



(10) **DE 10 2014 105 952 A1** 2015.08.27

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 105 952.2**

(22) Anmeldetag: **28.04.2014**

(43) Offenlegungstag: **27.08.2015**

(51) Int Cl.: **H03H 9/17 (2006.01)**

**H03H 3/04 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:

**14/190,361**                      **26.02.2014**      **US**

(71) Anmelder:

**Avago Technologies General IP (Singapore) Pte.  
Ltd., Singapore, SG**

(74) Vertreter:

**Dilg Haeusler Schindelmann  
Patentanwalts-gesellschaft mbH, 80636 München,  
DE**

(72) Erfinder:

**Feng, Chris, Fort Collins, Col., US; Grannen,  
Kevin J., Thornton, Col., US; Choy, John,  
Westminster, Col., US; Nikkel, Phil, Loveland,  
Col., US; Lamers, Tina L., Fort Collins, Col., US**

<b>US</b>	<b>7 388 454</b>	<b>B2</b>
<b>US</b>	<b>7 629 865</b>	<b>B2</b>
<b>US</b>	<b>7 714 684</b>	<b>B2</b>
<b>US</b>	<b>7 791 434</b>	<b>B2</b>
<b>US</b>	<b>8 188 810</b>	<b>B2</b>
<b>US</b>	<b>8 248 185</b>	<b>B2</b>
<b>US</b>	<b>2007 / 0 205 850</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2010 / 0 327 994</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2011 / 0 180 391</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2012 / 0 177 816</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2012 / 0 326 807</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2013 / 0 176 086</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2014 / 0 118 090</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2014 / 0 132 117</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>5 587 620</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>6 107 721</b>	<b>A</b>
<b>US</b>	<b>5 873 153</b>	<b>A</b>

(56) Ermittelte Stand der Technik:

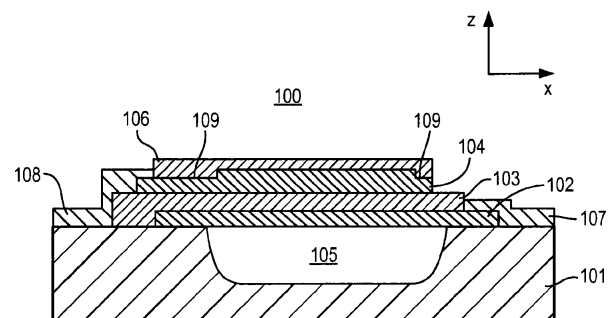
<b>US</b>	<b>6 507 983</b>	<b>B1</b>
<b>US</b>	<b>6 828 713</b>	<b>B2</b>
<b>US</b>	<b>7 280 007</b>	<b>B2</b>
<b>US</b>	<b>7 345 410</b>	<b>B2</b>

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Akustikwellen-Resonatoren mit dotiertem piezoelektrischem Material und Rahmenelementen**

(57) Zusammenfassung: Ein akustischer Oberflächenwellen (BAW)-Resonator umfasst eine erste Elektrode (101), eine zweite Elektrode (104) und eine piezoelektrische Schicht (103), die zwischen der ersten und der zweiten Elektrode (102, 104) angeordnet ist. Die piezoelektrische Schicht (103) enthält ein piezoelektrisches Material, das mit mindestens einem Seltenerd-Element dotiert ist. In einer Ausführungsform umfasst der BAW-Resonator (100) ein zurückgesetztes Rahmenelement (109), das über einer Oberfläche von mindestens einer von der ersten und der zweiten Elektrode (102, 104) angeordnet ist. In einer anderen Ausführungsform umfasst der BAW-Resonator (100) ein erhöhtes Rahmenelement (209), das über einer Oberfläche von zumindest einer von der ersten und der zweiten Elektrode (102, 104) angeordnet ist. In noch anderen Ausführungsformen umfasst der BAW-Resonator (100) sowohl das erhöhte als auch das zurückgesetzte Rahmenelement.



**Beschreibung**

## TECHNISCHER HINTERGRUND

**[0001]** Akustische Resonatoren können verwendet werden, um Signalverarbeitungsfunktionen in verschiedenen elektronischen Anwendungen zu implementieren. Beispielsweise verwenden einige Mobiltelefone und andere Kommunikationseinrichtungen akustische Resonatoren, um Frequenzfilter für übertragene und/oder empfangene Signale zu implementieren. Gemäß verschiedener Anwendungen können einige unterschiedliche Arten von akustischen Resonatoren verwendet werden. Beispiele umfassen folgendes: akustische Oberflächenwellen(BAW, bulk acoustic wave)-Resonatoren, wie etwa akustische Dünnschicht-Volumenresonatoren (FBARs, film bulk acoustic resonators), festmontierte Resonatoren (SMRs, solidly mounted resonators), gekoppelte Resonatorfilter (CRFs, coupled resonator filters), gestapelte akustische Volumenresonatoren (SBARs, stacked bulk acoustic resonators) und akustische Doppelvolumen-Resonatoren (DBARs, double bulk acoustic resonators).

**[0002]** Ein typischer akustischer Resonator umfasst eine Schicht aus piezoelektrischem Material, das zwischen zwei Plattenelektroden eingelegt ist in einem Aufbau, der als ein akustischer Stapel bezeichnet wird. Wenn ein elektrisches Eingangssignal zwischen den Elektroden beaufschlagt wird, bewirkt der reziproke oder inverse piezoelektrische Effekt, dass der akustische Stapel sich mechanisch ausdehnt oder zusammenzieht, abhängig von der Polarisierung des piezoelektrischen Materials. Wenn das elektrische Eingangssignal sich mit der Zeit verändert, erzeugen die Ausdehnung und das Zusammenziehen des akustischen Stapels akustische Wellen, die sich durch den akustischen Resonator in verschiedenen Richtungen ausbreiten und die durch den piezoelektrischen Effekt in ein elektrisches Ausgangssignal umgewandelt werden. Einige der akustischen Wellen erzielen eine Resonanz über dem akustischen Stapel, wobei die Resonanzfrequenz durch Faktoren wie etwa die Materialien, Abmessungen und Betriebsbedingungen des akustischen Stapels bestimmt ist. Diese und andere mechanische Eigenschaften des akustischen Resonators bestimmen seine Frequenzantwort.

**[0003]** Eine Metrik, die verwendet wird, um die Performanz (oder Leistungsfähigkeit) eines akustischen Resonators zu beurteilen, ist sein elektromechanischer Kopplungskoeffizient ( $kt^2$ ), der die Effizienz der Energieübertragung zwischen den Elektroden und dem piezoelektrischen Material angibt. Wenn andere Dinge gleich sind, wird ein akustischer Resonator mit einem höheren  $kt^2$  allgemein so angesehen, dass er eine bessere Performanz aufweist als ein akustischer Resonator mit einem niedrigeren  $kt^2$ . Demge-

mäß ist es allgemein wünschenswert, akustische Resonatoren mit höheren Niveaus von  $kt^2$  in Hochleistungs-Drahtlosanwendungen, wie etwa 4G und LTE-Anwendungen, zu verwenden.

**[0004]** Das  $kt^2$  eines akustischen Resonators wird durch mehrere Faktoren beeinflusst, wie etwa die Abmessungen, die Zusammensetzung und strukturelle Eigenschaften des piezoelektrischen Materials und der Elektroden. Diese Faktoren wiederum werden durch die Materialien und Herstellungsprozesse beeinflusst, die verwendet werden, um den akustischen Resonator herzustellen. Folglich suchen Forscher in einer permanenten Bemühung, akustische Resonatoren mit höheren Niveaus von  $kt^2$  zu erzeugen, verbesserte Ansätze für den Entwurf (oder das Design) und die Herstellung von akustischen Resonatoren.

**[0005]** Ein Verfahren, das beim Verbessern des  $kt^2$  von piezoelektrischen Materialien nützlich ist, ist das Dotieren des piezoelektrischen Materials mit einer ausgewählten Dotiersubstanz, wie etwa einem Seltenerd-Element (oder Lanthanoid). Während das Dotieren des piezoelektrischen Materials eine Verbesserung des  $kt^2$  bereitstellen kann, können in Anwendungen von BAW-Resonatoren andere Parameter verschlechtert sein als im Vergleich zu BAW-Resonatoren, die dotierte piezoelektrische Materialien nicht umfassen.

**[0006]** Was folglich benötigt wird, ist ein BAW-Resonator, der zumindest die Nachteile der bekannten BAW-Resonatoren, die oben beschrieben sind, überwindet.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0007]** Die beispielhaften Ausführungsformen werden am besten aus der nachfolgenden ausführlichen Beschreibung verstanden, wenn diese zusammen mit den beigelegten Zeichnungen gelesen wird. Es wird betont, dass die verschiedenen Merkmale nicht notwendigerweise maßstabsgetreu gezeichnet sind. Tatsächlich können die Abmessungen beliebig vergrößert oder verkleinert werden zur Klarheit der Darstellung. Wo immer dies anwendbar und praktikabel ist, bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche Elemente.

**[0008]** Fig. 1 ist eine Querschnittsansicht eines BAW-Resonators gemäß einer repräsentativen Ausführungsform.

**[0009]** Fig. 2 ist eine Querschnittsansicht eines BAW-Resonators gemäß einer repräsentativen Ausführungsform.

**[0010]** Fig. 3A ist eine Querschnittsansicht eines BAW-Resonators gemäß einer repräsentativen Ausführungsform.

**[0011]** Fig. 3B ist eine Querschnittsansicht eines BAW-Resonators gemäß einer repräsentativen Ausführungsform.

**[0012]** Fig. 4A ist ein Schaubild, das den elektromechanischen Kopplungskoeffizienten ( $kt^2$ ) eines BAW-Resonators, der keine Dotiersubstanzen in einer piezoelektrischen Schicht umfasst, und den  $kt^2$  eines BAW-Resonators, der Dotiersubstanzen in einer piezoelektrischen Schicht umfasst, zeigt.

**[0013]** Fig. 4B ist ein Schaubild, das den Gütefaktor (Q) eines BAW-Resonators, der keine Dotiersubstanzen in einer piezoelektrischen Schicht umfasst, und das Q von einem BAW-Resonator, der Dotiersubstanzen in der piezoelektrischen Schicht umfasst, zeigt.

**[0014]** Fig. 5 ist ein Schaubild, das den Einfluss von einem erhöhten Rahmenelement und von einem zurückgesetzten Rahmenelement auf einem BAW-Resonator, der keine Dotierstoffe in einer piezoelektrischen Schicht umfasst, und einem BAW-Resonator, der Dotiersubstanzen in der piezoelektrischen Schicht umfasst, zeigt.

**[0015]** Fig. 6A ist ein Schaubild, das den Einfluss eines erhöhten Rahmenelements und eines zurückgesetzten Rahmenelements auf die Parallelresonanz-Impedanz ( $R_p$ ) und auf die Reihenresonanz-Impedanz ( $R_s$ ) in einem BAW-Resonator, der Dotiersubstanzen in der piezoelektrischen Schicht umfasst, zeigt.

**[0016]** Fig. 6B ist ein Smith-Diagramm, das den Einfluss eines erhöhten Rahmenelements und eines zurückgesetzten Rahmenelements auf das Q in dem südwestlichen Quadranten ( $Q_{SW}$ ) und auf die unechten Moden in dem südwestlichen Quadranten des Smith-Diagramms in einem BAW-Resonator, der Dotiersubstanzen in der piezoelektrischen Schicht umfasst, zeigt.

**[0017]** Fig. 7 ist ein Schaubild, das den Einfluss eines erhöhten Rahmenelements und eines zurückgesetzten Rahmenelements auf das Q von einem BAW-Resonator, der Dotiersubstanzen in der piezoelektrischen Schicht umfasst, zeigt.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

**[0018]** In der folgenden ausführlichen Beschreibung werden für Zwecke der Erläuterung und nicht der Beschränkung beispielhafte Ausführungsformen dargestellt, die spezifische Einzelheiten offenbaren, um ein gründliches Verständnis der vorliegenden Leh-

ren bereitzustellen. Es wird jedoch für einen Fachmann, der den Vorteil der vorliegenden Offenbarung hat, offensichtlich werden, dass andere Ausführungsformen gemäß der vorliegenden Lehren, die von den hierin offenbarten spezifischen Einzelheiten abweichen, innerhalb des Schutzbereichs der beigefügten Patentansprüche bleiben. Des Weiteren können Beschreibungen von wohl bekannten Vorrichtungen und Verfahren ausgelassen werden, um die Beschreibung der beispielhaften Ausführungsformen nicht zu verschleiern. Derartige Verfahren und Vorrichtungen sind klarerweise innerhalb des Umfangs der vorliegenden Lehren.

**[0019]** Die hierin verwendete Terminologie ist lediglich für Zwecke der Beschreibung von bestimmten Ausführungsformen, und ist nicht dazu gedacht, beschränkend zu sein. Die definierten Ausdrücke sind zusätzlich zu den technischen, wissenschaftlichen oder gewöhnlichen Bedeutungen der definierten Ausdrücke, so wie diese allgemein in dem relevanten Kontext verstanden werden und akzeptiert sind.

**[0020]** Die Ausdrücke „ein“, „eine“ und „der/die/das“ umfassen sowohl einzelne als auch mehrere Bezugnahmen, außer wenn der Zusammenhang (oder Kontext) dies anderweitig vorschreibt. Demgemäß umfasst beispielsweise „eine Vorrichtung“ eine Vorrichtung und mehrere Vorrichtungen. Die Ausdrücke „wesentlich“ oder „im Wesentlichen“ bedeuten, innerhalb akzeptabler Begrenzungen oder bis zu einem akzeptablen Grad zu sein. Der Ausdruck „näherungsweise“ bedeutet, innerhalb einer akzeptablen Begrenzung oder bis zu einem akzeptablen Grad für einen Fachmann zu sein. Relative Ausdrücke, wie etwa „über“, „unter“, „obere“, „untere“, „über“ und „unter“ können verwendet werden, um die Beziehungen der verschiedenen Elemente zueinander zu beschreiben, so wie das durch die beigefügten Zeichnungen veranschaulicht ist. Diese relativen Ausdrücke sind dazu gedacht, unterschiedliche Orientierungen der Vorrichtung und/oder von Elementen zusätzlich zu den in den Zeichnungen gezeigten Orientierungen zu umfassen. Wenn beispielsweise die Vorrichtung in Bezug auf die Ansicht in den Zeichnungen invertiert wäre, würde ein Element, das beispielsweise in Bezug auf ein anderes Element als „über“ beschrieben ist, nun unterhalb dieses Elements sein. Andere relative Ausdrücke können ebenfalls verwendet werden, um die relativen Positionen von bestimmten Merkmalen entlang eines Pfades, wie etwa eines Signalfades, anzugeben. Beispielsweise kann ein zweites Merkmal als auf ein erstes Merkmal entlang eines Signalfades „folgend“ angesehen werden, wenn ein Signal, das auf dem Pfad übertragen wird, das erste Merkmal vor dem zweiten Merkmal erreicht.

**[0021]** Aspekte der vorliegenden Lehren sind für Komponenten von BAW-Resonator-Vorrichtungen und Filtern, ihre Materialien und ihre Verfahren

zur Herstellung relevant. Verschiedene Einzelheiten von derartigen Vorrichtungen und entsprechenden Herstellungsverfahren können beispielsweise in einer oder mehreren der folgenden U.S. Patent-Veröffentlichungen gefunden werden: U.S. Patent Nr. 6,107,721 an Lakin; U.S. Patente Nrn. 5,587, 620, 5,873,153, 6,507,983, 7,388,454, 7,629,865, 7,714,684 an Ruby et al.; U.S. Patente Nrn. 7,791, 434 und 8,188,810 an Fazzio et al.; U.S. Patent Nr. 7,280,007 an Feng et al.; U.S. Patent 8,248,185 an Choy, et al.; U.S. Patent 7,345,410 an Grannen, et al.; U.S. Patent 6,828,713 an Bradley et al.; U.S. Patentanmeldungsveröffentlichung 2012/0326807 an Choy, et al.; U.S. Patentanmeldungsveröffentlichung 2010/0327994 an Choy et al.; U.S. Patentanmeldungsveröffentlichungen 2011/0180391 und 2012/0177816 an Larson III et al.; U.S. Patentanmeldungsveröffentlichung Nr. 2007/0205850 an Jamneala et al.; U.S. Patentanmeldung Nr. 14/161,564 mit dem Titel: „Verfahren zum Herstellen von mit Seltenerd-Elementen dotierten piezoelektrischen Materialien mit unterschiedlichen Mengen von Dotierstoffen und einer ausgewählten C-Achsen-Orientierung“, eingereicht am 22. Januar 2014 an John L. Larson III; U.S. Patentanmeldung Nr.: 13/662,460 mit dem Titel „Akustischer Volumenwellen-Resonator mit piezoelektrischer Schicht mit mehreren Dotierstoffen“, eingereicht am 27. Oktober 2012 an Choy, et al.; und U.S. Patentanmeldung Nr. 13/906,873 mit dem Titel „Akustischer Oberflächen-Wellenresonator mit piezoelektrischer Schicht mit verschiedenen Mengen von Dotierstoffen“ an John Choy et al. und eingereicht am 31. Mai 2013. Die gesamte Offenbarung von jedem dieser Patente, veröffentlichten Patentanmeldungen und Patentanmeldungen, die oben angeführt sind, werden hiermit durch Verweis spezifisch aufgenommen. Es wird betont, dass die Komponenten, Materialien und Verfahren zur Herstellung, die in diesen Patenten und Patentanmeldungen beschrieben sind, repräsentativ sind und dass andere Herstellungsverfahren und Materialien innerhalb des Fachgebiets bzw. Bereichs eines Fachmanns ebenfalls umfasst sind.

**[0022]** Die beschriebenen Ausführungsformen beziehen sich allgemein auf akustische Volumenwellen (BAW, bulk acoustic wave)-Resonatoren. Allgemein umfassen die BAW-Resonatoren eine erste Elektrode, eine zweite Elektrode und eine piezoelektrische Schicht, die zwischen der ersten und der zweiten Elektrode angeordnet ist. Die piezoelektrische Schicht umfasst ein piezoelektrisches Material, das mit mindestens einem Seltenerd-Element (oder Lanthanoid) dotiert ist. In bestimmten Ausführungsformen umfasst die piezoelektrische Schicht Aluminiumnitrid (AlN), das mit Scandium (Sc) dotiert ist. Der Atomprozentsatz von Scandium in einer Aluminiumnitrid-Schicht ist näherungsweise 0,5% bis weniger als näherungsweise 10,0%. Allgemeiner gesprochen ist in bestimmten Ausführungsformen der Atomprozent-

satz von Scandium in einer Aluminiumnitrid-Schicht näherungsweise 0,5% bis näherungsweise 44%. In noch anderen repräsentativen Ausführungsformen ist der Prozentsatz von Scandium in einer Aluminiumnitrid-Schicht näherungsweise 2,0% bis weniger als näherungsweise 5,0%. Wenn hierin Prozentsätze von Dotierelementen in einer piezoelektrischen Schicht besprochen werden, ist dies ein Verweis auf die gesamten Atome der piezoelektrischen Schicht. Insbesondere wenn hierin die Prozentsätze von Dotierelementen (z. B. Sc) in einer dotierten AlN-Schicht besprochen werden, ist dies ein Verweis auf die gesamten Atome (nicht Stickstoff einschließend) der AlN piezoelektrischen Schicht **103**. Somit gilt, wenn beispielsweise und wie das beispielsweise in der U.S. Patentanmeldung Nr. 14/161,564 beschrieben ist, dass wenn Al in der piezoelektrischen Schicht von einer repräsentativen Ausführungsform einen atomaren Prozentsatz von näherungsweise 95,0% aufweist und das Sc einen atomaren Prozentsatz von näherungsweise 5,0% aufweist, dann kann die atomare Zusammensetzung der piezoelektrischen Schicht **104** dargestellt werden als  $Al_{0,95}Sc_{0,05}N$ .

**[0023]** In bestimmten repräsentativen Ausführungsformen umfassen die BAW-Resonatoren der vorliegenden Lehren ein zurückgesetztes (oder vertieftes) Rahmenelement, das über einer Oberfläche von zumindest einem von der ersten und der zweiten Elektrode angeordnet ist. Die Fläche des BAW-Resonators innerhalb des zurückgesetzten Rahmenelements hat eine erste akustische Impedanz, das zurückgesetzte Rahmenelement hat eine zweite akustische Impedanz, und das Gebiet extern von dem (d. h. „außerhalb“ des) zurückgesetzten Rahmenelement(s) hat eine dritte akustische Impedanz.

**[0024]** In anderen repräsentativen Ausführungsformen umfassen die BAW-Resonatoren der vorliegenden Lehren ein erhöhtes Rahmenelement, das über einer Oberfläche von mindestens einer von der ersten und der zweiten Elektrode angeordnet ist. Die Fläche innerhalb des erhöhten Rahmenelements hat eine erste akustische Impedanz, das erhöhte Rahmenelement hat eine vierte akustische Impedanz, und das Gebiet extern zu dem (d. h. „außerhalb“ des) erhöhten Rahmenelement(s) hat eine dritte akustische Impedanz.

**[0025]** In noch anderen repräsentativen Ausführungsformen umfassen die BAW-Resonatoren der vorliegenden Lehren ein zurückgesetztes Rahmenelement, das über einer Oberfläche von zumindest einer der ersten und der zweiten Elektroden angeordnet ist, und ein erhöhtes Rahmenelement, das über einer Oberfläche von mindestens einer der ersten und der zweiten Elektrode angeordnet ist. Die Fläche des BAW-Resonators innerhalb des zurückgesetzten Rahmenelements hat eine erste akustische Impedanz, das zurückgesetzte Rahmenelement hat

eine zweite akustische Impedanz, und das Gebiet extern zu dem (d. h. „außerhalb“ des) zurückgesetzten Rahmenelement(s) hat eine dritte akustische Impedanz. Des Weiteren hat die Fläche innerhalb des erhöhten Rahmenelements die erste akustische Impedanz, das Gebiet extern zu dem erhöhten Rahmenelement hat die dritte akustische Impedanz, und das erhöhte Rahmenelement hat die vierte akustische Impedanz.

**[0026]** Fig. 1 ist eine Querschnittsansicht eines BAW-Resonators **100** gemäß einer repräsentativen Ausführungsform. Der BAW-Resonator **100** umfasst ein Substrat **101**, eine erste Elektrode **102**, die über dem Substrat **101** angeordnet ist, eine piezoelektrische Schicht **103**, die über der ersten Elektrode **101** angeordnet ist, und eine zweite Elektrode **104**, die über der piezoelektrischen Schicht **103** angeordnet ist. Die erste Elektrode **101** ist über einem reflektierenden Element **105** angeordnet, das in der vorliegenden repräsentativen Ausführungsform eine in dem Substrat **101** bereitgestellte Vertiefung ist.

**[0027]** Wie dies in bestimmten Patenten und Patentanmeldungsveröffentlichungen, die oben durch Verweis eingefügt sind, beschrieben ist, umfasst eine Überdeckung (oder Überlappung) des reflektierenden Elements **105**, der ersten Elektrode **102**, der zweiten Elektrode **104** und der piezoelektrischen Schicht **103** eine aktive Fläche des BAW-Resonators **100**. Des Weiteren, wenn das reflektierende Element **105** eine Vertiefung oder ein freies Volumen unterhalb der ersten Elektrode ist, wird der BAW-Resonator **100** häufig als FBAR bezeichnet. Im Gegensatz dazu und wie unten beschrieben, kann das reflektierende Element **105** einen Bragg-Reflektor umfassen, der abwechselnde Schichten von Material mit hoher akustischer Impedanz und Material mit niedriger akustischer Impedanz umfasst. Wenn das reflektierende Element **105** einen Bragg-Reflektor umfasst, wird der BAW-Resonator **100** häufig als ein SMR bezeichnet.

**[0028]** Gemäß repräsentativer Ausführungsformen umfasst die piezoelektrische Schicht **103** ein dotiertes piezoelektrisches Material. Zur Veranschaulichung, das piezoelektrische Material ist mit AlN dotiert, wobei eine Anzahl von Al Atomen innerhalb des AlN-Kristallgitters durch ein ausgewähltes Material, wie etwa ein Seltenerd-Element mit einem vorbestimmten Prozentsatz, ersetzt wird. Das ausgewählte Material, das häufig als ein „Dotierelement“ bezeichnet wird, kann beispielsweise Scandium (Sc) sein. In alternativen Konfigurationen kann eine Anzahl von Al Atomen innerhalb des AlN-Kristallgitters durch mehr als eine Art von Seltenerd-Elementen mit vorbestimmten Prozentsätzen, respektive, ersetzt sein. Weil die Dotierelemente nur Al Atome (z. B. von einem Al-Target) ersetzen, bleibt der Prozentsatz der Stickstoffatome in dem piezoelektrischen Mate-

rial im Wesentlichen der gleiche, unabhängig von dem Grad (der Menge) der Dotierung. Wenn hierin Prozentsätze von Dotierelementen besprochen werden, ist dies mit Verweis auf die gesamten Atome (nicht Stickstoff einschließend) des AlN piezoelektrischen Materials. Die Seltenerd-Elemente umfassen Scandium (Sc), Yttrium (Y), Lanthan (La), Cer (Ce), Praseodym (Pr), Neodym (Nd), Promethium (Pm), Samarium (Sm), Europium (Eu), Gadolinium (Gd), Terbium (Tb), Dysprosium (Dy), Holmium (Ho), Erbium (Er), Thulium (Tm), Ytterbium (Yb) und Lutetium (Lu), wie dies einem Fachmann bekannt ist. Die verschiedenen Ausführungsformen umfassen den Einbau von irgendeinem oder mehreren Seltenerd-Elementen, obwohl hierin spezifische Beispiele besprochen werden.

**[0029]** Verschiedene Ausführungsformen beziehen sich auf das Bereitstellen eines dünnen Films (oder einer dünnen Schicht) von piezoelektrischem Material (piezoelektrische Schicht **103**), wie etwa AlN, mit einem erhöhten piezoelektrischen Koeffizienten  $d_{33}$  und einem erhöhten elektromechanischen Kopplungskoeffizienten  $kt^2$ , durch Einbau von einem oder mehreren Seltenerd-Elementen in das Kristallgitter von einem Teil der piezoelektrischen Schicht. Zur Veranschaulichung kann die piezoelektrische Schicht eine einzelne Schicht sein, die ein im Wesentlichen konstantes Dotierniveau durch die Dicke der piezoelektrischen Schicht **103** aufweist. Alternativ kann die piezoelektrische Schicht eine einzelne Schicht sein, die verschiedene (z. B. abgestufte) Niveaus von Dotierungen durch die Dicke der piezoelektrischen Schicht **103** umfasst. Beispielsweise kann die piezoelektrische Schicht undotiertes AlN-Material an der Unterseite mit einem graduell zunehmenden Atomprozentsatz eines Seltenerd-Elements, das über der Dicke der piezoelektrischen Schicht **103** hinzugefügt wird, umfassen. Noch alternativ dazu kann die piezoelektrische Schicht **103** mehrere Teilschichten (nicht gezeigt) umfassen, wobei mindestens eine Teilschicht aus stöchiometrischem AlN-Material (d. h. eine undotierte AlN-Teilschicht) ausgebildet ist und mindestens eine andere Teilschicht aus AlN-Material, das mit einem Seltenerd-Element dotiert ist (d. h. dotierte AlN-Teilschicht) ausgebildet ist. Durch Einbauen von bestimmten Atomprozentsätzen von mehreren Seltenerd-Elementen werden die piezoelektrischen Eigenschaften des AlN, einschließlich des piezoelektrischen Koeffizienten  $d_{33}$  und des erhöhten elektromechanischen effektiven Kopplungskoeffizienten  $kt^2$  verbessert im Vergleich zu vollständig stöchiometrischem (undotiertem) AlN. Auch stellt das Vorhandensein des undotierten Abschnitts der piezoelektrischen Schicht eine mechanische Stabilität bereit, wobei beispielsweise eine Wölbung (oder Verkrümmung) verhindert wird.

**[0030]** Wie oben erwähnt, kann AlN-Material beispielsweise mit Scandium (Sc) dotiert sein, was ei-

nen AlScN-Stoff mit einem vorbestimmten Atomprozentsatz von Sc erzeugt. Das Sc-Atom hat einen Atomradius, der größer ist als der Atomradius des Al-Atoms, was zu einer Bindungslänge von Sc-N (2,25 Å) führt, die größer ist als die Bindungslänge von Al-N (1,90 Å). Dieser Unterschied in den Bindungslängen bewirkt eine Spannung in dem resultierenden AlScN-Material. Als solche werden elektrische Dipole des piezoelektrischen Materials der piezoelektrischen Schicht **103** in einer solchen Weise abgewechselt, dass das elektrische Feld eine vergleichsweise starke mechanische Antwort der Dipole erzeugt, was zu einem höheren  $kt^2$  führt.

**[0031]** Zur Veranschaulichung ist der Atomprozentsatz von Scandium in einer Aluminiumnitrid-Schicht (d. h. der Atomprozentsatz von Sc in Sc-Al innerhalb des Al-Sc-N-Materials) näherungsweise 0,5% bis weniger als näherungsweise 10,0%. Allgemeiner gesprochen ist in bestimmten Ausführungsformen der Atomprozentsatz von Scandium in einer Aluminiumnitrid-Schicht näherungsweise 0,5% bis näherungsweise 44%. In noch anderen repräsentativen Ausführungsformen ist der Atomprozentsatz von Scandium in einer Aluminiumnitrid-Schicht näherungsweise 2,5% bis weniger als näherungsweise 5,0%.

**[0032]** Der BAW-Resonator **100** umfasst optional eine Passivierungsschicht **106**, die über der zweiten Elektrode **104** angeordnet ist, so wie das in dem oben aufgenommenen U.S. Patent 8,188,810 beschrieben ist. Des Weiteren umfasst der BAW-Resonator **100** einen ersten und einen zweiten elektrischen Kontakt **107**, **108**, die eine elektrische Verbindung mit der ersten und der zweiten Elektrode **102**, **104**, respektive, bereitstellen.

**[0033]** Der BAW-Resonator **100** umfasst ferner ein zurückgesetztes Rahmenelement **109**, das in der zweiten Elektrode **104** bereitgestellt ist. Insbesondere ist die Anordnung des zurückgesetzten Rahmenelements **109** in der zweiten Elektrode **104** lediglich veranschaulichend, und es wird betont, dass das zurückgesetzte Rahmenelement **109** irgendwo auf dem akustischen Stapel, der die erste Elektrode **102**, die piezoelektrische Schicht **103** und die zweite Elektrode **104** umfasst, angeordnet werden kann. Beispielsweise kann das zurückgesetzte Rahmenelement **109** in der ersten Elektrode **102** bereitgestellt sein. Noch allgemeiner ist das zurückgesetzte Rahmenelement **109** über einer Oberfläche von mindestens einer von der ersten und der zweiten Elektrode **102**, **104** angeordnet. Des Weiteren kann das zurückgesetzte Rahmenelement **109** ein „Füllmaterial“ (nicht gezeigt), das darin bereitgestellt ist, umfassen.

**[0034]** Durch Auswählen des Ortes, der Breite, der Tiefe, und wenn dies implementiert ist, der Zusammensetzung des Füllmaterials, kann die Diskontinuität (oder Unstetigkeit) der akustischen Impedanz,

die durch das zurückgesetzte Rahmenelement **109** bereitgestellt wird, ausgewählt werden. Als solche hat die Fläche des BAW-Resonators „innerhalb“ des zurückgesetzten Rahmenelements **109** eine erste akustische Impedanz, das zurückgesetzte Rahmenelement **109** hat eine zweite akustische Impedanz, und das Gebiet extern zu dem (d. h. „außerhalb“ des) zurückgesetzten Rahmenelements) **109** hat eine dritte akustische Impedanz. Wie beispielsweise in den oben aufgenommenen U.S. Patenten 7,280,007, 7,388,454, und 7,714,684 beschrieben, verbessert die durch das zurückgesetzte Rahmenelement **109** bereitgestellte Fehlanpassung (mismatch) der akustischen Impedanz in vorteilhafter Weise die Performanz des BAW-Resonators **100**. Beispielsweise und wie dies unten vollständiger beschrieben wird, verbessert die Aufnahme des zurückgesetzten Rahmenelements **109** in dem BAW-Resonator **100** in vorteilhafter Weise den Gütefaktor (Q) in dem südwestlichen Quadranten eines Smith-Diagramms (was häufig als  $Q_{SW}$  bezeichnet wird) und verringert einen Verlust aufgrund von parasitären unechten Moden am Umkreis der aktiven Fläche des BAW-Resonators **100** im Vergleich zu BAW-Resonatoren, die kein zurückgesetztes Rahmenelement umfassen. Des Weiteren stellt die Aufnahme des zurückgesetzten Rahmenelements **109** einen gewissen Grad an Verbesserung in  $kt^2$  bereit, ebenso wie eine Verringerung in Q in der Nähe der Reihenresonanz ( $Q_S$  nahe  $F_S$ ). Im Gegensatz dazu, während das Dotieren der piezoelektrischen Schicht **103** die Größe  $kt^2$  in vorteilhafter Weise verbessert, geht diese Verbesserung häufig auf Kosten eines anderen Performanz-Parameters (z. B.  $Q_{SW}$ ). Beispielsweise und wie dies unten ausführlicher beschrieben wird, kann das zurückgesetzte Rahmenelement **109** unter anderem Abnahmen von bestimmten Performanz-Parametern des BAW-Resonators **100** kompensieren, die von der Aufnahme von Dotierstoffen in der piezoelektrischen Schicht **103** in dem BAW-Resonator **100** herrühren. Des Weiteren werden der Ort, die Breite, die Tiefe und falls implementiert, die Zusammensetzung des Füllmaterials des zurückgesetzten Rahmenelements **109** maßgeschneidert, um einen gewünschten Grad der Kompensierung von einem oder mehreren der Performanz-Parameter bereitzustellen, die durch das Dotieren der piezoelektrischen Schicht **103** nachteilig beeinflusst werden. Allgemein hat das zurückgesetzte Rahmenelement **109** der repräsentativen Ausführungsformen eine Breite im Bereich von näherungsweise 0,1  $\mu\text{m}$  bis näherungsweise 5,0  $\mu\text{m}$  und eine Tiefe im Bereich von näherungsweise 50 Å bis näherungsweise 500 Å. Des Weiteren und falls implementiert, kann die Zusammensetzung des Füllmaterials für das zurückgesetzte Rahmenelement **109** eines von einem ausgewählten Metall (z. B. Mo, W, Al, Ru) oder eines von ausgewählten dielektrischen Materialien (z. B. AlN, SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) sein.

**[0035]** Fig. 2 ist eine Querschnittsansicht eines BAW-Resonators **200** gemäß einer repräsentativen Ausführungsform. Bestimmte Einzelheiten des BAW-Resonators **200** sind gemeinsam mit denjenigen, die oben in Verbindung mit der Beschreibung eines BAW-Resonators **100** bereitgestellt sind, und werden nicht stets wiederholt, um ein Verschleiern der Beschreibung der aktuell beschriebenen repräsentativen Ausführungsform zu vermeiden.

**[0036]** Der BAW-Resonator **200** umfasst ein Substrat **201**, eine erste Elektrode **202**, die über dem Substrat **201** angeordnet ist, eine piezoelektrische Schicht **203**, die über der ersten Elektrode **202** angeordnet ist, und eine zweite Elektrode **204**, die über der piezoelektrischen Schicht **203** angeordnet ist. Die erste Elektrode **202** ist über einem reflektierenden Element **205** bereitgestellt, das in der vorliegenden repräsentativen Ausführungsform eine in dem Substrat **201** bereitgestellte Vertiefung ist.

**[0037]** Eine Überdeckung (oder Überlappung) des reflektierenden Elements **205**, der ersten Elektrode **202**, der zweiten Elektrode **204** und der piezoelektrischen Schicht **203** umfasst eine aktive Fläche des BAW-Resonators **200**. Des Weiteren, wenn das reflektierende Element **205** eine Vertiefung (oder eine leeres Volumen) unterhalb der ersten Elektrode ist, dann wird der BAW-Resonator **200** häufig als ein FBAR bezeichnet. Im Gegensatz dazu und wie dies unten beschrieben ist, kann das reflektierende Element **205** einen Bragg-Reflektor umfassen, der abwechselnde Schichten von einem Material mit einer hohen akustischen Impedanz und einem Material mit einer niedrigen akustischen Impedanz aufweist.

**[0038]** Gemäß repräsentativer Ausführungsformen umfasst die piezoelektrische Schicht **203** ein dotiertes piezoelektrisches Material. Zur Veranschaulichung, das piezoelektrische Material ist dotiertes AlN, wobei eine Anzahl der Al-Atome innerhalb des AlN-Kristallgitters durch ein ausgewähltes Material, wie etwa ein Seltenerd-Element mit einem vorbestimmten Prozentsatz, ersetzt ist. Das ausgewählte Material, das häufig als ein „Dotierelement“ bezeichnet wird, kann beispielsweise Scandium (Sc) sein. In alternativen Konfigurationen kann eine Anzahl von Al-Atomen innerhalb des AlN-Kristallgitters durch mehr als eine Art eines Seltenerd-Elements mit einem vorbestimmten Prozentsatz, respektive, ersetzt werden. Weil die Dotierelemente nur Al-Atome ersetzen, z. B. von einem Al-Target (oder Al-Ziel), bleibt der Prozentsatz der Stickstoffatome in dem piezoelektrischen Material im Wesentlichen derselbe, unabhängig von dem Grad (oder der Menge) der Dotierung. Wenn hierin Prozentsätze von Dotierelementen besprochen werden, ist dies ein Verweis auf die gesamten Atome (nicht Stickstoff einschließend) des AlN piezoelektrischen Materials. Die Seltenerd-Elemente umfassen Scandium (Sc), Yttrium (Y), Lanthan (La), Cer (Ce),

Praseodym (Pr), Neodym (Nd), Promethium (Pm), Samarium (Sm), Europium (Eu), Gadolinium (Gd), Terbium (Tb), Dysprosium (Dy), Holmium (Ho), Erbium (Er), Thulium (Tm), Ytterbium (Yb) und Lutetium (Lu), so wie das einem Fachmann bekannt ist. Die verschiedenen Ausführungsformen sehen das Aufnehmen von einem oder mehreren Seltenerd-Elementen vor, obwohl bestimmte Beispiele hierin besprochen werden.

**[0039]** Verschiedene Ausführungsformen beziehen sich auf das Bereitstellen eines dünnen Films (oder einer dünnen Schicht) von piezoelektrischen Material (piezoelektrische Schicht **203**), wie etwa AlN, mit einem erhöhten piezoelektrischen Koeffizienten  $d_{33}$  und einem erhöhten elektromechanischen Kopplungskoeffizienten  $kt^2$ , durch Aufnehmen von einem oder mehreren Seltenerd-Elementen in dem Kristallgitter von einem Abschnitt der piezoelektrischen Schicht. Zur Veranschaulichung kann die piezoelektrische Schicht eine einzelne Schicht sein, die ein im Wesentlichen konstantes Dotierniveau über der Dicke der piezoelektrischen Schicht **203** aufweist. Alternativ kann die piezoelektrische Schicht eine einzelne Schicht sein, die verschiedene (z. B. abgestufte) Niveaus von Dotierung durch die Dicke der piezoelektrischen Schicht **203** aufweist. Beispielsweise kann die piezoelektrische Schicht undotiertes AlN-Material an der Unterseite mit einem schrittweise zunehmenden Atomprozentsatz von einem Seltenerd-Element, das über der Dicke der piezoelektrischen Schicht **203** hinzugefügt wird, umfassen. Noch alternativ dazu kann die piezoelektrische Schicht **203** mehrere Teilschichten (nicht gezeigt) umfassen, wobei mindestens eine Teilschicht aus stöchiometrischem AlN-Material (d. h. undotiertes AlN-Teilschicht) ausgebildet sein und mindestens eine andere Teilschicht kann aus AlN-Material, das mit einem Seltenerd-Element dotiert ist (d. h. dotierte AlN-Teilschicht) ausgebildet sein kann. Durch Aufnehmen von bestimmten Atomprozentsätzen der mehreren Seltenerd-Elemente werden die piezoelektrischen Eigenschaften des AlN, einschließlich des piezoelektrischen Koeffizienten  $d_{33}$  und der erhöhte elektromechanische effektive Kopplungskoeffizient  $kt^2$  verbessert im Vergleich zu vollständig stöchiometrischem (undotiertem) AlN. Auch stellt das Vorhandensein des nicht-dotierten Abschnitts der piezoelektrischen Schicht eine mechanische Stabilität bereit, was beispielsweise ein Durchbiegen verhindert.

**[0040]** Wie oben erwähnt, kann das AlN-Material beispielsweise mit Scandium (Sc) dotiert sein, was einen AlScN-Stoff mit einem vorbestimmten Atomprozentsatz von Sc erzeugt. Das Sc-Atom hat einen Atomradius, der größer ist als der Atomradius des Al-Atoms, was zu einer Bindungslänge von Sc-N (2,25 Å) führt, die größer ist als die Bindungslänge von Al-N (1,90 Å). Dieser Unterschied in der Bindungslänge

bewirkt eine Spannung in dem resultierenden AlScN-Material.

**[0041]** Zur Veranschaulichung ist der Atomprozentsatz von Scandium in einer Aluminiumnitrid-Schicht näherungsweise 0,5% bis weniger als näherungsweise 10,0%. Allgemeiner ist in bestimmten Ausführungsformen der Atomprozentsatz von Scandium in einer Aluminiumnitrid-Schicht näherungsweise 0,5% bis näherungsweise 44%. In noch anderen repräsentativen Ausführungsformen ist der Atomprozentsatz von Scandium in einer Aluminiumnitrid-Schicht näherungsweise 2,5% bis weniger als näherungsweise 5,0%.

**[0042]** Der BAW-Resonator **200** umfasst optional eine Passivierungsschicht **206**, die über der zweiten Elektrode **204** angeordnet ist, wie das in dem oben aufgenommenen US-Patent 8,188,810 beschrieben ist. Des Weiteren umfasst der BAW-Resonator **200** einen ersten und einen zweiten elektrischen Kontakt **207**, **208**, die eine elektrische Verbindung mit der ersten und der zweiten Elektrode **202**, **204** respektive, bereitstellen.

**[0043]** Der BAW-Resonator **200** umfasst ferner ein erhöhtes Rahmenelement **209**, das über der zweiten Elektrode **204** bereitgestellt ist. Insbesondere ist die Anordnung des erhöhten Rahmenelements **209** über der zweiten Elektrode **204** lediglich veranschaulichend, und es wird betont, dass das erhöhte Rahmenelement **209** irgendwo anders auf dem akustischen Stapel, der die erste Elektrode **202**, das piezoelektrische Element **203** und die zweite Elektrode **204** umfasst, angeordnet sein kann. Beispielsweise kann das erhöhte Rahmenelement über der ersten Elektrode **202** angeordnet sein. Allgemeiner ist das erhöhte Rahmenelement **209** über einer Oberfläche von mindestens einem von der ersten und der zweiten Elektrode **202**, **204** angeordnet.

**[0044]** Durch Auswählen des Ortes, der Breite und der Höhe des erhöhten Rahmenelements **209** kann die Diskontinuität (Unstetigkeit) der akustischen Impedanz, die durch das erhöhte Rahmenelement **209** bereitgestellt wird, ausgewählt werden. Als solches hat die Fläche innerhalb des erhöhten Rahmenelements die erste akustische Impedanz, das erhöhte Rahmenelement hat eine vierte akustische Impedanz, und das Gebiet extern zu dem (d. h. „außerhalb“ des) erhöhten Rahmenelements) hat die dritte akustische Impedanz. Wie dies beispielsweise in den oben aufgenommenen U.S. Patenten 7,280,007, 7,388,454 und 7,714,684 beschrieben ist, verbessert die Fehlanpassung der akustischen Impedanz, die durch das erhöhte Rahmenelement **209** bereitgestellt wird, die Performanz des BAW-Resonators **200** in vorteilhafter Weise. Beispielsweise und wie dies unten vollständiger beschrieben wird, verbessert die Aufnahme des erhöhten Rahmenelements **209** in

dem BAW-Resonator **200** in vorteilhafter Weise den Gütefaktor bei Parallelresonanz ( $Q_p$ ) und erhöht in gewünschter Weise den Realteil der Impedanz der Parallelresonanz ( $R_p$ ) im Vergleich zu BAW-Resonatoren, die kein erhöhtes Rahmenelement umfassen. Jedoch gehen diese Verbesserungen in  $Q_p$  und  $R_p$  häufig auf Kosten von anderen Performanz-Parametern (z. B.  $Q_{SW}$ ), und dem Auftreten von parasitären unechten Moden in dem südwestlichen Quadranten des Smith-Diagramms, die darauf als „Geknatter“ manifestiert sind. So wie das unten vollständiger beschrieben wird, sind die Position, die Breite, die Höhe und die Zusammensetzung des Materials des erhöhten Rahmenelements **209** maßgeschneidert, um einen gewünschten Grad der Verbesserung von  $Q_p$  und  $R_p$  bereitzustellen, und bestimmte Abnahmen in der Performanz in dem südwestlichen Quadranten des Smith-Diagramms aufgrund des erhöhten Rahmenelements **209** können durch andere Techniken gemäß der repräsentativen Ausführungsformen kompensiert werden. Allgemein gesprochen, hat das erhöhte Rahmenelement **209** der repräsentativen Ausführungsformen eine Breite im Bereich von näherungsweise 0,1  $\mu\text{m}$  bis näherungsweise 10,0  $\mu\text{m}$  und eine Höhe im Bereich von näherungsweise 100  $\text{\AA}$  bis näherungsweise 3000  $\text{\AA}$ . Des Weiteren hat das Material, das für das erhöhte Rahmenelement **209** ausgewählt worden ist, nicht notwendigerweise dieselbe Zusammensetzung wie das der zweiten Elektrode **204**. Zur Veranschaulichung kann die Zusammensetzung des für das erhöhte Rahmenelement **209** verwendeten Materials eines von einem ausgewählten Metall (z. B. Mo, W, Al, Ru) oder eines von einem ausgewählten dielektrischen Material (z. B. AlN, SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) sein.

**[0045]** Fig. 3A ist eine Querschnittsansicht von einem BAW-Resonator **300** gemäß einer repräsentativen Ausführungsform. Bestimmte Einzelheiten des BAW-Resonators **300** sind gemeinsam wie die oben im Zusammenhang mit der Beschreibung der BAW-Resonatoren **100**, **200** beschriebenen, und werden nicht immer wiederholt, um ein Verschleiern der Beschreibung der vorliegenden zu beschreibenden repräsentativen Ausführungsformen zu vermeiden.

**[0046]** Der BAW-Resonator **300** umfasst ein Substrat **301**, eine erste Elektrode **302**, die über dem Substrat **301** angeordnet ist, eine piezoelektrische Schicht **303**, die über der ersten Elektrode **302** angeordnet ist, und eine zweite Elektrode **304**, die über der piezoelektrischen Schicht **303** angeordnet ist. Die erste Elektrode **302** ist über einem reflektierenden Element **305** bereitgestellt, das in der vorliegenden repräsentativen Ausführungsform eine in dem Substrat **301** bereitgestellte Vertiefung ist.

**[0047]** Eine Überdeckung des reflektierenden Elements **305**, der ersten Elektrode **302**, der zweiten Elektrode **304** und der piezoelektrischen Schicht **303**



umfasst eine aktive Fläche des BAW-Resonators **300**. Des Weiteren, wenn das reflektierende Element **305** eine Vertiefung oder ein Leervolumen unterhalb der ersten Elektrode ist, wird der BAW-Resonator **300** häufig als ein FBAR bezeichnet. Im Gegensatz dazu und wie unten beschrieben, kann das reflektierende Element **305** einen Bragg-Reflektor umfassen, der abwechselnde Schichten von einem Material mit einer hohen akustischen Impedanz und einem Material mit einer niedrigen akustischen Impedanz umfasst.

**[0048]** Gemäß repräsentativer Ausführungsformen umfasst die piezoelektrische Schicht **303** ein dotiertes piezoelektrisches Material. Zur Veranschaulichung ist das piezoelektrische Material dotiertes AlN, wobei eine Anzahl von Al-Atomen innerhalb des AlN-Kristallgitters durch ein ausgewähltes Material, wie etwa ein Seltenerd-Element mit einem vorbestimmten Prozentsatz, ersetzt ist. Das ausgewählte Material, das häufig als ein „Dotierelement“ bezeichnet wird, kann beispielsweise Scandium (Sc) sein. In alternativen Konfigurationen kann eine Anzahl von Al-Atomen innerhalb des AlN-Kristallgitters durch mehr als eine Art eines Seltenerd-Elements mit einem vorbestimmten Prozentsatz, respektive, ersetzt sein. Weil die Dotierelemente nur Al-Atome ersetzen (z. B. von einem Al-Target (oder Ziel)), bleibt der Prozentsatz der Stickstoffatome in dem piezoelektrischen Material im Wesentlichen derselbe, unabhängig von dem Grad (oder der Menge) der Dotierung. Wenn hierin Prozentsätze von Dotierungselementen besprochen werden, ist dies mit Verweis auf die gesamten Atome (nicht Stickstoff einschließend) des AlN piezoelektrischen Materials. Die Seltenerd-Elemente umfassen Scandium (Sc), Yttrium (Y), Lanthan (La), Cer (Ce), Praseodym (Pr), Neodym (Nd), Promethium (Pm), Samarium (Sm), Europium (Eu), Gadolinium (Gd), Terbium (Tb), Dysprosium (Dy), Holmium (Ho), Erbium (Er), Thulium (Tm), Ytterbium (Yb) und Lutetium (Lu), wie dies einem Fachmann bekannt ist. Die verschiedenen Ausführungsformen sehen den Einbau von irgendeinem oder mehreren Seltenerd-Elementen vor, obwohl hierin spezifische Beispiele besprochen werden.

**[0049]** Verschiedene Ausführungsformen beziehen sich auf das Bereitstellen eines dünnen Films (oder einer dünnen Schicht) von piezoelektrischem Material (piezoelektrische Schicht **303**), wie etwa AlN, mit einem vergrößerten piezoelektrischen Koeffizienten  $d_{33}$  und einem erhöhten elektromechanischen Kopplungskoeffizienten  $kt^2$  durch Einbau von einem oder mehreren Seltenerd-Elementen in das Kristallgitter von einem Abschnitt der piezoelektrischen Schicht. Zur Veranschaulichung kann die piezoelektrische Schicht eine einzelne Schicht sein, die ein im Wesentlichen konstantes Dotierniveau durch die Dicke der piezoelektrischen Schicht **303** umfasst. Alternativ kann die piezoelektrische Schicht eine einzelne Schicht sein, die verschiedene (z. B. abgestufte) Ni-

veaus einer Dotierung über der Dicke der piezoelektrischen Schicht **303** umfasst. Beispielsweise kann die piezoelektrische Schicht undotiertes AlN-Material an der Unterseite mit schrittweise erhöhten Atomprozentanteilen eines Seltenerd-Elements umfassen, das über der Dicke der piezoelektrischen Schicht **303** hinzugefügt wird. Noch alternativ kann die piezoelektrische Schicht **303** mehrere Teilschichten (nicht gezeigt) umfassen, wobei mindestens eine Teilschicht aus stöchiometrischem AlN-Material (d. h. undotierte AlN-Teilschicht) ausgebildet ist, und mindestens eine andere Teilschicht aus AlN-Material, das mit einem Seltenerd-Element (z. B. dotierte AlN-Teilschicht) ausgebildet ist. Durch Einbauen (oder Aufnehmen) von spezifischen Atomprozentanteilen der mehreren Seltenerd-Elemente werden die piezoelektrischen Eigenschaften des AlN, einschließlich des piezoelektrischen Koeffizienten  $d_{33}$  und des erhöhten elektromechanischen effektiven Kopplungskoeffizienten  $kt^2$ , verbessert im Vergleich zu vollständig stöchiometrischem (undotiertem) AlN. Auch stellt das Vorhandensein des undotierten Abschnitts der piezoelektrischen Schicht eine mechanische Stabilität bereit, was beispielsweise eine Verbiegung verhindert.

**[0050]** Wie oben erwähnt, kann das AlN-Material beispielsweise mit Scandium (Sc) dotiert sein, was einen AlScN-Stoff mit einem vorbestimmten Atomprozentanteil von Sc erzeugt. Das Sc-Atom hat einen Atomradius, der größer ist als der Atomradius des Al-Atoms, was zu einer Bindungslänge (2,25 Å) von Sc-N führt, die größer ist als die Bindungslänge von Al-N (1,90 Å). Dieser Unterschied in den Bindungslängen bewirkt eine Spannung in dem resultierenden AlScN-Material.

**[0051]** Zur Veranschaulichung ist der Atomprozentanteil von Scandium in einer Aluminiumnitrid-Schicht näherungsweise 0,5% bis weniger als näherungsweise 10,0%. Allgemeiner ist in bestimmten Ausführungsformen der Atomprozentanteil von Scandium in einer Aluminiumnitrid-Schicht näherungsweise 0,5% bis näherungsweise 44%. In noch anderen repräsentativen Ausführungsformen ist der Atomprozentanteil von Scandium in einer Aluminiumnitrid-Schicht näherungsweise 2,5% bis weniger als näherungsweise 5,0%.

**[0052]** Der BAW-Resonator **300** umfasst optional eine Passivierungsschicht **306**, die über der zweiten Elektrode **304** angeordnet ist, so wie das in dem oben aufgenommenen U.S. Patent 8,188,810 beschrieben ist. Des Weiteren umfasst der BAW-Resonator **300** einen ersten und einen zweiten elektrischen Kontakt **307**, **308**, die eine elektrische Verbindung mit der ersten und der zweiten Elektrode **302**, **304**, respektive, bereitstellen.

**[0053]** Der BAW-Resonator **300** umfasst ferner ein zurückgesetztes Rahmenelement **309**, das in der

zweiten Elektrode **304** bereitgestellt ist. Insbesondere ist die Anordnung des zurückgesetzten Rahmenelements **309** in der zweiten Elektrode **304** lediglich veranschaulichend, und es wird betont, dass das zurückgesetzte Rahmenelement **309** irgendwo anders in dem akustischen Stapel, der die erste Elektrode **302**, die piezoelektrische Schicht **303** und die zweite Elektrode **304** umfasst, angeordnet sein kann. Beispielsweise kann das zurückgesetzte Rahmenelement **309** in der ersten Elektrode **302** angeordnet sein. Allgemeiner gesagt ist das zurückgesetzte Rahmenelement **309** über einer Oberfläche von mindestens einer der ersten und der zweiten Elektrode **302**, **304** angeordnet. Des Weiteren kann das zurückgesetzte Rahmenelement **309** „Füllmaterial“ (nicht gezeigt), das darin bereitgestellt ist, umfassen.

**[0054]** So wie das oben angemerkt ist, kann durch Auswählen der Position, der Breite, der Tiefe und, falls implementiert, der Zusammensetzung des Füllmaterials, die Diskontinuität (Unstetigkeit), die durch das zurückgesetzte Rahmenelement **309** bereitgestellt ist, ausgewählt werden. Als solche hat die Fläche des BAW-Resonators „innerhalb“ des zurückgesetzten Rahmenelements **309** die erste akustische Impedanz, das zurückgesetzte Rahmenelement **309** hat die zweite akustische Impedanz, und das Gebiet extern zu dem (d. h. „außerhalb“ des) zurückgesetzten Rahmenelement(s) **309** hat die dritte akustische Impedanz. Wie oben angemerkt, verbessert die Fehlanpassung der akustischen Impedanz, die durch das zurückgesetzte Rahmenelement **309** bereitgestellt wird, in vorteilhafter Weise die Performanz des BAW-Resonators **300**. Beispielsweise und wie dies unten ausführlicher beschrieben wird, verbessert der Einbau des zurückgesetzten Rahmenelements **309** in dem BAW-Resonator **300** in vorteilhafter Weise den Gütefaktor ( $Q$ ) in dem südwestlichen Quadranten eines Smith-Diagramms (häufig als  $Q_{SW}$  bezeichnet), und verringert das Auftreten von parasitären unechten Moden am Umkreis des Resonators der aktiven Fläche des BAW-Resonators **300**, im Vergleich zu BAW-Resonatoren, die kein zurückgesetztes Rahmenelement umfassen. Des Weiteren stellt die Aufnahme des zurückgesetzten Rahmenelements **309** einen gewissen Grad einer Verbesserung in  $kt^2$  bereit, ebenso wie eine Reduktion in  $Q$  in der Nähe der Reihenresonanz ( $Q_S$  nahe bei  $F_S$ ). Im Gegensatz dazu, während das Dotieren der piezoelektrischen Schicht die Größe  $kt^2$  in vorteilhafter Weise verbessert, geht diese Verbesserung häufig auf Kosten von anderen Performanz-Parametern (z. B.  $Q_{SW}$ ). Beispielsweise und wie dies unten vollständiger erklärt wird, kann das zurückgesetzte Rahmenelement **309** bereitgestellt werden, um unter anderem Abnahmen in bestimmten Performanz-Parametern des BAW-Resonators **300** zu kompensieren, die von der Aufnahme von Dotierstoffen in der piezoelektrischen Schicht **303** in dem BAW-Resonator **300** herrühren. Des Weiteren sind der Ort, die Posi-

tion, die Breite, die Tiefe und falls implementiert, die Zusammensetzung des Füllmaterials des zurückgesetzten Rahmenelements **309** maßgeschneidert, um einen gewünschten Grad der Kompensation von einem oder mehreren Performanz-Parametern bereitzustellen, die durch die Dotierung der piezoelektrischen Schicht **303** nachteilig beeinflusst werden.

**[0055]** Der BAW-Resonator **300** umfasst ferner ein erhöhtes Rahmenelement **310**, das über der zweiten Elektrode **304** bereitgestellt wird. Insbesondere ist die Anordnung des erhöhten Rahmenelements **310** über der zweiten Elektrode **304** lediglich veranschaulichend, und es wird betont, dass das erhöhte Rahmenelement **310** irgendwo auf dem akustischen Stapel, der die erste Elektrode **302**, die piezoelektrische Schicht **303** und die zweite Elektrode **304** umfasst, angeordnet sein kann. Beispielsweise kann das erhöhte Rahmenelement **310** über der ersten Elektrode angeordnet sein. Allgemeiner gesprochen ist das erhöhte Rahmenelement **310** über einer Oberfläche von mindestens einer der ersten und der zweiten Elektrode **302**, **304** angeordnet.

**[0056]** Durch Auswählen der Position, der Breite und der Höhe des erhöhten Rahmenelements **310** kann die Diskontinuität der akustischen Impedanz, die durch das erhöhte Rahmenelement **310** bereitgestellt wird, ausgewählt werden. Als solche hat die Fläche innerhalb des erhöhten Rahmenelements die erste akustische Impedanz, das erhöhte Rahmenelement hat eine vierte akustische Impedanz, und das Gebiet extern zu dem (d. h. „außerhalb“ des) erhöhten Rahmenelements) hat die dritte akustische Impedanz. Wie oben beschrieben, verbessert die Fehlanpassung der akustischen Impedanz, die durch das erhöhte Rahmenelement **310** bereitgestellt wird, in vorteilhafter Weise die Performanz des BAW-Resonators **300**. Beispielsweise und wie dies unten ausführlicher beschrieben ist, verbessert die Aufnahme des erhöhten Rahmenelements **310** in dem BAW-Resonator **300** in vorteilhafter Weise den Gütefaktor bei der Parallelresonanz ( $Q_P$ ), und vergrößert in gewünschter Weise den Realteil der Impedanz bei der Parallelresonanz ( $R_P$ ) im Vergleich zu BAW-Resonatoren, die kein erhöhtes Rahmenelement umfassen. Jedoch gehen diese Verbesserungen in  $Q_P$  und  $R_P$  häufig auf Kosten von anderen Performanz-Parametern (z. B.  $Q_{SW}$ ), und dem Auftreten von parasitären unechten Moden in dem südwestlichen Quadranten des Smith-Diagramms, die sich als „Geknatter“ darauf manifestieren. Wie dies unten vollständiger beschrieben wird, sind die Position, die Breite, die Höhe und die Zusammensetzung des Materials des erhöhten Rahmenelements **310** maßgeschneidert, um einen gewünschten Grad der Verbesserung von  $Q_P$  und  $R_P$  bereitzustellen, und bestimmte Abnahmen in der Performanz in dem südwestlichen Quadranten des Smith-Diagramms aufgrund des erhöhten Rahmenelements **310** kann durch andere Techniken

gemäß repräsentativen Ausführungsformen kompensiert werden.

**[0057]** Wie oben erwähnt, ist es vorteilhaft, Seltenerd-Dotierstoffe (z. B. Sc) in dem piezoelektrischen Material (z. B. AlN) der piezoelektrischen Schicht **303** aufzunehmen, um den Parameter  $kt^2$  des BAW-Resonators **300** zu verbessern. Jedoch wird diese Verbesserung von  $kt^2$  auf Kosten der Abnahme in  $Q_{SW}$ , die umgekehrt proportional zu  $kt^2$  ist, realisiert. Als solche führt eine inkrementelle Verbesserung in  $kt^2$  zu einer proportionalen Verringerung von  $Q_{SW}$ . Jedoch führt die Aufnahme des zurückgesetzten Rahmenelements **309** zu einer Verbesserung in  $Q_{SW}$  und einer Verringerung von Verlusten aufgrund von parasitären unechten Moden am Umkreis der aktiven Fläche des BAW-Resonators. Des Weiteren und wie oben erwähnt, führt das Aufnehmen des zurückgesetzten Rahmenelements **309** zu einer zusätzlichen Erhöhung in  $kt^2$ , auch wenn dies nur eine kleine Erhöhung im Vergleich zu der Verbesserung von  $kt^2$ , die aus dem Dotieren der piezoelektrischen Schicht **303** herrührt, ist. Des Weiteren und wie oben angemerkt, stellt die Aufnahme des erhöhten Rahmenelements **310** eine gewünschte Verbesserung in  $Q_P$  und  $R_P$  bereit, auch wenn diese auf Kosten einer Abnahme von  $kt^2$  gehen, auch wenn dies auf Kosten einer Verschlechterung von  $Q_{SW}$ , vergrößerten Verlusten ist aufgrund von parasitären unechten Moden in dem südwestlichen Quadranten des Smith-Diagramms. In vorteilhafter Weise jedoch, und wie oben erwähnt, führt das Aufnehmen des zurückgesetzten Rahmenelements **309** zu einer Verbesserung in  $Q_{SW}$  und einer Verringerung in Verlusten aufgrund von parasitären unechten Moden im südwestlichen Quadranten des Smith-Diagramms. Dementsprechend gibt es durch Aufnehmen von sowohl dem zurückgesetzten Rahmenelement **309** als auch von dem erhöhten Rahmenelement **310** in dem BAW-Resonator **300**, der eine dotierte piezoelektrische Schicht **303** umfasst, eine insgesamt Verbesserung in  $Q_P$  und  $R_P$  (aufgrund des erhöhten Rahmenelements **310**), eine insgesamt Verbesserung in  $Q_{SW}$  und eine Verringerung in Verlusten aufgrund von parasitären unechten Moden in dem südwestlichen Quadranten des Smith-Diagramms (aufgrund des zurückgesetzten Rahmenelements **309**), und eine insgesamt Verbesserung in  $kt^2$  (aufgrund der dotierten piezoelektrischen Schicht **303** und dem zurückgesetzten Rahmenelement) im Vergleich zu einem bekannten BAW-Resonator, der eines oder mehrere dieser Komponenten nicht aufweist.

**[0058]** Fig. 3B ist eine Querschnittsansicht eines BAW-Resonators **311** gemäß einer repräsentativen Ausführungsform. Bestimmte Einzelheiten des BAW-Resonators **311** sind gemeinsam mit denjenigen, die oben im Zusammenhang mit der Beschreibung der BAW-Resonatoren **100**, **200**, **300** bereitgestellt sind, und sie werden nicht immer wiederholt, um

ein Verschleiern der Beschreibung der vorliegend beschriebenen repräsentativen Ausführungsform zu vermeiden. Am stärksten anzumerken ist, dass der BAW-Resonator **311** ein reflektierendes Element **305** umfasst, das ein sogenannter Bragg-Reflektor oder Bragg-Spiegel ist, und eine Mehrzahl von abwechselnden Schichten mit einer niedrigen akustischen Impedanz und einer hohen akustischen Impedanz umfasst. In anderen Hinsichten ist der BAW-Resonator **311** im Wesentlichen identisch zu dem im Zusammenhang mit Fig. 3A beschriebenen BAW-Resonator **300**, und seine Beschreibung wird nicht wiederholt. Des Weiteren sind die Einzelheiten und die Herstellung des Bragg-Reflektors, der das reflektierende Element **305** der repräsentativen Ausführungsform der Fig. 3B ausbildet, bekannt und werden nicht wiederholt.

**[0059]** Fig. 4A ist ein Schaubild, das den elektromechanischen Kopplungskoeffizienten ( $kt^2$ ) als Funktion der Frequenz eines BAW-Resonators, der keine Dotierstoffe in einer piezoelektrischen Schicht umfasst (Kurve **401** – gepunktete Linie), und dem Parameter  $kt^2$  eines BAW-Resonators, der Dotierstoffe in der piezoelektrischen Schicht umfasst (Kurve **402** – durchgezogene Linie). Insbesondere ist der in Fig. 4A gezeigte elektromechanische Kopplungskoeffizient ( $kt^2$ ) für BAW-Resonatoren, die weder ein zurückgesetztes Rahmenelement noch ein erhöhtes Rahmenelement umfassen, wie dies oben im Zusammenhang mit den Fig. 1 bis Fig. 3B beschrieben sind. Fig. 4A zeigt die signifikante Verbesserung des Parameters  $kt^2$  in einem bestimmten Frequenzbereich, welche Verbesserung durch das Aufnehmen von Seltenerd-Dotierstoffen (z. B. Sc) in einer piezoelektrischen Schicht (z. B. AlN) realisiert wird. Insbesondere zeigt Fig. 4A den Parameter  $kt^2$  über einem bestimmten Frequenzbereich für eine mit Sc dotierte AlScN piezoelektrische Schicht, in der das Sc allgemein gleichförmig in der AlScN piezoelektrischen Schicht verteilt ist, und der Atomprozentsatz von Sc in dem Bereich von näherungsweise 1,5% bis näherungsweise 5,0% ist.

**[0060]** Wie oben erwähnt, wird eine Erhöhung in  $kt^2$  erreicht, die obwohl sie vorteilhaft für die Performanz eines BAW-Resonators ist, auf Kosten einer Abnahme des Parameters  $Q$  des BAW-Resonators geht, insbesondere und wie dies unten vollständiger beschrieben wird, von  $Q_P$  und  $Q_{SW}$ . Als solches führt das Einführen von Dotierstoffen in der piezoelektrischen Schicht eines BAW-Resonators zu einer insgesamt Verringerung des Parameters  $Q$  des BAW-Resonators. Fig. 4B zeigt diese Abnahme des Parameters  $Q$  in einem Frequenzbereich von Interesse. Insbesondere zeigt Fig. 4B den Parameter  $Q$  als Funktion der Frequenz für einen BAW-Resonator, der keine Dotierstoffe in einer piezoelektrischen Schicht umfasst (Kurve **403** – gepunktete Linie) und den Parameter  $Q$  eines BAW-Resonators, der Dotierstoffe in

der piezoelektrischen Schicht umfasst (Kurve **404** – durchgezogene Linie). Das in **Fig. 4B** gezeigte  $Q$  ist für die BAW-Resonatoren, für die  $kt^2$  in **Fig. 4A** gezeigt ist. **Fig. 4B** zeigt die Abnahme des Parameters  $Q$  in einem bestimmten Frequenzbereich, welche Abnahme durch das Einschließen von Seltenerd-Dotierstoffen (z. B. Sc) in einer piezoelektrischen Schicht (z. B. AlN) realisiert wird.

**[0061]** Ein quantitatives und qualitatives Verständnis des Parameters  $Q$  eines Resonators kann erhalten werden durch Zeichnen des Verhältnisses der reflektierten Energie zu der beaufschlagten Energie ( $S_{11}$ ) in einem Smith-Diagramm, wenn die Frequenz variiert wird, für den Fall, in dem eine Elektrode mit Masse verbunden ist und eine andere mit einem Signal, für einen BAW-Resonator mit einer Impedanz, die gleich der System-Impedanz bei der Resonanzfrequenz ist. Wenn die Frequenz der beaufschlagten Energie erhöht wird, überstreicht die Größe/Phase des BAW-Resonators einen Kreis in dem Smith-Diagramm. Dies wird als der  $Q$ -Kreis bezeichnet. Wo der  $Q$ -Kreis zuerst die reale Achse (horizontale Achse) kreuzt, entspricht dies der Reihenresonanz-Frequenz  $f_S$ . Die reale Impedanz (die in Ohm gemessen wird) ist  $R_S$ . Wenn der  $Q$ -Kreis um den Durchmesser des Smith-Diagramms fortgesetzt wird, kreuzt er die reale Achse erneut. Der zweite Punkt, bei dem der  $Q$ -Kreis die reale Achse kreuzt, wird als  $f_P$  bezeichnet, die Parallel- oder Antiresonanz-Frequenz des FBAR. Die reale Impedanz bei  $f_P$  ist  $R_P$ .

**[0062]** Häufig ist es wünschenswert,  $R_S$  zu minimieren, während  $R_P$  maximiert wird. Qualitativ gesprochen gilt, dass je näher der  $Q$ -Kreis den äußeren Rand des Smith-Diagramms „umarmt“, desto höher ist der  $Q$ -Faktor der Vorrichtung. Der  $Q$ -Kreis eines idealen verlustlosen Resonators würde einen Radius von 1 aufweisen, und würde an dem Rand des Smith-Diagramms sein. Jedoch gibt es, wie oben angemerkt, Energieverluste, die den  $Q$ -Faktor der Vorrichtung beeinflussen. Beispielsweise und zusätzlich zu den oben erwähnten Quellen von akustischen Verlusten, sind Rayleigh-Lamb-(laterale oder unechte) Moden in den  $x$ ,  $y$ -Dimensionen (oder Koordinatenrichtungen). Diese lateralen Moden sind aufgrund einer durch Grenzflächen bedingten Modenumwandlung der longitudinalen Mode, die sich in der  $Z$ -Richtung ausbreitet, und aufgrund der Erzeugung von von Null verschiedenen Ausbreitungsvektoren,  $k_x$  und  $k_y$ , für beide TE-Moden sowie die verschiedenen lateralen Moden (z. B. die  $S_0$  (symmetrische) Mode und die nullten (asymmetrischen) Moden,  $A_0$  und  $A_1$ ), die aufgrund des Unterschieds der effektiven Geschwindigkeiten zwischen den Bereichen, wo Elektroden angeordnet sind, und den umgebenden Bereichen des Resonators, wo es keine Elektroden gibt, vorhanden sind.

**[0063]** Unabhängig von ihrer Quelle sind die lateralen Moden in vielen Resonator-Anwendungen parasitär. Beispielsweise koppeln parasitäre laterale Moden an den Umkreis (Perimeter) des Resonators an und entfernen Energie, die für die longitudinalen Moden verfügbar ist, und verringern dadurch den  $Q$ -Faktor der Resonator-Vorrichtung. Insbesondere können als ein Ergebnis der parasitären lateralen Moden und anderen akustischen Verlusten auf einem  $Q$ -Kreis des Smith-Diagramms für den  $S_{11}$ -Parameter scharfe Verringerungen des Parameters  $Q$  beobachtet werden. Diese scharfen Verringerungen im  $Q$ -Faktor sind als „Geknatter“ (rattles) oder als „Schleife-von-Schleife“ („loop-de-loops“), die unten gezeigt und beschrieben sind, bekannt.

**[0064]** **Fig. 5** ist ein Schaubild, das den Einfluss eines erhöhten Rahmenelements und eines zurückgesetzten Rahmenelements auf einem BAW-Resonator, der keine Dotierstoffe in einer piezoelektrischen Schicht umfasst, und einem BAW-Resonator, der Dotierstoffe in der piezoelektrischen Schicht umfasst, zeigt. Insbesondere zeigt **Fig. 5** den Parameter  $S_{11}$  als Funktion der Frequenz, und umfasst Korrelationen (oder Entsprechungen) mit einem Smith-Diagramm. Am bemerkenswertesten ist, dass die Linie **500** in vertikaler Richtung den horizontalen Bisektor (die reale Achse) eines Smith-Diagramms mit  $f_S$  an einem Ende und  $f_P$  an dem anderen Ende der horizontalen Linie zeigt.

**[0065]** Die Kurve **501** zeigt den Parameter  $S_{11}$  für einen BAW-Resonator, der eine dotierte piezoelektrische Schicht und ein erhöhtes Rahmenelement umfasst. Somit, und als Beispiel, zeigt die Kurve **501** (durchgezogene Linie) den Parameter  $S_{11}$  für den oben im Zusammenhang mit **Fig. 2** beschriebenen BAW-Resonator **200**. Die Kurve **502** (gepunktete Linie) zeigt den Parameter  $S_{11}$  für einen BAW-Resonator, der dieselbe dotierte piezoelektrische Schicht aufweist wie die des BAW-Resonators, für den der Parameter  $S_{11}$  mit der Kurve **501** gezeigt ist, jedoch ohne das erhöhte Rahmenelement. So wie das gewertschätzt werden kann, ist in dem Bereich an der rechten Seite der Linie **500** die Kurve **501** höher als die Kurve **502**, und in einem bestimmten Frequenzbereich gibt es eine signifikante Erhöhung des Parameters  $S_{11}$  für den BAW-Resonator, der ein erhöhtes Rahmenelement umfasst, im Vergleich zu dem BAW-Resonator der dies nicht hat. Diese Verbesserung des Parameters  $S_{11}$  ist manifestiert in einem verbesserten  $O_P$  (und  $R_P$ ) für den BAW-Resonator, der das erhöhte Rahmenelement umfasst, im Vergleich zu dem BAW-Resonator, der dies nicht hat.

**[0066]** Der Bereich an der linken Seite der Linie **500** zeigt  $S_{11}$  über der Frequenz in dem südwestlichen Quadranten des Smith-Diagramms. Insbesondere in dem Gebiet an der linken Seite der Linie **500** gibt es eine Abnahme in dem Parameter  $Q_{SW}$  für den

BAW-Resonator, der das erhöhte Rahmenelement umfasst, im Vergleich zu dem BAW-Resonator, der das erhöhte Rahmenelement nicht umfasst. Die Kurve **504** (durchgezogene Linie) zeigt den Parameter  $S_{11}$  für den BAW-Resonator ohne das erhöhte Rahmenelement, wohingegen die Kurve **505** (gepunktete Linie) den Parameter  $S_{11}$  für den BAW-Resonator, der das erhöhte Rahmenelement umfasst, zeigt. Wie aus einem Vergleich der Kurven **504** und **505** gewertschätzt werden kann, ist nicht nur die Größe von  $S_{11}$  in dem südwestlichen Quadranten kleiner für den BAW-Resonator, der das erhöhte Rahmenelement umfasst, sondern sind auch die Fluktuationen in  $S_{11}$  größer, was erhöhte Verluste aufgrund von unechten Moden andeutet (die als „Geknatter“ („rattles“) oder „loop-de-loops“ in einem Smith-Diagramm manifestiert sind).

**[0067]** Während somit der BAW-Resonator, der eine dotierte piezoelektrische Schicht und ein erhöhtes Rahmenelement aufweist, ein verbessertes  $Q_P$  und  $R_P$  realisiert, geht dies auf Kosten einer Abnahme in  $Q_{SW}$  und erhöhten Verlusten aufgrund von unechten Moden.

**[0068]** Die Kurve **505** zeigt den Parameter  $S_{11}$  für einen BAW-Resonator, der eine dotierte piezoelektrische Schicht und ein zurückgesetztes Rahmenelement umfasst. So zeigt beispielsweise die Kurve **505** (durchgezogene Linie) den Parameter  $S_{11}$  für einen BAW-Resonator, wie dem oben im Zusammenhang mit der **Fig. 1** beschriebenen BAW-Resonator **100**. Die Kurve **506** (gepunktete Linie) zeigt den Parameter  $S_{11}$  für einen BAW-Resonator, der die gleiche dotierte piezoelektrische Schicht aufweist wie die des BAW-Resonators, für den der Parameter  $S_{11}$  in der Kurve **501** gezeigt ist, jedoch ohne das zurückgesetzte Rahmenelement. Wie das gewertschätzt werden kann, ist in dem Bereich an der rechten Seite der Linie **500** die Kurve **505** niedriger als die Kurve **506**. Als solches gibt es in einem bestimmten Frequenzbereich eine Abnahme in  $S_{11}$  für den BAW-Resonator, der ein zurückgesetztes Rahmenelement umfasst, im Vergleich zu dem BAW-Resonator, der das zurückgesetzte Rahmenelement nicht umfasst.

**[0069]** Der Bereich an der linken Seite der Linie **500** stellt der Parameter  $S_{11}$  als Funktion der Frequenz in dem südwestlichen Quadranten des Smith-Diagramms dar. Insbesondere in dem Bereich an der linken Seite der Linie **500** gibt es eine Verbesserung des Parameters  $Q_{SW}$  für den BAW-Resonator, der das erhöhte Rahmenelement umfasst, im Vergleich zu dem BAW-Resonator, der das erhöhte Rahmenelement nicht umfasst. Die Kurve **507** (durchgezogene Linie) zeigt  $S_{11}$  für den BAW-Resonator mit dem zurückgesetzten Rahmenelement, wohingegen die Kurve **508** (gepunktete Linie) die Größe  $S_{11}$  für den BAW-Resonator ohne das zurückgesetzte Rahmenelement zeigt. Wie dies aus einer Betrachtung der Kurven **507**

und **508** gewertschätzt wird, ist der Wert des Parameters  $S_{11}$  in dem südwestlichen Quadranten niedriger für den BAW-Resonator, der das zurückgesetzte Rahmenelement umfasst, im Vergleich zu dem Wert des Parameters  $S_{11}$  für den BAW-Resonator, der das zurückgesetzte Rahmenelement nicht umfasst. Des Weiteren ist nicht nur die Größe von  $S_{11}$  in dem südwestlichen Quadranten größer für den BAW-Resonator, der das zurückgesetzte Rahmenelement umfasst, sondern sind auch die Fluktuationen in  $S_{11}$  weniger ausgeprägt, was niedrigere Verluste aufgrund von unechten Moden andeutet (die als „Rattles“ oder „Loop-de-Loops“ in einem Smith-Diagramm manifestiert sind).

**[0070]** Während also der BAW-Resonator, der eine dotierte piezoelektrische Schicht und ein zurückgesetztes Rahmenelement aufweist, etwas verschlechterte Parameter  $Q_P$  und  $R_P$  aufweist im Vergleich zu dem BAW-Resonator, der dies nicht hat, gibt es eine vorteilhafte Verbesserung in  $Q_{SW}$  und verringerte Verluste aufgrund von unechten Moden.

**[0071]** Gemäß einer repräsentativen Ausführungsform stellt ein BAW-Resonator, der eine dotierte piezoelektrische Schicht, ein erhöhtes Rahmenelement und ein zurückgesetztes Rahmenelement aufweist, eine insgesamt Verbesserung der Parameter  $Q_P$  und  $R_P$  und eine Verbesserung in  $Q_{SW}$  und eine Abnahme von Verlusten aufgrund von unechten Moden bereit. Insbesondere ist die Abnahme der Parameter  $Q_P$  und  $R_P$ , die von der Verwendung der dotierten Schicht und dem zurückgesetzten Rahmenelement herrühren kann, mehr als ausgeglichen durch die Verbesserungen der Parameter  $Q_P$  und  $R_P$ , die durch die Verwendung des erhöhten Rahmenelements realisiert werden. Des Weiteren sind die Abnahme des Parameters  $Q_{SW}$  und die erhöhten Verluste aufgrund von unechten Moden, die von der Verwendung der dotierten piezoelektrischen Schicht und dem erhöhten Rahmenelement herrühren können, mehr als ausgeglichen durch die Verbesserungen des Parameters  $Q_{SW}$  und die Verluste von unechten Moden, die durch die Aufnahme eines zurückgesetzten Rahmenelements realisiert werden können.

**[0072]** **Fig. 6A** ist ein Schaubild, das den elektromechanischen Kopplungskoeffizienten ( $kt^2$ ) zeigt als Funktion der Frequenz für einen BAW-Resonator, der eine dotierte piezoelektrische Schicht, ein erhöhtes Rahmenelement und ein zurückgesetztes Rahmenelement umfasst (Kurve **601** – gepunktete Linie), und das  $kt^2$  eines BAW-Resonators, der Dotierstoffe in der piezoelektrischen Schicht umfasst, jedoch weder ein erhöhtes Rahmenelement noch ein zurückgesetztes Rahmenelement umfasst (Kurve **602** – durchgezogene Linie). Als solche zeigt die Kurve **601** die Größe  $kt^2$  als Funktion der Frequenz für einen BAW-Resonator, wie etwa den BAW-Resonator **300** oder den BAW-Resonator **311** mit ausgewählten Dotierstoffen, Do-

tierniveaus und einem erhöhten und einem zurückgesetzten Rahmenelement gemäß repräsentativer Ausführungsformen. Zur Veranschaulichung umfasst die piezoelektrische Schicht mit Sc dotiertes AlN. Insbesondere zeigt **Fig. 6A** die Größe  $kt^2$  in einem bestimmten Frequenzbereich für eine mit Sc dotierte AlScN piezoelektrische Schicht, in der das Sc allgemein gleichförmig in der AlScN piezoelektrischen Schicht verteilt ist, und der Atomprozentsatz des Sc in dem Bereich von näherungsweise 1,5% bis näherungsweise 5,0% ist.

**[0073]** Wie oben besprochen, kann eine signifikante Erhöhung des Parameters  $kt^2$  in einem bestimmten Frequenzbereich der Dotierung der piezoelektrischen Schicht zugeordnet werden und, zu einem niedrigeren Ausmaß, kann eine Erhöhung des Parameters  $kt^2$  in einem bestimmten Frequenzbereich der Aufnahme eines zurückgesetzten Rahmenelements in dem Aufbau des BAW-Resonators zugeordnet werden. Allgemein kann die Verbesserung des Parameters  $kt^2$ , die dem zurückgesetzten Rahmenelement zugeordnet werden kann, näherungsweise 10% der Verbesserung in  $kt^2$ , die der Dotierung der piezoelektrischen Schicht des BAW-Resonators zugeordnet werden kann, sein.

**[0074]** **Fig. 6B** ist ein Smith-Diagramm, das einen Q-Kreis (Kurve **603** – gestrichelte Linie) zeigt für einen BAW-Resonator, der eine dotierte piezoelektrische Schicht, ein erhöhtes Rahmenelement und ein zurückgesetztes Rahmenelement aufweist, und einen Q-Kreis eines BAW-Resonators, der Dotierstoffe in der piezoelektrischen Schicht umfasst, jedoch weder ein erhöhtes Rahmenelement noch ein zurückgesetztes Rahmenelement hat (Kurve **604** – durchgezogene Linie). Als solche zeigt die Kurve **603** den Q-Kreis für einen BAW-Resonator, wie etwa den BAW-Resonator **300** oder den BAW-Resonator **311**, mit ausgewählten Dotierstoffen, Dotierniveaus und erhöhten und zurückgesetzten Rahmenelementen gemäß der repräsentativen Ausführungsform. Zur Veranschaulichung, umfasst die piezoelektrische Schicht mit Sc dotiertes AlN.

**[0075]** Wie aus einer Betrachtung der **Fig. 6B** gewertschätzt werden kann, „umarmt“ die Kurve **603** den Einheits-Q-Kreis mehr als die Kurve **604**, was andeutet, dass eine insgesamt Verbesserung des Parameters Q realisiert wird durch die Aufnahme von sowohl dem erhöhten Rahmenelement als auch dem zurückgesetzten Rahmenelement, wenn die piezoelektrische Schicht einen Dotierstoff umfasst.

**[0076]** Wie an dem Punkt **605** auf der Kurve **603** gezeigt, ist  $Q_p$  in vorteilhafter Weise verbessert. Wie oben erwähnt, kann diese insgesamt Verbesserung des Parameters  $Q_p$  (und folglich  $R_p$ ) der Aufnahme des erhöhten Rahmenelements in dem BAW-Resonator, der eine dotierte piezoelektrische Schicht

umfasst, zugeordnet werden. Insbesondere ist die Verschlechterung der Parameter  $Q_p$  und  $R_p$ , die durch die Verwendung der dotierten piezoelektrischen Schicht und des zurückgesetzten Rahmenelements erzielt werden kann, mehr als ausgeglichen (versetzt) durch die Verbesserungen der Parameter  $Q_p$  und  $R_p$ , die durch die Verwendung eines erhöhten Rahmenelements realisiert werden.

**[0077]** Des Weiteren gibt es in dem südwestlichen Quadranten nicht nur eine vergleichsweise Verbesserung in Q ( $Q_{SW}$ ), sondern auch eine signifikante Verringerung in den „Rattles“ und „Loop-de-Loops“ in dem BAW-Resonator, der eine dotierte piezoelektrische Schicht, ein erhöhtes Rahmenelement und ein zurückgesetztes Rahmenelement umfasst. Insbesondere in dem Bereich **606** des Smith-Diagramms bleibt die Kurve **604** dichter an dem Einheitskreis, und hat weniger, wenn nicht gar keine, „Rattles“ oder „Loop-de-Loops“. Als solcher zeigt der BAW-Resonator, der eine dotierte piezoelektrische Schicht, ein erhöhtes Rahmenelement und ein zurückgesetztes Rahmenelement umfasst, eine Verbesserung des Parameters  $Q_{SW}$  und eine Verringerung in Verluste aufgrund von unechten Moden, im Vergleich zu einem BAW-Resonator, der eine dotierte piezoelektrische Schicht umfasst, jedoch weder ein erhöhtes Rahmenelement noch ein zurückgesetztes Rahmenelement aufweist. Entsprechend sind die Verringerung des Parameters  $Q_{SW}$  und die erhöhten Verluste aufgrund von unechten Moden, die von der Verwendung der dotierten piezoelektrischen Schicht und dem erhöhten Rahmenelement in dem BAW-Resonator herrühren können, mehr als ausgeglichen durch die Verbesserungen des Parameters  $Q_{SW}$  und den Verlusten durch unechte Moden, die aus der Aufnahme eines zurückgesetzten Rahmenelements realisiert werden können.

**[0078]** **Fig. 7** ist ein Schaubild, das die Einflüsse zeigt von einem erhöhten Rahmenelement und einem zurückgesetzten Rahmenelement auf den Parameter Q von einem BAW-Resonator, der Dotierstoffe in der piezoelektrischen Schicht umfasst. Insbesondere zeigt **Fig. 7** den Parameter Q als Funktion eines bestimmten Frequenzbereichs für einen BAW-Resonator, der eine mit Sc dotierte AlScN piezoelektrische Schicht umfasst, in der das Sc allgemein gleichförmig in der AlScN piezoelektrischen Schicht verteilt ist und in der der Atomprozentsatz von Sc in dem Bereich von näherungsweise 1,5% bis näherungsweise 5,0% (siehe die vorhergehenden Kommentare) ist. Insbesondere zeigt **Fig. 7** den Parameter Q als Funktion der Frequenz (Kurve **701** – gepunktete Linie) für einen BAW-Resonator, der eine dotierte piezoelektrische Schicht, ein erhöhtes Rahmenelement und ein zurückgesetztes Rahmenelement aufweist, und den Parameter Q als Funktion der Frequenz (Kurve **702**) für einen BAW-Resonator, der Dotierstoffe in der piezoelektrischen Schicht umfasst, jedoch weder ein

erhöhtes Rahmenelement noch ein zurückgesetztes Rahmenelement aufweist (Kurve **702** – durchgezogene Linie). Als solche zeigt die Kurve **701** den Parameter Q als Funktion der Frequenz für einen BAW-Resonator, wie etwa den BAW-Resonator **300** oder den BAW-Resonator **311** mit ausgewählten Dotierstoffen, Dotierniveaus sowie einem erhöhten und einem zurückgesetzten Rahmenelement gemäß repräsentativer Ausführungsformen. Zur Veranschaulichung umfasst die piezoelektrische Schicht mit Sc dotiertes AlN. Wie aus einer Betrachtung der **Fig. 7** gewertschätzt werden kann, erzielt der BAW-Resonator, der eine dotierte piezoelektrische Schicht, ein erhöhtes Rahmenelement und ein zurückgesetztes Rahmenelement umfasst, eine signifikante Verbesserung insgesamt des Parameters Q in einem ziemlich großen Frequenzbereich im Vergleich zu einem BAW-Resonator, der Dotierstoffe in der piezoelektrischen Schicht umfasst, jedoch weder ein erhöhtes Rahmenelement noch ein zurückgesetztes Rahmenelement aufweist.

**[0079]** Gemäß repräsentativer Ausführungsformen wurden BAW-Resonatoren beschrieben, die dotierte piezoelektrische Schichten, ein erhöhtes Rahmenelement oder ein zurückgesetztes Rahmenelement, oder beide, umfassen. Ein Fachmann wird wertschätzen, dass viele Variationen gemäß der vorliegenden Lehren möglich sind und innerhalb des Schutzzumfangs der beigefügten Patentansprüche verbleiben. Diese und andere Variationen würden für einen Fachmann nach einer Durchsicht der Beschreibung der Zeichnungen und der Patentansprüche hierin deutlich werden. Die Erfindung ist daher nicht beschränkt, außer im Rahmen des Geists und des Schutzzumfangs der beigefügten Patentansprüche.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- US 6107721 [0021]
- US 5587620 [0021]
- US 5873153 [0021]
- US 6507983 [0021]
- US 7388454 [0021, 0034, 0044]
- US 7629865 [0021]
- US 7714684 [0021, 0034, 0044]
- US 7791434 [0021]
- US 8188810 [0021, 0032, 0042, 0052]
- US 7280007 [0021, 0034, 0044]
- US 8248185 [0021]
- US 7345410 [0021]
- US 6828713 [0021]



## Patentansprüche

1. Ein akustischer Volumenwellen(BAW)-Resonator aufweisend:  
eine erste Elektrode (**101**),  
eine zweite Elektrode (**104**),  
eine piezoelektrische Schicht (**103**), die zwischen der ersten und der zweiten Elektrode (**102, 104**) angeordnet ist, wobei die piezoelektrische Schicht (**103**) ein piezoelektrisches Material umfasst, das mit mindestens einem Seltenerd-Element dotiert ist, und ein zurückgesetztes Rahmenelement (**109**), das über einer Oberfläche von zumindest einer von der ersten und der zweiten Elektrode (**102, 104**) angeordnet ist.
2. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 1, wobei das zurückgesetzte Element (**109**) entlang eines Umkreises der zweiten Elektrode (**104**) angeordnet ist.
3. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 1, wobei das zurückgesetzte Rahmenelement (**109**) innerhalb der ersten Elektrode (**101**) angeordnet ist und einem Umkreis der zweiten Elektrode (**104**) direkt gegenüberliegt.
4. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 1, wobei das zurückgesetzte Rahmenelement (**109**) in die eine von der ersten und zweiten Elektrode (**102, 104**) integriert ist.
5. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 1, ferner aufweisend ein reflektierendes Element (**105**), das unter der ersten Elektrode (**101**), der zweiten Elektrode (**104**) und der piezoelektrischen Schicht (**103**) angeordnet ist, wobei eine Überdeckung des reflektierenden Elements (**105**), der ersten Elektrode (**101**), der zweiten Elektrode (**104**) und der piezoelektrischen Schicht (**103**) eine aktive Fläche des akustischen Resonators definiert.
6. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 1, wobei das reflektierende Element (**105**) eine in einem Substrat (**101**) angeordnete Vertiefung umfasst, über der die erste Elektrode (**101**), die zweite Elektrode (**104**) und die piezoelektrische Schicht (**103**) angeordnet sind.
7. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 1, wobei das reflektierende Element (**105**) eine Mehrzahl von Schichten umfasst, die abwechselnd eine hohe akustische Impedanz und eine niedrige akustische Impedanz aufweisen.
8. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 1, wobei das piezoelektrische Material Aluminiumnitrid (AlN) umfasst.
9. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 8, wobei das mindestens eine Seltenerd-Element in ein Kristallgitter des AlN piezoelektrischen Materials eingebaut ist.
10. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 8, wobei das mindestens eine Seltenerd-Element Scandium (Sc) umfasst.
11. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 8, wobei das mindestens eine Seltenerd-Element zwei oder mehrere Seltenerd-Elemente umfasst, die in ein Kristallgitter des AlN piezoelektrischen Materials eingebaut sind.
12. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 11, wobei die mindestens zwei Seltenerd-Elemente Scandium (Sc) und Erbium (Er) umfassen.
13. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 12, wobei die mindestens zwei Seltenerd-Elemente ferner Yttrium (Y) umfassen.
14. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 1, ferner aufweisend ein erhöhtes Rahmenelement (**209**), das über der Oberfläche von zumindest einer von der ersten und der zweiten Elektrode (**102, 104**) angeordnet ist.
15. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 14, wobei das piezoelektrische Material Aluminiumnitrid (AlN) umfasst.
16. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 15, wobei das mindestens eine Seltenerd-Element in ein Kristallgitter des AlN piezoelektrischen Materials eingebaut ist.
17. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 15, wobei das mindestens eine Seltenerd-Element Scandium (Sc) umfasst.
18. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 15, wobei das mindestens eine Seltenerd-Element zwei oder mehrere Seltenerd-Elemente umfasst, die in ein Kristallgitter des AlN piezoelektrischen Materials eingebaut sind.
19. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 18, wobei die mindestens zwei Seltenerd-Elemente Scandium (Sc) und Erbium (Er) umfassen.
20. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 12, wobei die mindestens zwei Seltenerd-Elemente ferner Yttrium (Y) umfassen.
21. Ein akustischer Volumenwellen(BAW)-Resonator aufweisend:  
eine erste Elektrode (**101**),  
eine zweite Elektrode (**104**),  
eine piezoelektrische Schicht (**103**), die zwischen der ersten und der zweiten Elektrode (**102, 104**) angeordnet ist.

net ist, wobei die piezoelektrische Schicht (**103**) ein piezoelektrisches Material umfasst, das mit mindestens einem Seltenerd-Element dotiert ist, und ein erhöhtes Rahmenelement (**209**), das über einer Oberfläche von mindestens einer von der ersten und der zweiten Elektrode (**102, 104**) angeordnet ist.

22. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 21, wobei das erhöhte Rahmenelement (**209**) entlang eines Umkreises der zweiten Elektrode (**104**) angeordnet ist.

23. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 21, wobei das erhöhte Rahmenelement (**209**) innerhalb der ersten Elektrode (**101**) angeordnet ist und einem Umkreis der zweiten Elektrode (**104**) direkt gegenüberliegt.

24. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 21, wobei das erhöhte Rahmenelement (**209**) in die eine von der ersten und der zweiten Elektrode (**104**) integriert ist.

25. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 21, ferner aufweisend ein reflektierendes Element (**105**), das unterhalb der ersten Elektrode (**101**), der zweiten Elektrode (**104**) und dem piezoelektrischen Element (**103**) angeordnet ist, wobei eine Überdeckung des reflektierenden Elements (**105**), der ersten Elektrode (**101**), der zweiten Elektrode (**104**) und der piezoelektrischen Schicht (**103**) eine aktive Fläche des Akustikresonator definiert.

26. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 21, wobei das reflektierende Element (**105**) eine Vertiefung umfasst, die in einem Substrat (**101**) angeordnet ist, über dem die erste Elektrode (**101**), die zweite Elektrode (**104**) und die piezoelektrische Schicht (**103**) angeordnet sind.

27. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 21, wobei das reflektierende Element (**105**) eine Mehrzahl von Schichten umfasst, die abwechselnd eine hohe akustische Impedanz und eine niedrige akustische Impedanz aufweisen.

28. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 21, wobei das piezoelektrische Material Aluminiumnitrid (AlN) umfasst.

29. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 28, wobei das mindestens eine Seltenerd-Element in ein Kristallgitter des AlN piezoelektrischen Materials eingebaut ist.

30. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 28, wobei das mindestens eine Seltenerd-Element Scandium (Sc) umfasst.

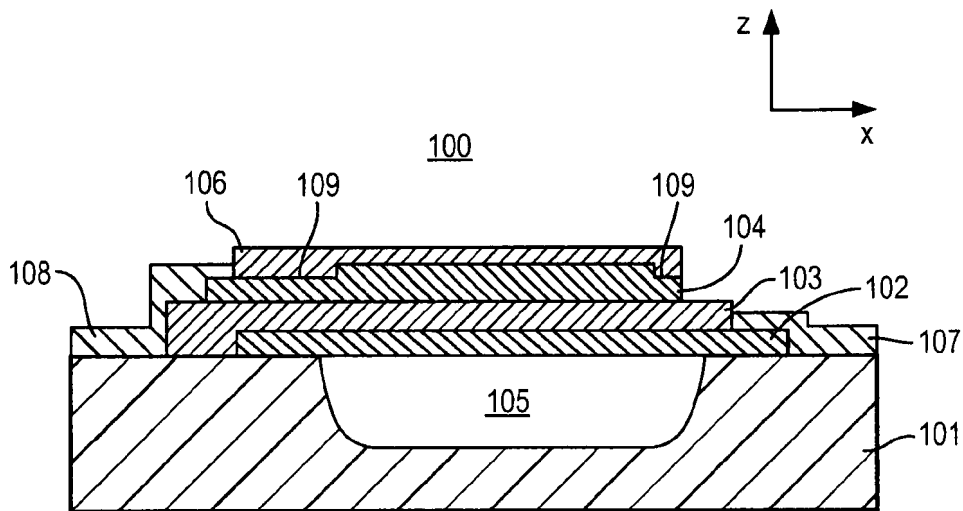
31. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 28, wobei das mindestens eine Seltenerd-Element zwei oder mehrere Seltenerd-Elemente umfasst, die in ein Kristallgitter des AlN piezoelektrischen Materials eingebaut sind.

32. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 31, wobei die mindestens zwei Seltenerd-Elemente Scandium (Sc) und Erbium (Er) umfassen.

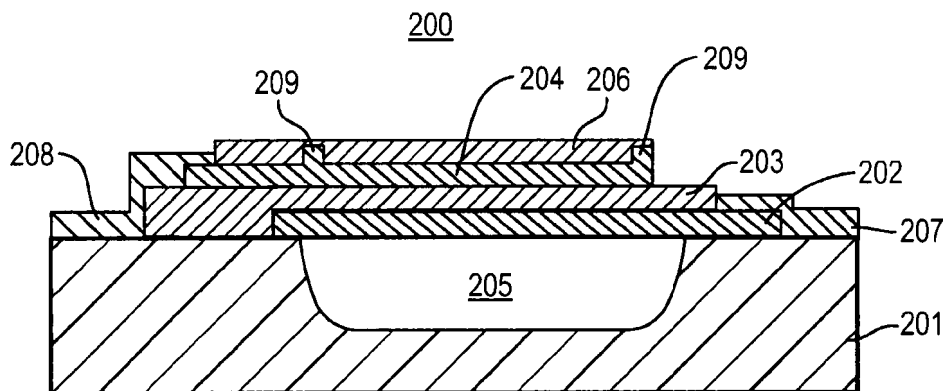
33. Ein BAW-Resonator (**100**) gemäß Anspruch 32, wobei die mindestens zwei Seltenerd-Elemente ferner Yttrium (Y) umfassen.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

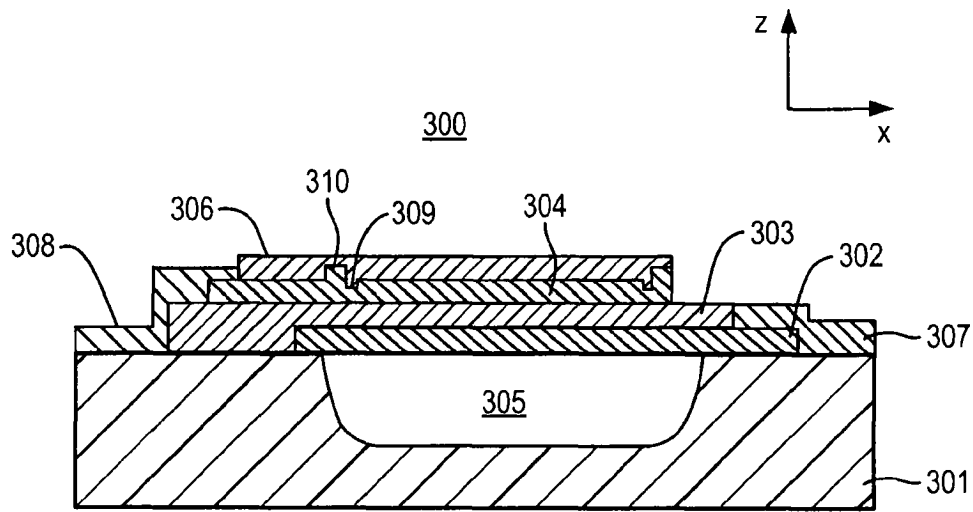
Anhängende Zeichnungen



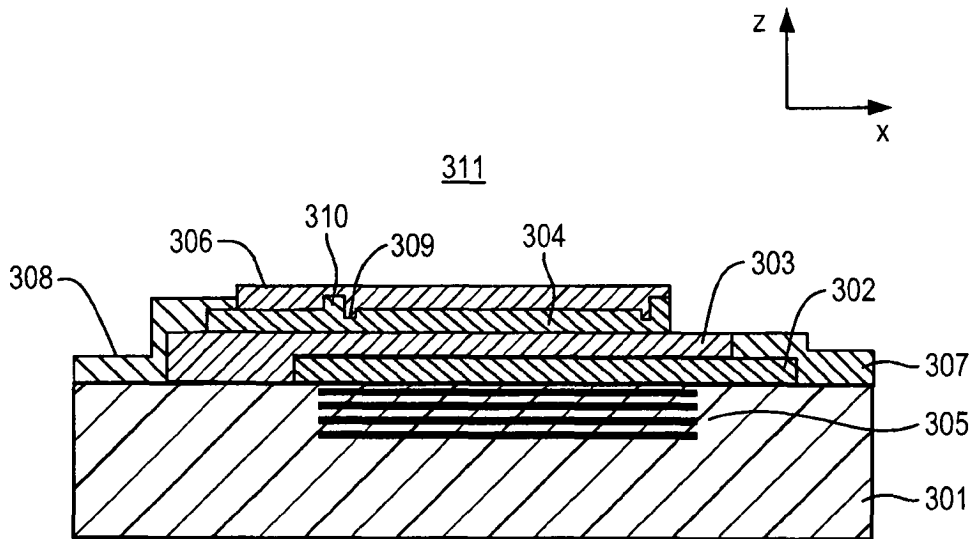
**Fig. 1**



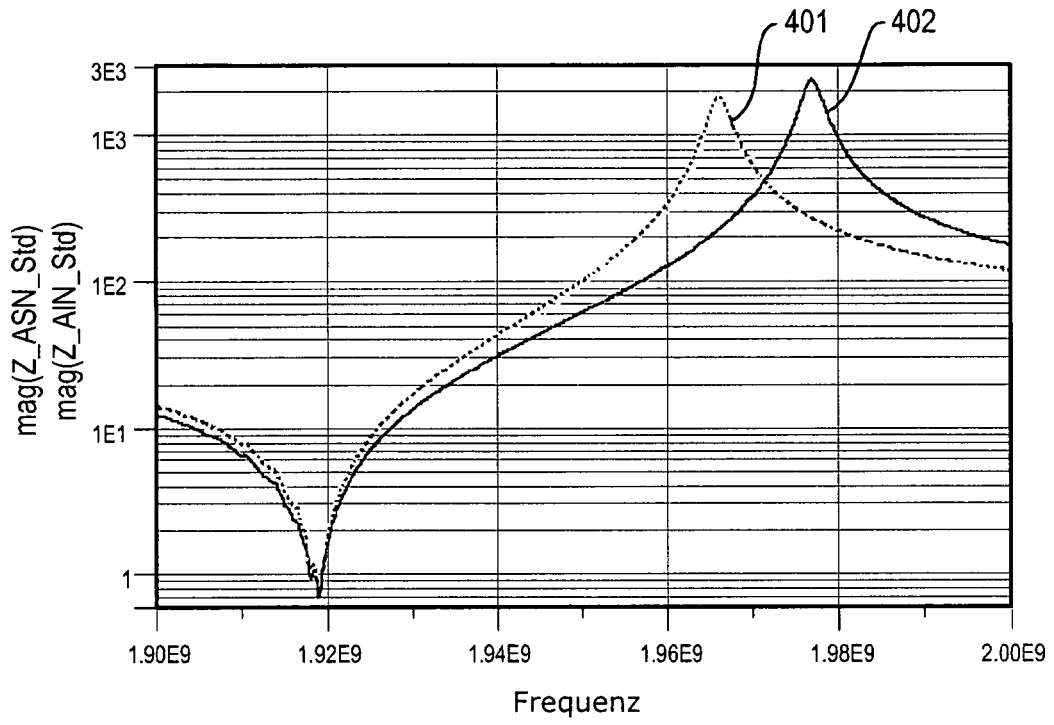
**Fig. 2**



**Fig. 3A**

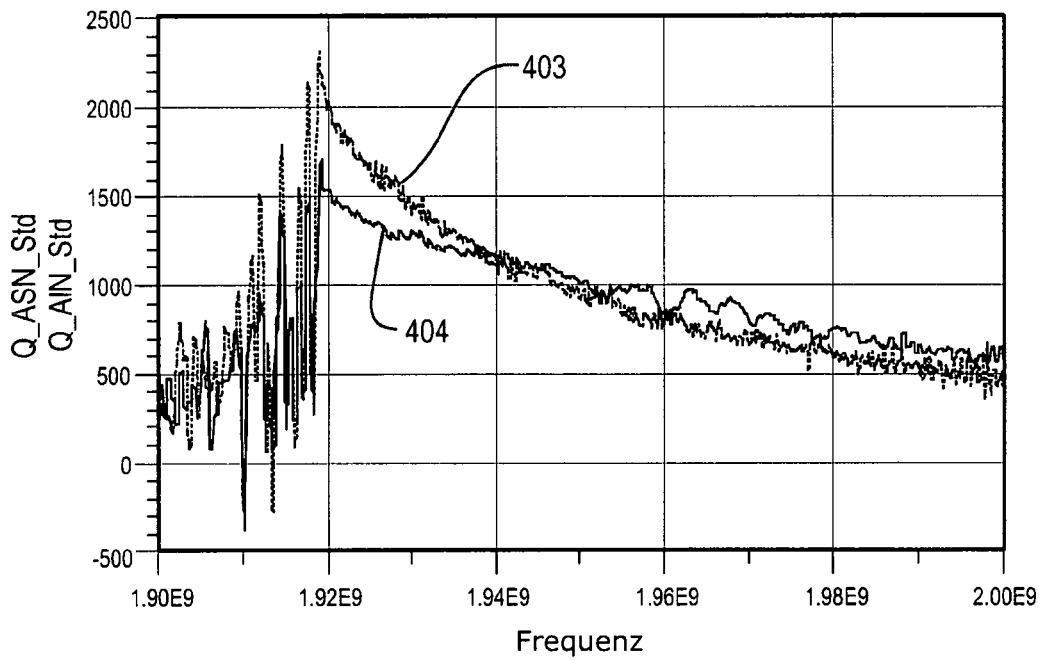


**Fig. 3B**

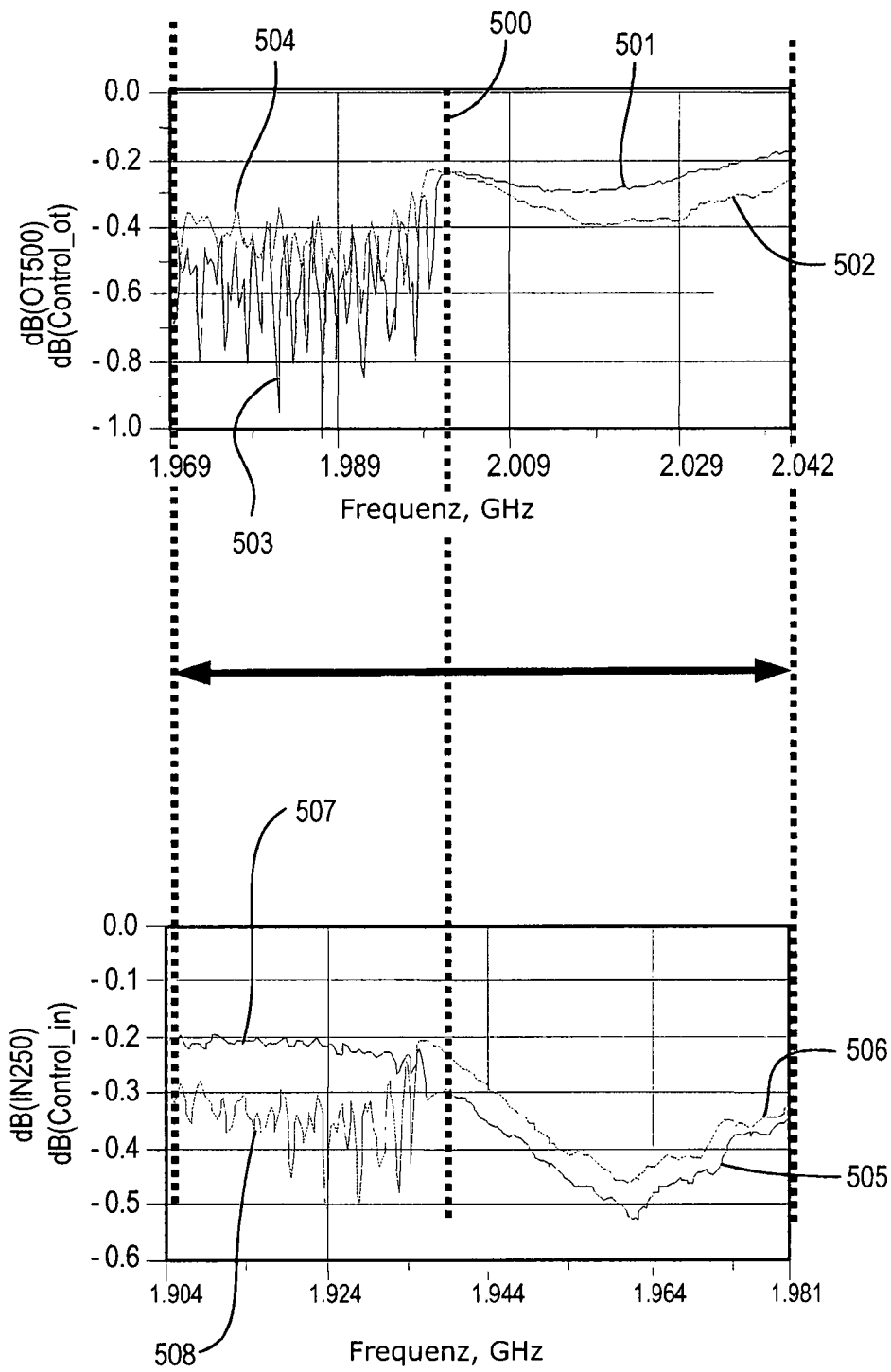


**Fig. 4A**

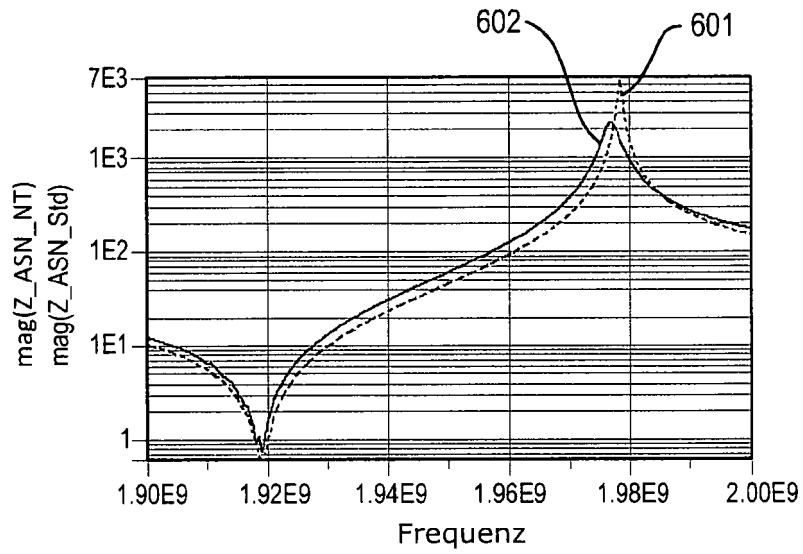
403



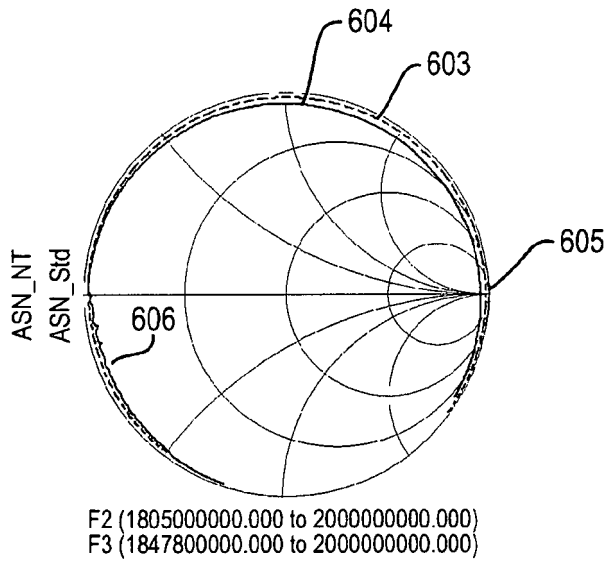
**Fig. 4B**



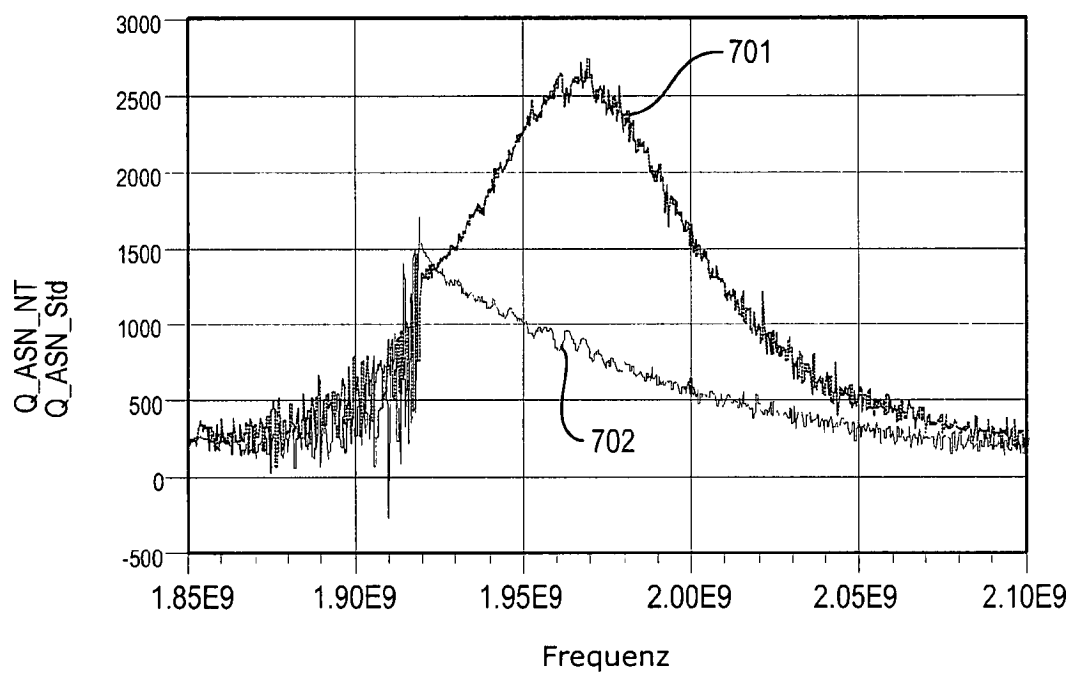
**Fig. 5**



**Fig. 6A**



**Fig. 6B**



**Fig. 7**