregt wird und ausbreitungsfähig ist, auf eine laterale Ebene verstanden.

Der angegebene Resonator weist eine hohe Linearität in einem breiten dynamischen Bereich auf und ist zum Einsatz in einem Multiband-Gerät, insbesondere einem Mobilfunkgerät geeignet. Durch eine höhere Resonatorgrundfläche als bei bekannten Resonatoren ist die Leistungsdichte im Resonator vergleichsweise gering.

Des weiteren wird ein elektroakustischer Resonator mit einem Resonatorbereich angegeben, in dem eine akustische Welle ausbreitungsfähig ist. Der Resonator weist eine Resonatorgrundfläche auf, die so gewählt ist, dass bei Anlegen einer Eingangssignalleistung von 0dBm bei der Resonanzfrequenz  $f_r$  die Leistungsdichte im Resonatorbereich einen vorgegebenen Grenzwert von z. B. 40 dBm/m<sup>2</sup> nicht überschreitet. Der Grenzwert kann je nach Ausführung 45, 50, 55, 60, 65, 70 oder 75 dBm/m<sup>2</sup> betragen.

Obwohl in einer bevorzugten Ausführungsform der angegebene Resonator ein mit akustischen Volumenwellen arbeitender Reso-

- 7 -

nator ist, kann auch bei mit Oberflächenwellen oder geführten Volumenwellen - auf Englisch GBAW, Guided Bulk Acoustic Wave - arbeitenden Resonatoren durch die Erhöhung der Resonatorgrundfläche ihre Linearität verbessert werden. Eine beliebige Kombination aus BAW-, GBAW und SAW-Resonatoren ist vorgesehen.

Zur Bewertung eines Resonators bezüglich seiner Linearität in Blick auf den vorgegebenen Signalleistungspegel kann anstatt eines Eingangs-Intercept-Punkts  $P_{IIP2}$  oder  $P_{IIP3}$  ein Ausgangs-Intercept-Punkt n-ter Ordnung, z. B.  $P_{OIP2}$  für  $n=2$  bzw.  $P_{OIP3}$  für  $n=3$  herangezogen werden.

Die Resonatorgrundfläche beträgt vorzugsweise mindestens  $K/f$ , wobei  $K = 3,5 \cdot 10^4 \text{ GHz} \cdot \mu\text{m}^2$  und  $f$  die in GHz angegebene Resonanzfrequenz des Resonators ist. In einer weiteren Variante gilt  $K = 4 \cdot 10^4; 4,5 \cdot 10^4; 5 \cdot 10^4; 5,5 \cdot 10^4; 6 \cdot 10^4; 6,5 \cdot 10^4; 7 \cdot 10^4; 7,5 \cdot 10^4; 8 \cdot 10^4; 9 \cdot 10^4; 10^5 \text{ GHz} \cdot \mu\text{m}^2$ .

Der Resonator kann in einem Serienzweig angeordnet, d. h. in einer ein Eingangstor und ein Ausgangstor verbindenden Signalleitung in Serie geschaltet sein. Der Resonator kann aber auch in einem Querszweig z. B. zwischen einer Signalleitung und Masse oder zwischen zwei Signalleitungen angeordnet sein.

Der Resonator oder mehrere solche Resonatoren mit einer verbesserten Linearität der Übertragungscharakteristik werden vorzugsweise in einem Filter oder einem Duplexer eingesetzt. Das Filter oder der Duplexer kann in einer Variante ein unbalanced Eingangstor und ein unbalanced Ausgangstor aufweisen. Das Filter oder der Duplexer kann in einer weiteren Variante ein unbalanced Eingangstor und ein balanced Ausgangstor aufweisen. Das Filter oder der Duplexer kann in einer Variante

ein balanced Eingangstor und ein balanced Ausgangstor aufweisen. Ein Eingangstor kann gegen ein Ausgangstor vertauscht werden, und umgekehrt.

Die Resonatoren können in einer Ladder-Type- oder einer Lattice-Type-Anordnung verschaltet sein.

Die Resonatoren eines Filters können eine Resonatoranordnung bilden und dabei in einer Variante zumindest teilweise akustisch miteinander gekoppelt sein. Vorzugsweise sind die BAW-Resonatoren, die jeweils eine für die Linearität der Übertragungscharakteristik der Resonatoranordnung ausreichende Resonatorgrundfläche aufweisen, in einem Resonatorstapel übereinander angeordnet. Solche Resonatoren können eine gemeinsame Elektrode aufweisen oder mittels einer zwischen den Resonatoren angeordneten, akustisch teils durchlässigen Koppelschicht oder Koppelschichtsystems gekoppelt sein.

Möglich ist es auch, dass der angegebene Resonator akustisch miteinander gekoppelte, vorzugsweise in einer akustischen Spur zwischen zwei Reflektoren angeordnete Wandler für SAW aufweist. In Betracht kommt ein DMS-Resonatorfilter mit einer DMS-Spur oder ein Mehrtor-Resonator. Der Resonator kann aber auch ein Eintor-Resonator sein, der eine vorzugsweise durch akustische Reflektoren begrenzte akustische Spur mit einem zwischen den Reflektoren angeordneten Wandler aufweist.

Ferner wird ein Verfahren zur Bewertung linearer Eigenschaften eines Resonators angegeben. Dieses Verfahren umfasst die folgenden Schritte:

A) Bestimmen von Übertragungskennlinien eines Resonators mit einer gegebenen Resonatorgrundfläche, wobei Ausgangssignalleistung gegen Eingangssignalleistung für die Grundwelle und

eine im Resonator generierte Spektralkomponente n-ter Ordnung ermittelt wird, wobei n eine ganze Zahl von mindestens zwei und die Spektralkomponente n-ter Ordnung aus einer Harmonischen n-ter Ordnung und/oder einem Intermodulationsprodukt n-ter Ordnung ausgewählt ist,

B) Ermitteln eines Schnittpunktes von linear extrapolierten linearen Bereichen der beiden Übertragungskennlinien, und Ermitteln einer tatsächlichen kritischen Eingangssignalleistung des Resonators aus diesem Schnittpunkt.

Im Verfahren zur Bewertung linearer Eigenschaften des Resonators kann anstelle der Resonatorgrundfläche die Schichtdicke der piezoelektrischen Schicht des Resonators überprüft werden.

Schritt C) umfasst den Vergleich der tatsächlichen kritischen Eingangssignalleistung mit einem vorgegebenen Zielpegel (Mindestlpegel). Im Schritt C) wird geprüft, ob der Zielpegel der Eingangssignalleistung erreicht wurde bzw. um welchen Betrag die Eingangssignalleistung vom Zielpegel abweicht. Die weitere Vorgehensweise hängt vom Ergebnis ab.

Bei Abweichung der tatsächlichen kritischen Eingangssignalleistung vom vorgegebenen Zielpegel wird die Resonatorgrundfläche variiert, d. h. beim Unterschreiten des Zielpegels vergrößert bzw. beim Überschreiten dieses Pegels verkleinert. Die Schritte A) bis C) werden dann für den Resonator mit dem derart angepassten Wert der Resonatorgrundfläche wiederholt. Bei Bedarf wird eine Reihe von gleichartigen Resonatoren mit voneinander unterschiedlichen Werten der Resonatorgrundfläche wie oben angegeben untersucht, wobei Werte der tatsächlichen kritischen Eingangssignalleistung für eine

Reihe von Resonatorgrundflächen ermittelt und vorzugsweise in einem Diagramm Leistung gegen Fläche aufgetragen werden.

Aus dieser Messreihe kann der Mindestwert für die Resonatorgrundfläche ermittelt werden, bei dem die tatsächliche kritische Eingangssignalleistung des Resonators den vorgegebenen Zielpegel erreicht.

Falls die kritische Eingangssignalleistung einen vorgegebenen Wert nicht unterschreitet, ist die Resonatorgrundfläche im Prinzip ausreichend. Aber insbesondere falls die kritische Eingangssignalleistung den vorgegebenen Zielpegel deutlich überschreitet, kann zur Ermittlung des Mindestwertes für die Resonatorgrundfläche diese verringert und die Schritte A) bis C) für jeden Wert der Resonatorgrundfläche so oft wiederholt werden, bis die tatsächliche kritische Eingangssignalleistung des Resonators zumindest diesen Zielpegel erreicht oder diesen unterschreitet.

Umgekehrt, falls die kritische Eingangssignalleistung den vorgegebenen Zielpegel unterschreitet, wird die Resonatorgrundfläche z. B. iterativ erhöht, und die Schritte A) bis C) werden bei jeder Iteration, also für jeden Wert der Resonatorgrundfläche so oft wiederholt, bis die tatsächliche kritische Eingangssignalleistung des Resonators zumindest diesen Zielpegel erreicht.

Anstelle der tatsächlichen kritischen Eingangssignalleistung kann in einer weiteren Variante der angegebenen Methode im Schritt B) eine ebenfalls dem Intercept-Punkt entsprechende, tatsächliche kritische Ausgangssignalleistung  $P_{OIPN}$  des Resonators ermittelt und zur Prüfung der Linearität des Resonators mit einem vorgegebenen Zielpegel verglichen werden.

Die Übertragungskennlinien des Resonators werden vorzugsweise in Rahmen einer Simulation bestimmt.

Die Übertragungseigenschaften eines Resonators können in einer Zweitor-Messung bestimmt werden. Bei einem Eintor-Resonator wird auf einen ersten Anschluss des Resonators ein auf Masse bezogenes Eingangssignal angelegt. Am zweiten Anschluss des Resonators kann ein auf Masse bezogenes Ausgangssignal abgelesen werden. Der erste Anschluss und Masse bilden ein erstes elektrisches Tor und der zweite Anschluss und Masse ein zweites elektrisches Tor.

Der Resonator kann mittels einer Ein-Ton-Anregung angeregt werden. Der Resonator kann alternativ mittels einer Zwei-Ton-Anregung als Eingangssignal angeregt werden, wobei vorzugsweise eine Komponente des Eingangssignals der Resonanzfrequenz des Resonators und eine weitere Komponente des Eingangssignals einer beliebigen anderen Frequenz entspricht. Die andere Frequenz kann z. B. ein Vielfaches, insbesondere das Doppelte oder das Dreifache der Resonanzfrequenz betragen.

Ein Triple-Beat-Test zur Anregung des Resonators im angegebenen Verfahren ist auch möglich.

Das angegebene Verfahren kann zur Bestimmung der Mindest-Resonatorgrundfläche bei mindestens einem Resonator eines Filters oder eines Duplexers durchgeführt werden. Das Filter wird z. B. in Transmissionsschaltung gemessen. Das oben angegebene Verfahren wird vorzugsweise zur Auswertung jedes einzelnen Resonators des Filters bzw. Duplexers verwendet.

Als Bezugsfrequenz zur Feststellung des Mindestwerts der Resonatorgrundfläche wird vorzugsweise die (Serien-) Resonanzfrequenz des Resonators, bei einem Filter mit einer Ladder-Type-Anordnung von Resonatoren die Serien-Resonanzfrequenz eines Serienresonators gewählt.

Zur Prüfung linearer Eigenschaften eines Resonators können anstelle von Übertragungskennlinien Kennlinien eines am Resonator reflektierten Signals - der Grundwelle sowie der Harmonischen bzw. Intermodulationssignale - herangezogen werden.

Des weiteren wird ein Verfahren zur Einstellung elektrischer Eigenschaften eines mit akustischen Volumenwellen arbeitenden Resonators angegeben, bei dem bei einer verringerten Schichtdicke piezoelektrischer Schicht seine einem Intercept-Punkt  $IP_n$  n-ter Ordnung entsprechende kritische Eingangsleistung  $P_{IIPn}$  erhöht wird. Dabei werden Materialien von Resonatorelektroden z. B. im Hinblick auf ihre Dichte derart gewählt, dass die vorgegebene Resonanzfrequenz des Resonators erzielt wird.

Der angegebene Resonator und die Methode zur Bestimmung seiner Mindestfläche wird nun anhand von schematischen und nicht maßstabsgetreuen Figuren erläutert. Es zeigen:

Figur 1 einen BAW-Resonator mit einem akustischen Spiegel (SMR-Typ, SMR = Solid Mounted Resonator);

Figur 2 einen BAW-Resonator, der über einer Ausnehmung im Trägersubstrat angeordnet ist (bridge-type bzw. Membrantyp);

Figur 3 Diagramm zur Bestimmung von einem Eingangs-Intercept-Punkt und einem Ausgangs-Intercept-Punkt zweiter

Ordnung;

Figur 4 Übergangskennlinien der Grundwelle und der Harmonischen zweiter und dritter Ordnung für einen Resonator mit einer ersten Resonatorgrundfläche;

Figur 5 Übergangskennlinien der Grundwelle und der Harmonischen zweiter und dritter Ordnung für einen Resonator mit einer vervierfachen Resonatorgrundfläche.

Figur 1 zeigt einen Dünnschichtresonator RE mit einem akustischen Spiegel AS und einem Resonatorbereich, der zwei Elektroden E1, E2 und eine zwischen diesen angeordnete piezoelektrische Schicht PS umfasst. Die piezoelektrische Schicht kann z. B. aus ZnO sein.

Der Resonator RE ist auf einem Trägersubstrat TS angeordnet. Der akustische Spiegel AS ist zwischen dem Trägersubstrat TS und dem Resonatorbereich angeordnet und umfasst abwechselnd übereinander angeordnete Schichten mit hoher und niedriger akustischer Impedanz.

In Figur 2 ist ein brückenartiger Dünnschichtresonator RE - auf Englisch bridge-type/membrane-type BAW resonator - gezeigt. Der Resonator ist hier über einer im Trägersubstrat TS ausgebildeten Ausnehmung AU angeordnet.

Die Elektroden E1, E2 in Fig. 1, 2 bestehen aus einer einzigen leitenden Schicht z. B. aus AlCu. Jede Elektrode kann aber auch aus mehreren Teilschichten, die vorzugsweise eine hohe elektrische und/oder thermische Leitfähigkeit aufweisen, bestehen. Auch die piezoelektrische Schicht PS kann anstatt nur einer Schicht mehrere Teilschichten aufweisen. Die Aus-

gestaltung eines Dünnschichtresonators ist nicht auf die in Figuren 1 und 2 gezeigten Beispiele beschränkt.

Bei der Bestimmung der Übertragungskennlinien eines Resonators wird ein Eingangssignal z. B. an die erste Elektrode E1 des Resonators angelegt und ein Ausgangssignal an der zweiten Elektrode E2 des Resonators gemessen.

In Figur 3 ist ein Diagramm zur Bestimmung eines Intercept-Punktes gezeigt. Entlang der x-Achse wird die am Eingang des Resonators angelegte Eingangssignalleistung  $P_{in}$  und entlang der y-Achse die am Ausgang des Resonators gemessene Ausgangssignalleistung  $P_{out}$  in dBm aufgetragen. Die Übertragungslinie 1 der Grundwelle sowie die Übertragungslinie 2 der im Resonator erzeugten Harmonischen bei der doppelten Frequenz der Grundwelle (d. h. der Harmonischen zweiter Ordnung) weisen bei niedrigen Eingangssignalpegeln jeweils einen linearen Abschnitt auf. Die Frequenz der Grundwelle entspricht der Resonanzfrequenz des Resonators.

Mit gestrichelten Linien 10, 20 ist angedeutet, dass lineare Abschnitte der Kurven 1, 2 zumindest bis zu ihrem Schnittpunkt  $IP_2$  linear verlängert werden. Aus dem Schnittpunkt  $IP_2$  dieser Kurven wird ein Eingangs-Intercept-Punkt  $P_{IIP_2}$  zweiter Ordnung und/oder ein Ausgangs-Intercept-Punkt  $P_{OIP_2}$  zweiter Ordnung als Abszisse bzw. Ordinate des Schnittpunktes  $IP_2$  bestimmt.

Anstelle der Übertragungskennlinie der im Resonator generierten zweiten Harmonischen kann ein Intermodulationsprodukt n-ter Ordnung oder eine beliebige weitere Harmonische n-ter Ordnung, insbesondere die dritte Harmonische zur Bestimmung

eines Intercept-Punktes  $IP_n$  n-ter Ordnung herangezogen werden.

Aufgrund der Lage eines Intercept-Punktes werden lineare Eigenschaften des Resonators, d. h. sein (linearer) dynamischer Bereich, insbesondere die maximale Eingangssignalleistung, bei der der Pegelabstand zwischen einem Nutzsignal und einem Störsignal für die Linearität der Übertragungscharakteristik des Resonators noch ausreichend ist, geprüft.

Das Verfahren zur Bestimmung des Mindestwertes der Resonatorgrundfläche ist im Prinzip für beliebige Intercept-Punkte das gleiche. Der tatsächliche Intercept-Punkt n-ter Ordnung wird mit einem vorgegebenen Signalpegel verglichen und aufgrund der Ergebnisse die Resonatorgrundfläche in Bezug auf diesen Signalpegel optimiert. Jedem Intercept-Punkt entspricht vorzugsweise ein eigener optimaler Signalpegel.

In der Figur 4 sind Kennlinien 1, 2, 3 für einen Resonator mit einer Resonatorgrundfläche von  $100 \times 100 \mu\text{m}^2$  und in Figur 5 Kennlinien 1, 2, 3 für einen Resonator mit einer Resonatorgrundfläche von  $200 \times 200 \mu\text{m}^2$  gezeigt. Diese Kennlinien wurden für den jeweiligen Resonator in einem Einton-Test numerisch berechnet. Die Kurven 1 und 2 wurden bei der Beschreibung zur Figur 3 bereits erläutert. Mit dem Bezugszeichen 3 ist die Übertragungskennlinie für die im Resonator generierte Harmonische dritter Ordnung - bei der dreifachen Resonanzfrequenz des Resonators - bezeichnet.  $IP_3$  ist der Intercept-Punkt dritter Ordnung, d. h. der Schnittpunkt der Kennlinie 1 der Grundwelle und der Kennlinie 3 der Harmonischen dritter Ordnung.  $P_{IIP3}$  ist der Eingangs-Intercept-Punkt dritter Ordnung.  $P_{IIP2}$  und  $P_{IIP3}$  werden auch als kritische Eingangssignalleistung zweiter bzw. dritter Ordnung bezeichnet.

Für den Resonator mit der kleineren Resonatorgrundfläche kann aus dem Diagramm gemäß Figur 4  $P_{IIP2} = 74$  dBm und  $P_{IIP3} = 43$  dBm abgelesen werden. Für den Resonator mit der größeren Resonatorgrundfläche können aus dem Diagramm gemäß Figur 5 die Werte  $P_{IIP2} = 85$  dBm und  $P_{IIP3} = 54$  dBm abgelesen werden.

Anhand der Figuren 4, 5 erkennt man, dass eine hier vierfache Vergrößerung der Resonanzfläche zu einer signifikanten Erhöhung der Werte der kritischen Eingangssignalleistung  $P_{IIP2}$  und  $P_{IIP3}$  und somit zur Erweiterung eines linearen dynamischen Bereichs des Resonators zu höheren Eingangssignalpegeln führt. Dies wurde sowohl in einem Simulationsergebnis als auch bei einer Messung nachgewiesen.

Das angegebene Verfahren ist auf numerische Simulationen nicht beschränkt. Prinzipiell ist es möglich, mehrere z. B. für dieselbe Resonanzfrequenz ausgelegte, vorzugsweise auf demselben Trägersubstrat angeordnete Resonatoren mit unterschiedlichen Resonatorgrundflächen zu erzeugen und diese Resonatoren jeweils zu vermessen.

Außerdem ist vorgesehen, dass Resonatoren, die gleiche Resonatorgrundflächen, aber voneinander unterschiedliche Schichtenfolgen aufweisen, mit dem angegebenen Verfahren jeweils untersucht werden, um eine in Bezug auf die lineare Übertragungseigenschaften optimale Schichtenfolge festzustellen.

Neben der Resonatorfläche kann auch die Schichtdicke der piezoelektrischen Schicht im angegebenen Verfahren zur Einstellung von elektrischen Resonator-Eigenschaften herangezogen werden. Diese Schichtdicke bestimmt die Resonanzfrequenz eines BAW-Resonators. Durch eine Materialauswahl von Elektro-

- 17 -

denmaterialien kann die Dicke der piezoelektrischen Schicht bei gleich bleibender Resonanzfrequenz verändert werden, da verschiedene Elektrodenmaterialien voneinander unterschiedliche Dichten aufweisen. Die Elektrodenmaterialien können z. B. aus Al, AlCu, AlCuTi, Mo, Ti-W, W, Ru, Pt, Pd, Ta, Nb, Cr, V, Zr, Hf, Mn, Re, Au, Ag oder deren Kombination gewählt werden.

## Bezugszeichenliste

- 1 Übertragungskennlinie für die Signalkomponente bei der Resonanzfrequenz des Resonators
- 2 Übertragungskennlinie für die Signalkomponente bei der doppelten Resonanzfrequenz
- 3 Übertragungskennlinie für die Signalkomponente bei der dreifachen Resonanzfrequenz
- 10 lineare Verlängerung des linearen Abschnitts der Kurve 1
- 20 lineare Verlängerung des linearen Abschnitts der Kurve 2
- AS akustischer Spiegel
- E1, E2 Elektroden
- IP2 Intercept-Punkt zweiter Ordnung
- IP3 Intercept-Punkt dritter Ordnung
- P<sub>IIP2</sub> Eingangs-Intercept-Punkt zweiter Ordnung
- P<sub>IIP3</sub> Eingangs-Intercept-Punkt dritter Ordnung
- P<sub>IIP2</sub> Ausgangs-Intercept-Punkt zweiter Ordnung
- P<sub>in</sub> Eingangssignalleistung
- P<sub>out</sub> Ausgangssignalleistung
- PS piezoelektrische Schicht
- RE Resonator
- TS Trägersubstrat

## Patentansprüche

1. Elektroakustischer Resonator mit einer Resonatorgrundfläche,

wobei die Resonatorgrundfläche so eingestellt ist, dass die kritische Eingangssignalleistung  $P_{IIPn}$  am Intercept-Punkt  $IP_n$  n-ter Ordnung mindestens 80dBm für  $n=2$  und/oder 50 dBm für  $n=3$  beträgt.

2. Resonator nach Anspruch 1,

- wobei beim Anlegen eines Eingangssignals am Eingangstor des Resonators am Ausgangstor dieses Resonators ein Ausgangssignal erzeugt wird, das eine Grundkomponente bei der Resonanzfrequenz  $f_r$  des Resonators und eine durch den Resonator erzeugte Spektralkomponente n-ter Ordnung bei einer von  $f_r$  abweichenden Frequenz umfasst,

- wobei die Spektralkomponente n-ter Ordnung eine Harmonische n-ter Ordnung oder ein Intermodulationsprodukt n-ter Ordnung ist,

- wobei der Resonator eine Übertragungskennlinie (1) aufweist, welche die Ausgangssignalleistung  $P_{out}$  der Grundkomponente als Funktion der Eingangssignalleistung  $P_{in}$  charakterisiert,

- wobei der Resonator eine weitere Übertragungskennlinie (2) aufweist, welche die Ausgangssignalleistung  $P_{out}$  der Spektralkomponente n-ter Ordnung als Funktion der Eingangssignalleistung  $P_{in}$  charakterisiert,

- wobei verlängerte, linear extrapolierte, lineare Abschnitte der Übertragungskennlinien (1, 2) sich in einem Intercept-Punkt  $IP_n$  n-ter Ordnung bei einer kritischen Eingangssignalleistung  $P_{IIPn}$  schneiden.

3. Resonator nach Anspruch 1 oder 2,

bei dem die kritische Eingangssignalleistung  $P_{IIPn}$  mindestens 90 dBm für  $n = 2$  und/oder mindestens 60 dBm für  $n = 3$  beträgt.

4. Resonator nach Anspruch 1 oder 2,  
wobei die kritische Eingangssignalleistung  $P_{IIPn}$  mindestens 100 dBm für  $n = 2$  und/oder mindestens 65 dBm für  $n = 3$  beträgt.

5. Elektroakustischer Resonator  
- mit einem Resonatorbereich, in dem eine akustische Welle ausbreitungsfähig ist,  
- mit einer Resonatorgrundfläche, die so gewählt ist, dass bei Anlegen einer Eingangssignalleistung von 0 dBm bei der Resonanzfrequenz  $f_r$  die Leistungsdichte im Resonatorbereich einen Wert von 40 dBm/m<sup>2</sup> nicht überschreitet.

6. Resonator nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
wobei bei Anlegen einer Eingangssignalleistung von 0 dBm bei der Resonanzfrequenz  $f_r$  die Leistungsdichte im Resonatorbereich einen Wert von 55 dBm/m<sup>2</sup> nicht überschreitet.

7. Resonator nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
wobei bei Anlegen einer Eingangssignalleistung von 0 dBm bei der Resonanzfrequenz  $f_r$  die Leistungsdichte im Resonatorbereich einen Wert von 70 dBm/m<sup>2</sup> nicht überschreitet.

8. Resonator nach einem der Ansprüche 1 bis 7,  
der als ein mit Volumenwellen arbeitender Dünnschichtresonator ausgebildet ist.

9. Resonator nach Anspruch 8,  
mit einem aktiven Resonatorbereich, der über einem akustischen Spiegel angeordnet ist und der eine zwischen zwei Elektroden angeordnete piezoelektrische Schicht umfasst.
10. Resonator nach Anspruch 8,  
der einen aktiven Resonatorbereich aufweist, der eine zwischen zwei Elektroden angeordnete piezoelektrische Schicht umfasst,  
wobei der Resonatorbereich über einer in einem Trägersubstrat vorgesehenen Ausnehmung angeordnet ist.
11. Resonator nach einem der Ansprüche 1 bis 7,  
der als ein mit Oberflächenwellen arbeitender Resonator ausgebildet ist.
12. Resonator nach einem der Ansprüche 1 bis 7,  
der mit geführten Volumenwellen arbeitet.
13. Resonator nach einem der Ansprüche 1 bis 12,  
wobei die Resonatorgrundfläche mindestens  $K/f$  beträgt, wobei  $K = 3,5 \cdot 10^4 \text{ GHz} \cdot \mu\text{m}^2$  und  $f$  die in GHz angegebene Resonanzfrequenz des Resonators ist.
14. Resonator nach einem der Ansprüche 1 bis 12,  
wobei die Resonatorgrundfläche mindestens  $K/f$  beträgt, wobei  $K = 6 \cdot 10^4 \text{ GHz} \cdot \mu\text{m}^2$  und  $f$  die in GHz angegebene Resonanzfrequenz des Resonators ist.
15. Resonator nach einem der Ansprüche 1 bis 12,  
wobei die Resonatorgrundfläche mindestens  $K/f$  beträgt, wobei  $K = 10^5 \text{ GHz} \cdot \mu\text{m}^2$  und  $f$  die in GHz angegebene Resonanzfrequenz des Resonators ist.

16. Resonator nach einem der Ansprüche 13 bis 15,  
der in einem Serienzweig angeordnet ist.

17. Resonator nach einem der Ansprüche 13 bis 15,  
der in einem Quersweig angeordnet ist.

18. Filter mit einem oder mehreren Resonatoren nach einem der  
Ansprüche 1 bis 17.

19. Filter nach Anspruch 18,  
wobei die Resonatoren in einer Ladder-Type- oder Lattice-  
Type-Anordnung verschaltet sind.

20. Filter nach Anspruch 18 oder 19,  
wobei die Resonatoren zumindest teilweise akustisch miteinander  
gekoppelt sind.

21. Duplexer,  
- umfassend ein Empfangsfilter und ein Sendefilter,  
- wobei mindestens eines der Filter als Filter nach einem der  
Ansprüche 17 bis 19 ausgebildet ist.

22. Verfahren zur Bestimmung der Mindest-Resonatorgrundfläche  
eines elektroakustischen Resonators, mit den Schritten:

A) Ermitteln von Übertragungskennlinien eines Resonators mit  
einer gegebenen Resonatorgrundfläche für die Grundwelle und  
eine im Resonator generierte Spektralkomponente n-ter Ord-  
nung, wobei n eine ganze Zahl von mindestens zwei und die  
Spektralkomponente n-ter Ordnung aus einer Harmonischen n-ter  
Ordnung und/oder einem Intermodulationsprodukt n-ter Ordnung  
ausgewählt ist, wobei jeweils die Ausgangssignalleistung in  
Abhängigkeit von der Eingangssignalleistung  $P_{\text{IN}}$  ermittelt

wird,

B) Ermitteln eines Schnittpunktes von linear extrapolierten linearen Bereichen der beiden Übertragungskennlinien, und Ermitteln einer tatsächlichen kritischen Eingangssignalleistung des Resonators aus diesem Schnittpunkt.

23. Verfahren nach Anspruch 22,

- wobei die tatsächliche kritische Eingangssignalleistung mit einem vorgegebenen Zielpegel für die kritische Eingangssignalleistung verglichen wird,
- wobei die Resonatorgrundfläche bei Abweichung der tatsächlichen kritischen Eingangssignalleistung vom vorgegebenen Zielpegel variiert wird und Werte der tatsächlichen kritischen Eingangssignalleistung für eine Reihe von Resonatorgrundflächen ermittelt werden,
- wobei aus der Messreihe kritische Eingangssignalleistung gegen Resonatorgrundfläche der Mindestwert für die Resonatorgrundfläche ermittelt wird, bei dem die tatsächliche kritische Eingangssignalleistung des Resonators den vorgegebenen Zielpegel erreicht.

24. Verfahren nach Anspruch 23,

- wobei, falls die kritische Eingangssignalleistung den vorgegebenen Zielpegel unterschreitet, die Resonatorgrundfläche erhöht wird und die Schritte A) und B) für jeden Wert der Resonatorgrundfläche so oft wiederholt werden, bis die tatsächliche kritische Eingangssignalleistung des Resonators zumindest diesen Zielpegel erreicht.

25. Verfahren nach Anspruch 22 oder 23,

- wobei, falls die tatsächliche kritische Eingangssignalleistung einen vorgegebenen Wert nicht unterschreitet, die Resonatorgrundfläche als ausreichend eingestuft wird.

26. Verfahren zur Bestimmung der Mindestfläche eines elektroakustischen Resonators, mit den Schritten:

- A) Ermitteln von Übertragungskennlinien eines Resonators mit einer gegebenen Resonatorgrundfläche für die Grundwelle und eine im Resonator generierte Spektralkomponente n-ter Ordnung, wobei n eine ganze Zahl von mindestens zwei und die Spektralkomponente n-ter Ordnung aus einer Harmonischen n-ter Ordnung und/oder einem Intermodulationsprodukt n-ter Ordnung ausgewählt ist, wobei Ausgangssignalleistung in Abhängigkeit von der Eingangssignalleistung ermittelt wird,
- B) Ermitteln eines Schnittpunktes von linear extrapolierten linearen Bereichen der beiden Übertragungskennlinien, und Ermitteln einer diesem Schnittpunkt entsprechenden, tatsächlichen kritischen Ausgangssignalleistung  $P_{OIPn}$  des Resonators.

27. Verfahren nach Anspruch 26,

- wobei die tatsächliche kritische Ausgangssignalleistung mit einem vorgegebenen Zielpegel für die kritische Ausgangssignalleistung verglichen wird,
- wobei die Resonatorgrundfläche bei Abweichung der tatsächlichen kritischen Ausgangssignalleistung vom vorgegebenen Zielpegel variiert wird und Werte der tatsächlichen kritischen Ausgangssignalleistung für eine Reihe von Resonatorgrundflächen ermittelt werden,
- wobei aus der Messreihe kritische Ausgangssignalleistung gegen Resonatorgrundfläche der Mindestwert für die Resonatorgrundfläche ermittelt wird, bei dem die tatsächliche kritische Ausgangssignalleistung des Resonators den vorgegebenen Zielpegel erreicht.

28. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 27,

das zur Bestimmung der Mindest-Resonatorgrundfläche bei min-

destens einem Resonator eines Filters durchgeführt wird.

29. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 27,  
das zur Bestimmung der Mindest-Resonatorgrundfläche bei mindestens einem Resonator eines Duplexers durchgeführt wird.

30. Verfahren zum Überprüfen der Schichtdicke einer piezoelektrischen Schicht eines mit akustischen Volumenwellen arbeitenden Resonators, mit den Schritten:

- A) Ermitteln von Übertragungskennlinien eines Resonators mit einer gegebenen Schichtdicke der piezoelektrischen Schicht für die Grundwelle und eine im Resonator generierte Spektralkomponente n-ter Ordnung, wobei n eine ganze Zahl von mindestens zwei und die Spektralkomponente n-ter Ordnung aus einer Harmonischen n-ter Ordnung und einem Intermodulationsprodukt n-ter Ordnung ausgewählt ist, wobei jeweils die Ausgangssignalleistung gegen die Eingangssignalleistung ermittelt wird,
- B) Ermitteln eines Schnittpunktes von linear extrapolierten linearen Bereichen der beiden Übertragungskennlinien, und Ermitteln einer diesem Schnittpunkt entsprechenden, tatsächlichen kritischen Eingangssignalleistung  $P_{IIPn}$  des Resonators.

31. Verfahren nach Anspruch 30,

- wobei die tatsächliche kritische Eingangssignalleistung mit einem vorgegebenen Zielpegel für die kritische Eingangssignalleistung verglichen wird,
- wobei die Schichtdicke der piezoelektrischen Schicht bei Abweichung der tatsächlichen kritischen Eingangssignalleistung vom vorgegebenen Zielpegel variiert wird und Werte der tatsächlichen kritischen Eingangssignalleistung für eine Reihe von Schichtdicken ermittelt werden,
- wobei aus der Messreihe kritische Eingangssignalleistung gegen Schichtdicke der piezoelektrischen Schicht der Mindest-

- 26 -

wert für die Schichtdicke der piezoelektrischen Schicht ermittelt wird, bei dem die tatsächliche kritische Eingangssignalleistung des Resonators den vorgegebenen Zielpiegel erreicht.

32. Verfahren nach Anspruch 31,

- wobei, falls die kritische Eingangssignalleistung den vorgegebenen Zielpiegel unterschreitet, die Schichtdicke der piezoelektrischen Schicht erhöht wird und die Schritte A) und B) für jeden Wert der Schichtdicke der piezoelektrischen Schicht so oft wiederholt werden, bis die tatsächliche kritische Eingangssignalleistung des Resonators zumindest diesen Zielpiegel erreicht, wobei, falls die tatsächliche kritische Eingangssignalleistung einen vorgegebenen Wert nicht unterschreitet, die Schichtdicke der piezoelektrischen Schicht als ausreichend eingestuft wird.

33. Verfahren nach Anspruch 31 oder 32,

wobei die Auswirkung der Änderung der Schichtdicke der piezoelektrischen Schicht auf die Resonanzfrequenz des Resonators durch eine Auswahl von Elektrodenmaterialien mit einer geeigneten Dichte kompensiert wird.

34. Verfahren nach Anspruch 33,

wobei die Elektrodenmaterialien aus Al, AlCu, AlCuTi, Mo, Ti-W, W, Ru, Pt, Pd, Ta, Nb, Cr, V, Zr, Hf, Mn, Re, Au, Ag oder deren Kombination gewählt werden.

35. Verfahren zur Einstellung elektrischer Eigenschaften eines mit akustischen Volumenwellen arbeitenden Resonators, bei dem die Schichtdicke der piezoelektrischen Schicht des Resonators verringert wird, wobei bei mindestens einer Elektrode des Resonators das Material mit einer solchen Dichte

verwendet wird, dass die einem Intercept-Punkt  $IP_n$  n-ter Ordnung entsprechende kritische Eingangsleistung  $P_{IIPn}$  des Resonators erhöht wird.

36. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 35, wobei die Übertragungskennlinien des Resonators in Rahmen einer Simulation bestimmt werden.

37. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 36, wobei der Resonator mittels einer Ein-Ton-Anregung als Eingangssignal angeregt wird.

38. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 35, wobei der Resonator mittels einer Zwei-Ton-Anregung als Eingangssignal angeregt wird.

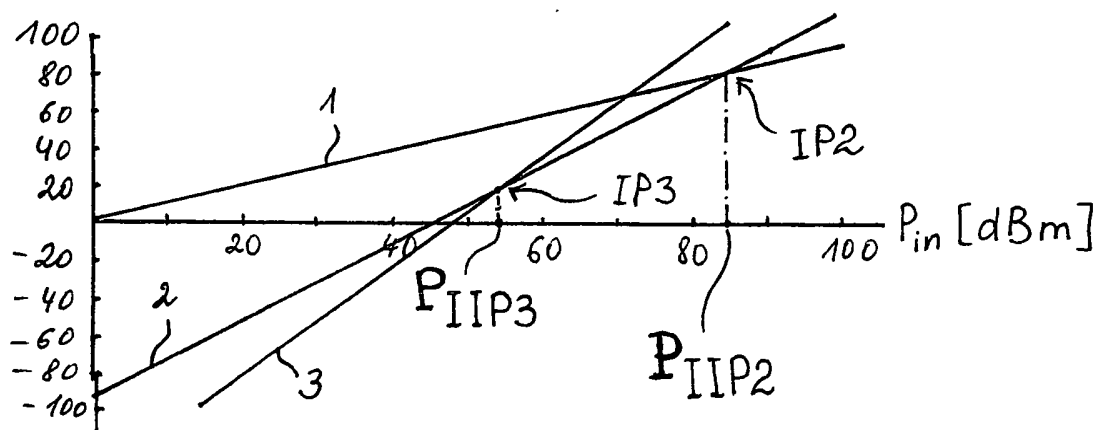
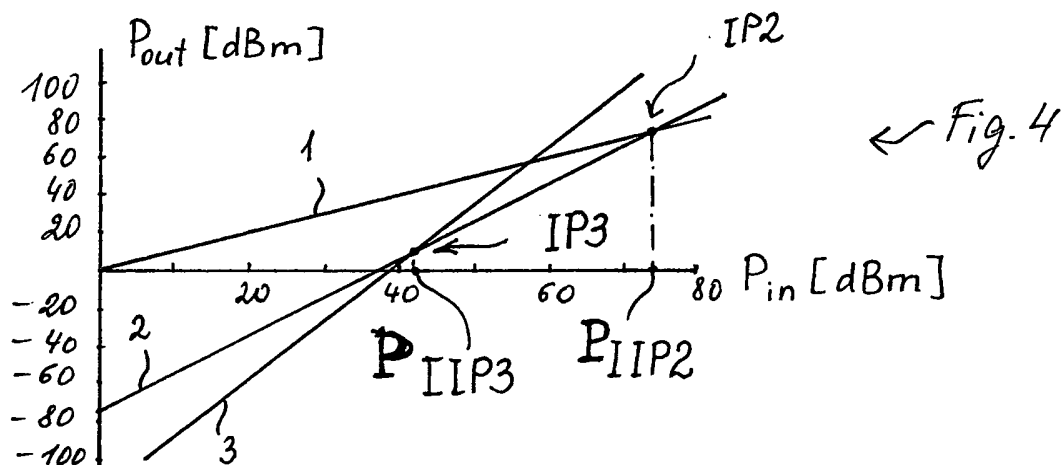
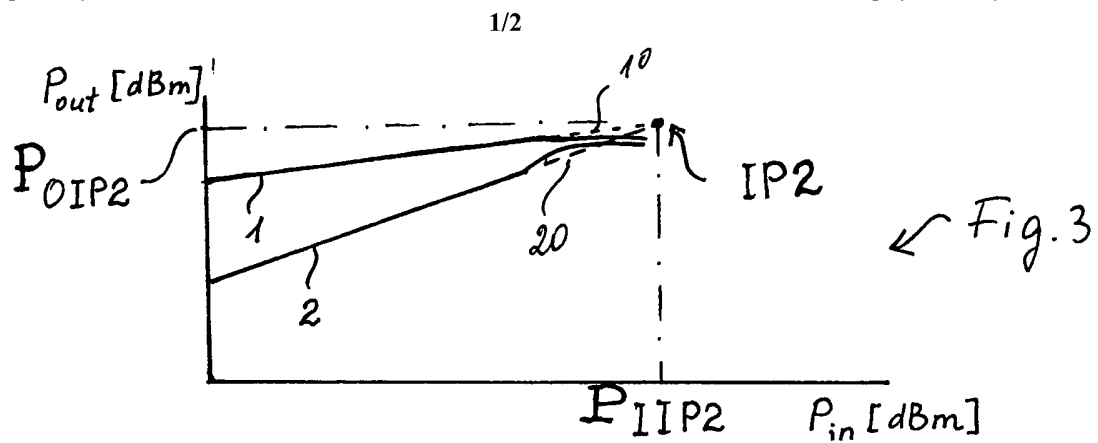


Fig. 5

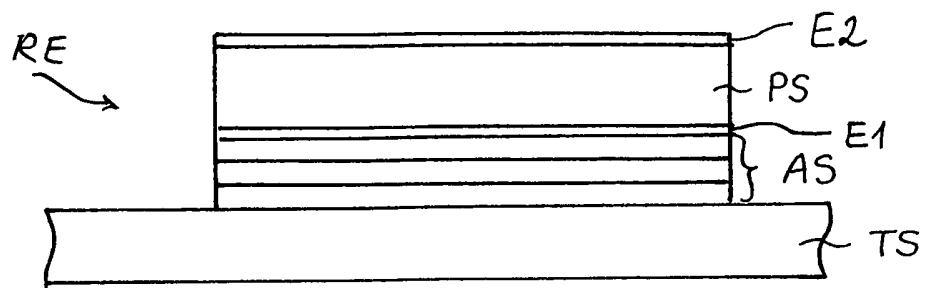


Fig. 1

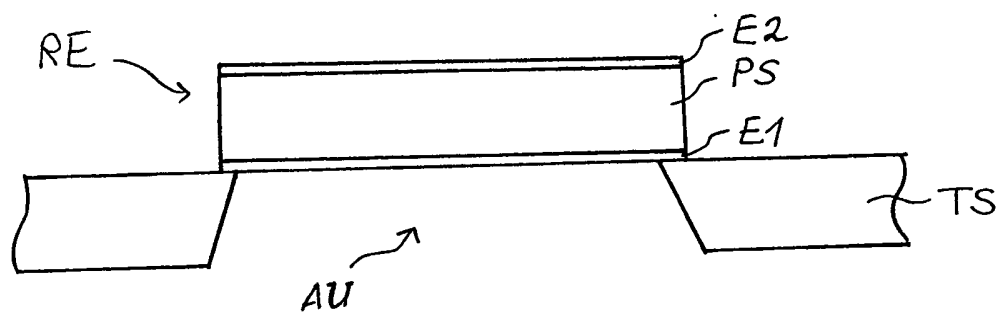


Fig. 2

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2006/005192

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. H03H3/04 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)  
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, WPI Data, PAJ, 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         | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN<br>vol. 008, no. 281 (E-286),<br>21 December 1984 (1984-12-21)<br>& JP 59 148421 A (MURATA SEISAKUSHO:KK),<br>25 August 1984 (1984-08-25)                                                                                                                                                                                        | 1-21                  |
| A         | abstract                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 22-38                 |
| A         | TAY K-W ET AL: "PERFORMANCE<br>CHARACTERIZATION OF THIN ALN FILMS<br>DEPOSITED ON MO ELECTRODE FOR THIN-FILM<br>BULK ACOUSTIC-WAVE RESONATORS"<br>JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, JAPAN<br>SOCIETY OF APPLIED PHYSICS, TOKYO, JP,<br>vol. 43, no. 8A, August 2004 (2004-08),<br>pages 5510-5515, XP001229952<br>ISSN: 0021-4922<br>the whole document | 1-38                  |

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

### \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 August 2006

Date of mailing of the international search report

05/09/2006

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

Lecoutre, R

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

### Information on patent family members

International application No

PCT/EP2006/005192

| Patent document<br>cited in search report | Publication<br>date | Patent family<br>member(s) | Publication<br>date |
|-------------------------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|
| JP 59148421                               | A                   | 25-08-1984                 | NONE                |

| <b>A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b><br>INV. H03H3/04 H03H9/17                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                     |
| <b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b><br>Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)<br>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)<br>EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                     |
| <b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                     |
| Kategorie*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile                                                                                                                                                                                                                                                         | Betr. Anspruch Nr.                                  |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN<br>Bd. 008, Nr. 281 (E-286),<br>21. Dezember 1984 (1984-12-21)<br>& JP 59 148421 A (MURATA SEISAKUSHO:KK),<br>25. August 1984 (1984-08-25)                                                                                                                                                                                       | 1-21                                                |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Zusammenfassung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 22-38                                               |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | TAY K-W ET AL: "PERFORMANCE<br>CHARACTERIZATION OF THIN ALN FILMS<br>DEPOSITED ON MO ELECTRODE FOR THIN-FILM<br>BULK ACOUSTIC-WAVE RESONATORS"<br>JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, JAPAN<br>SOCIETY OF APPLIED PHYSICS, TOKYO, JP,<br>Bd. 43, Nr. 8A, August 2004 (2004-08),<br>Seiten 5510-5515, XP001229952<br>ISSN: 0021-4922<br>das ganze Dokument | 1-38                                                |
| <input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                     |
| * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :<br>*A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist<br>*E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>*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)<br>*O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht<br>*P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist<br>*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<br>*X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden<br>*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<br>*&* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                     |
| Datum des Abschlusses der internationalen Recherche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Absendedatum des internationalen Recherchenberichts |
| 28. August 2006                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 05/09/2006                                          |
| Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde<br>Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,<br>Fax: (+31-70) 340-3016                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Bevollmächtigter Bediensteter<br><br>Lecoutre, R    |

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/005192

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| JP 59148421      A                                 | 25-08-1984                    | KEINE                             |                               |