



(10) **DE 10 2011 119 660 B4** 2014.12.11

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 119 660.2**  
(22) Anmeldetag: **29.11.2011**  
(43) Offenlegungstag: **29.05.2013**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **11.12.2014**

(51) Int Cl.: **H03H 9/25 (2006.01)**  
**H03H 3/08 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**EPCOS AG, 81669 München, DE**

(74) Vertreter:  
**Epping Hermann Fischer,  
Patentanwalts-gesellschaft mbH, 80639 München,  
DE**

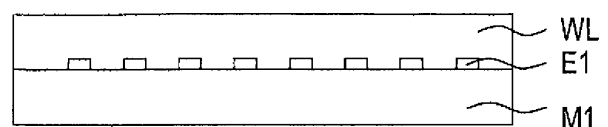
(72) Erfinder:  
**Jäger, Philipp Michael, 85598 Baldham, DE;  
Rösler, Ulrike, Dr., 85241 Hebertshausen, DE;  
Hauser, Markus, Dr., 82340 Feldafing, DE; Ruile,  
Werner, Dr., 80636 München, DE; Honal, Matthias,  
Dr., 81925 München, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

<b>DE</b>	<b>11 2007 001 259</b>	<b>T5</b>
<b>US</b>	<b>7 589 452</b>	<b>B2</b>
<b>US</b>	<b>2007 / 0 018 536</b>	<b>A1</b>

(54) Bezeichnung: **Mikroakustisches Bauelement mit Wellenleiterschicht**

(57) Hauptanspruch: Mikroakustisches Bauelement mit einem Wellenleiter (WG),  
– der eine Wellenleiterschicht (WL), die eine erste akustische Wellengeschwindigkeit VL und eine an die Wellenleiterschicht direkt angrenzende erste Mantelschicht (M1), in der eine zweite akustische Wellengeschwindigkeit VM1 gilt, aufweist  
– mit einer Elektrode (E1) zur Anregung einer akustischen Welle im Wellenleiter  
– bei dem für die Wellengeschwindigkeiten gilt  $VL < VM1$   
– bei dem die Wellenleiterschicht (WL) ein Glas ist das einen Bestandteil mit anormalem thermomechanischen Verhalten umfasst  
– bei dem die Wellenleiterschicht (WL) Germaniumdioxid, Chalkogenidglas oder Zinkmetaphosphat als Bestandteil aufweist.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein mikroakustisches Bauelement, das eine Wellenleiterschicht und dazu benachbart eine Mantelschicht aufweist.

**[0002]** Frequenzbestimmende Eigenschaften von mit akustischen Wellen arbeitenden Bauelementen wie z. B. SAW-Bauelementen (SAW = surface acoustic wave) zeigen zumeist eine Abhängigkeit von der Temperatur. So liegt beispielsweise der Temperaturkoeffizient der Mittenfrequenz (TCF) von SAW Bauelementen typisch bei z. B. 40 ppm/K. Dies liegt daran, dass bei Temperaturerhöhung in der Regel eine thermische Ausdehnung des Substrats stattfindet, die zu einer Vergrößerung des Elektrodenabstandes bei interdigitalen Wandlerstrukturen führt. Da dieser Abstand die Mittenfrequenz des Wandlers und damit des SAW-Bauelements bestimmt, erhöht sich damit auch die Wellenlänge, wobei sich die Mittenfrequenz erniedrigt. Verbunden mit der thermischen Ausdehnung ist jedoch auch eine Änderung der Schallgeschwindigkeit, da sich mit der Temperatur auch die Eigenschaften des Piezomaterials ändern. Hinzu kommt, dass die meisten üblicherweise verwendeten piezoelektrischen Wafer-Materialien eine starke Anisotropie zeigen und einen kristallachsenabhängigen Temperaturgang ihrer Eigenschaften aufweisen.

**[0003]** Aus der US 2007/0018536 A1 sind mikroakustische Bauelemente bekannt, die einen Mehrschichtaufbau zur Verbesserung des Temperaturkoeffizienten der Mittenfrequenz aufweisen.

**[0004]** Aus der DE 11 2007 001 259 T5 sind weitere mikroakustische Bauelemente bekannt, die neben einer Schicht zur Verbesserung der Temperaturcharakteristik noch eine Frequenzeinstellschicht aufweisen.

**[0005]** In dem US Patent 7 589 452 B2 wird ein mit akustischen Wellen arbeitendes Bauelement vorgeschlagen, welches verschiedene Maßnahmen zur Absenkung des Temperaturgangs (TK Kompensation) insbesondere der Resonanzfrequenz kombiniert. Das Bauelement weist auf der Oberseite elektrisch leitende Bauelementstrukturen und auf der Unterseite eine Kompensationsschicht auf, die mechanisch fest so mit dem Substrat verbunden ist, dass eine mechanische Verspannung entsteht, oder sich bei Temperaturänderung aufbaut. Über den Bauelementstrukturen ist eine relativ dicke SiO<sub>2</sub>-Schicht angeordnet. Nachteilig an dieser Lösung ist, dass die erforderliche Reflektivität der Elektroden nur mit schweren Elektroden erhalten wird. Selbst bei dieser Kombination von Temperaturgangkompensierenden Maßnahmen ist eine vollständige TK Kompensation nicht erreichbar.

**[0006]** Eine verbesserte Wellenführung kann bei mikroakustischen Bauelementen mit dickeren oder schwereren Elektroden erreicht werden, beispielsweise mit Metallen schwerer als Aluminium. Dafür geeignete Metalle haben jedoch den Nachteil, dass sie den Temperaturkoeffizienten (TCF) der Mittenfrequenz erhöhen und so insgesamt den TCF erhöhen. Bei der Herstellung dicker Elektroden erhält man eine breite Streuung der Eigenschaften. Außerdem zeigen solche Elektroden eine hohe Reflexion, lassen sich nur schwierig mit Deckschichten beschichten, die dann zum Einschluss von Hohlräumen (Lunkerbildung) neigen, und lassen sich schwer planarisieren. In den bisher bekannten Strukturen bindet die schwere Elektrode die akustische Wellenenergie an die Grenzfläche zum Piezomaterial. Dadurch befindet sich auch ein erheblicher Anteil der akustischen Energie in diesen Elektroden, was zu Problemen bei der Leistungsverträglichkeit führt.

**[0007]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein mikroakustisches Bauelement anzugeben, das eine Wellenleiterschicht und dazu benachbart eine Mantelschicht aufweist, das in seinem Temperaturkoeffizienten der Frequenz und/oder seinen Wellenleitereigenschaften verbessert ist.

**[0008]** Diese Aufgabe wird von einem mikroakustischen Bauelement mit den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus weiteren Ansprüchen hervor.

**[0009]** Das mikroakustische Bauelement weist einen Wellenleiter auf, der eine Wellenleiterschicht mit einer ersten akustischen Wellengeschwindigkeit VL umfasst. Direkt angrenzend an die Wellenleiterschicht ist eine erste Mantelschicht angeordnet, die eine zweite akustische Wellengeschwindigkeit VM1 aufweist. Zur Anregung einer akustischen Welle in der Wellenleiterschicht ist eine Elektrode vorgesehen. Um die akustische Welle innerhalb der Wellenleiterschicht zu führen, gilt für die Wellengeschwindigkeit:  $VL < VM1$ . Die Wellenleiterschicht umfasst ein Glas, das als einen Bestandteil ein Material aufweist, das anormales thermomechanisches Verhalten aufweist.

**[0010]** Es sind eine Reihe von Materialien mit anormalem thermomechanischen Verhalten bekannt, von denen bislang aber nur kristallines, amorphes oder glasartiges SiO<sub>2</sub> Anwendung bei mikroakustischen Bauelementen gefunden hat. Es werden nun weitere Materialien vorgeschlagen, die anormale thermomechanische Eigenschaften aufweisen und die in glasartiger Modifikation eingesetzt oder in ein Glas eingebettet werden können, welches als Wellenleiterschicht in einem Wellenleiter dient. Mit diesen Materialien lässt sich ein mikroakustisches Bauelement mit teilweiser oder sogar vollständiger Kompensati-

on der temperaturbedingten Frequenzverschiebungen erhalten.

**[0011]** Es wird eine Wellenleiterschicht mit Germaniumdioxid, Chalkogenidglas oder Zinkmetaphosphat als Bestandteil vorgeschlagen. Diese neuen Materialien ermöglichen es, die Wellenleitereigenschaften der Wellenleiterschicht zu modellieren und insbesondere zu optimieren. Eine Wellenleiterschicht mit Temperaturkompensation und verbesserten Wellenleitereigenschaften führt ungeachtet des thermomechanischen Verhaltens der Wellenleiterschicht zu einem mikroakustischen Bauelement, dessen Temperaturkoeffizient der Mittenfrequenz verbessert ist, da sich im besseren Wellenleiter ein höherer Wellenanteil innerhalb des Wellenleiters ausbreitet, so dass dessen thermomechanische Eigenschaften stärker auf die akustische Welle Einfluss nehmen als bei einem schlechteren Wellenleiter.

**[0012]** Vorteilhaft ist die erste Mantelschicht eine piezoelektrische Schicht oder ein piezoelektrisches Substrat. Die piezoelektrische Schicht kann auf einem nicht-piezoelektrischen Substrat, insbesondere auf einem kristallinen und da insbesondere auf einem Halbleitersubstrat aufgebracht sein. Das piezoelektrische Substrat ist vorzugsweise ein piezoelektrischer Kristall, beziehungsweise ein aus einem piezoelektrischen Monokristall geschnittener Wafer.

**[0013]** Eine Wellenleiterschicht mit verbessertem Kompensationseffekt der Temperaturkonstante der Mittenfrequenz umfasst beispielsweise Germaniumdioxid als Hauptbestandteil. Ein auf Germaniumdioxid basierendes Glas weist eine höhere Dichte auf als die bislang für Kompensationsschichten bekannten Siliziumdioxidschichten und führt daher zu einer höheren Massenbelastung auf der Mantelschicht beziehungsweise auf dem piezoelektrischen Substrat. Eine höhere Massenbelastung ist für die Wellenleitereigenschaften des Wellenleiters über einem piezoelektrischen Substrat oder einer piezoelektrischen Schicht insofern von Vorteil, als die höhere Massenbelastung eine bessere Führung der akustischen Welle, insbesondere einer akustischen Scherwelle an der Oberfläche des piezoelektrischen Substrats oder der piezoelektrischen Schicht bewirkt und ein Abtauchen der Scherwelle in das Volumen des Substrats hinein verhindert. Ein Wellenleiter, dessen Wellenleiterschicht eine höhere Massenbelastung als bekannte Wellenleiter erzeugt, führt zu geringeren Verlusten bei der Wellenausbreitung. Darüber hinaus ist auch die akustische Wellengeschwindigkeit in einem Material mit höherer Massenbelastung reduziert. Bei unveränderter bzw. gegebener Mantelschicht führt ein höherer Unterschied in der akustischen Wellengeschwindigkeit innerhalb von Wellenleiter und Mantelschicht zu verbesserten Wellenleitereigenschaften.

**[0014]** Gegenüber einer Wellenleiterschicht aus  $\text{SiO}_2$  lassen sich die gleichen Wellenleitereigenschaften bereits mit einer dünneren Schicht germaniumoxidhaltigen Glases realisieren. Dünnere Schichten erfordern in der Herstellung kürzere Prozesszeiten und zeigen daher eine niedrigere Fertigungsschwankung, insbesondere bezüglich der Schichtdickengleichmäßigkeit und Schichtdickenkontrolle.

**[0015]** Mit den verbesserten Wellenleitereigenschaften ist auch die Verwendung dünnerer und leichter Elektroden sinnvoll möglich. Damit werden alle Probleme vermieden, die mit dicken und/oder schweren Elektroden bisher in Kauf zu nehmen waren. Mit der verbesserten Wellenleitung und der Möglichkeit, die germaniumhaltige Glasschicht dicker zu gestalten, wird eine stärkere TK-Kompensation möglich, die deutlich besser ist als die bislang mit  $\text{SiO}_2$ -Wellenleiterschichten erzielte TK-Kompensation. In einer Ausführung umfasst die Wellenleiterschicht Germaniumoxidhaltige Gläser. Germaniumdioxid ist ein guter Glasbildner und erfordert zum Ausbilden des Glaszustands keinerlei Zuschläge. Möglich ist es jedoch, dass die Wellenleiterschicht ein Glas umfasst, welches Glasbildner und/oder sonstige übliche Glaszuschläge enthält, die insbesondere die Fließ- und Schmelzeigenschaften des Glases bestimmen beziehungsweise modifizieren. Solche Glasbildner und/oder Glaszuschläge für ein germaniumdioxidhaltiges Glas oder ein anderes Glas, dessen Hauptbestandteil ein Material mit einem normalen thermomechanischen Verhalten umfasst, sind beispielsweise ausgewählt aus ... (siehe Auswahl Anspruch 5).

**[0016]** In einer Ausführung enthält die Wellenleiterschicht als Hauptbestandteil ein Chalkogenid oder ein Zinkmetaphosphat. Mit beiden Materialien kann ein Glas erhalten werden, welches als Wellenleiterschicht eingesetzt eine gegenüber  $\text{SiO}_2$  erhöhte Massenbelastung erzeugt. Gleichzeitig sind Chalkogenidglas und Zinkmetaphosphatglas Materialien mit anormalem thermomechanischen Verhalten. Dies bedeutet, dass sie, eingesetzt in mikroakustischen Bauelementen, einen positiven Koeffizienten der Mittenfrequenz aufweisen und so eine Kompensation der temperaturbedingten Frequenzdrift des mikroakustischen Bauelements bewirken.

**[0017]** In einer weiteren Ausführung des Bauelements wird der Wellenleiter dadurch verbessert, dass die Wellenleiterschicht zwischen der ersten Mantelschicht und einer zweiten Mantelschicht eingebettet ist. Für Wellengeschwindigkeit VM2 der zweiten Mantelschicht gilt ebenso wie für die Wellengeschwindigkeit innerhalb der ersten Mantelschicht, dass sie höher ist als die Wellengeschwindigkeit VL in der Wellenleiterschicht. In einem solchen beidseitig von einer Mantelschicht begrenzten Wellenleiter findet eine verbesserte Wellenleitung statt. Gegenüber einem Wellenleiter, dessen Wellenleiterschicht nur ei-

ne Grenzfläche zu einer (ersten) Mantelschicht und eine weitere Grenzfläche gegen Luft oder Vakuum aufweist, hat dieser sandwichartige und drei Schichten umfassende Wellenleiter eine geringere Empfindlichkeit gegenüber äußeren auf den Wellenleiter einwirkenden Einflüssen. Eine mechanische Einwirkung auf die Wellenleiterschicht selbst kann zu einer veränderten Wellenleitung oder zu einem Lecken des Wellenleiters führen. Dies wird mit zwei Mantelschichten, die die Wellenleiterschicht beidseitig begrenzen, verhindert.

**[0018]** Mit einer verbesserten Wellenleitung ist es möglich, dünnere und damit leichtere Elektroden im mikroakustischen Bauelement zu verwenden. Diese Elektroden sind üblicherweise in direktem Kontakt zum piezoelektrischen Substrat beziehungsweise zur piezoelektrischen Schicht angeordnet und befinden sich damit zwischen erster Mantelschicht und Wellenleiterschicht.

**[0019]** Ein Bauelement mit erfindungsgemäßer dreischichtiger Wellenleiterschicht ermöglicht es, eine unbegrenzte Anzahl weiterer Schichten auf dem Wellenleiter anzuordnen, ohne die Eigenschaften des Wellenleiters zu beeinträchtigen. Es ist insbesondere möglich, einen weiteren Wellenleiter über dem ersten Wellenleiter anzuordnen und diesen zur Konstruktion eines weiteren Filters zu verwenden. Damit wird ein Stacked Filter erhalten, dessen beide Einzelfilter jeweils temperaturkompensiert sind.

**[0020]** Für die zweite Mantelschicht ist die Auswahl dafür geeigneter Materialien größer als für die erste Mantelschicht, so dass beliebige andere Dielektrika eingesetzt werden können, die die Eigenschaften des mikroakustischen Bauelements weiter verbessern. Solche Strukturen mit weiteren Dielektrika können eine verbesserte Trimmbarkeit aufweisen, da aufgrund der Wellenleitung der Wellenleiterschicht mehr akustische Wellenergie an der Grenzschicht zwischen Wellenleiterschicht und zweiter Mantelschicht vorhanden ist. Dies ist insbesondere ein wesentlicher Unterschied zur Wellenanbindung an die Grenzschicht der Wellenleiterschicht zur ersten Mantelschicht mittels schwerer Elektroden. Damit sind exaktere Trimmprozesse möglich, mit deren Hilfe die Frequenz auch besser auf einem bestimmten Wert geregelt werden kann. Das Material der zweiten Mantelschicht kann so gewählt werden, dass ein Geschwindigkeitssprung der akustischen Welle zwischen der Wellenleiterschicht und der zweiten Mantelschicht größer ist als zwischen erster Mantelschicht und Wellenleiterschicht. Die Verhältnisse können jedoch auch umgekehrt sein.

**[0021]** Die zweite Mantelschicht kann als Hauptbestandteil ein Material umfassen, welches ausgewählt ist aus DLC (Diamond Like Carbon),  $\text{SiO}_x\text{N}_y$ , BN, a-CH, Ge, Si,  $\text{TiO}_2$ , WC, AlN, ZnO, SiN,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{SiO}_2$ .

**[0022]** Durch diese Freiheit der Auswahl ist es möglich, der zweiten Mantelschicht ein breites Spektrum an Eigenschaften zu verleihen, beziehungsweise die Mantelschicht entsprechend einer gewünschten Eigenschaft auszuwählen.

**[0023]** In einer bevorzugten Ausführung ist die erste Mantelschicht ein Piezomaterial, welches ausgewählt ist aus  $\text{LiNbO}_3$ ,  $\text{KNbO}_3$ ,  $\text{NaNbO}_3$ ,  $\text{LiTaO}_3$ , Quarz, ZnO, AlN, ScAlN,  $\text{LiB}_4\text{O}_7$ ,  $\text{GaPO}_4$ , Langasit, Langanit, Langatit PZT (Bleizirkonattitanat) und RECOB (Calciumoxoborat von RE), wobei RE ein Element oder eine Mischung aus mehreren Elementen der seltenen Erden ist.

**[0024]** Neben den Familien der Langasite (LGS =  $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ), Langanite (LGN =  $\text{La}_3\text{Ga}_{5,5}\text{Nb}_{0,5}\text{O}_{14}$ ) und Langatate (LGT =  $\text{La}_3\text{Ga}_{5,5}\text{Ta}_{0,5}\text{O}_{14}$ ) sind auch Mischkristalle aus diesen drei Familien geeignet. Beispiele dafür sind CNGS (=  $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ ), CTGS (=  $\text{Ca}_3\text{TaGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ ), SNGS (=  $\text{Sr}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ ), STGS (=  $\text{Sr}_3\text{TaGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ ), NGS (=  $\text{Nd}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ), LGAS (=  $\text{La}_3\text{Al}_x\text{Ga}_{5-x}\text{SiO}_{14}$ ) mit  $1 \leq x \leq 0$ , SGG (=  $\text{Sr}_3\text{Ga}_2\text{GeO}_{14}$ ), NCG (=  $\text{Na}_2\text{CaGe}_6\text{O}_{14}$ ), REGS (wobei RE ein Element der seltenen Erden ist, beispielsweise Pr entsprechend PGS =  $\text{Pr}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ) und BTGS (=  $\text{Ba}_3\text{TaGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ ). Auch für PZT sind substituierte Familienmitglieder geeignet, bei denen Blei, Zirkonium oder Titan durch entsprechende substituierende Elemente ausgetauscht sind.

**[0025]** Die zweite eine Piezoschicht umfassende Mantelschicht kann auf einem Trägersubstrat aufgebracht sein. Möglich ist es auch, zwischen diesem Trägersubstrat und der Piezoschicht eine oder mehrere Zwischenschichten anzuordnen. Solche Zwischenschichten sind insbesondere dielektrische Schichten die für eine bessere Haftung zwischen Piezoschicht und Trägersubstrat, für ein besseres Wachstum der Piezoschicht oder für eine Barrierewirkung als Diffusionssperrschicht eingesetzt werden.

**[0026]** Die Elektrode des mikroakustischen Bauelements kann eine flächige Elektrode sein, wie sie insbesondere für BAW-Bauelemente Einsatz findet. Die Elektrode kann aber auch eine Interdigitalelektrode sein, wie sie in SAW- und GBAW-Bauelementen verwendet werden kann.

**[0027]** Die Elektrode umfasst zumindest ein leitfähiges Material, insbesondere ein Metall oder eine Legierung, deren Bestandteile zum Beispiel ausgewählt sein können aus Al, Cu, Au, Ag, Pt, Pd, W, Ni, Mo, Nb, V, Ti, Cr, Mg, Fe, Ir, Ru, Ra, Os und hochdotierten Halbleitern wie insbesondere poly-Si und poly-Ge.

**[0028]** Die Elektroden können aus einer einheitlichen Schicht bestehen. Möglich ist es auch, die Elektroden mehrschichtig auszuführen wobei unterschiedliche Schichten unterschiedliche leitfähige Ma-

terialien und unterschiedliche Schichtdicken aufweisen können.

**[0029]** Unabhängig von der Technologie (SAW, BAW, GBAW) kann das vorgeschlagene Bauelement als Filter, Duplexer, Resonator, Sensor, Resonatorfilter, Modul, Bandsperre oder Notchfilter ausgebildet sein.

**[0030]** Das Bauelement kann auch ein mikroakustisches Bauelement sein, welches nicht auf einem Piezomaterial basiert oder ein solches nicht beinhaltet. Ein mikroakustisches Bauelement kann beispielsweise auch ein Siliziummikroresonator sein, also ein dielektrischer Resonator. Solche dielektrische Resonatoren bestehen beispielsweise aus einem mit Elektroden beschichteten dielektrischen Material insbesondere einen Kristall. Auch Halbleiter sind für dielektrische Resonatoren geeignet.

**[0031]** Ein mit einer Wellenleiterschicht ausgestattetes mikroakustisches Bauelement kann auch ein SAW-Bauelement sein, bei dem die Interdigitalelektrode zumindest zum Teil in die Wellenleiterschicht eingebettet ist. Dabei ist es möglich, dass die Oberfläche der Interdigitalelektrode und mit der Wellenleiterschicht zusammen eine plane Oberfläche bildet.

**[0032]** Die Elektrode kann auch auf einer Mesastruktur angeordnet sein, die in der darunter angeordneten Mantelschicht ausgebildet ist. Dabei ist zwischen den Elektrodenfingern der Interdigitalelektrode das Piezomaterial bzw. das Material der ersten Mantelschicht bis zu einer gegebenen Tiefe entfernt. Die Elektrodenfinger der Interdigitalelektrode und die Mesastruktur bilden dabei eine gemeinsame Kante. Die Wellenleiterschicht hat dann über der Mantelschicht eine solche Höhe, dass die Elektrode zumindest teilweise einbettet. Mit einer solchen Ausgestaltung ist es möglich, die Reflektivität der Interdigitalelektrode z. B. über die genannte Tiefe auf einen bestimmten Wert einzustellen, um die Gesamteigenschaften der Wellenleiterschicht zu optimieren.

**[0033]** Möglich ist es auch, die Interdigitalelektrode in der ersten Mantelschicht zu versenken und z. B. am Boden eines Grabens in der ersten Mantelschicht anzuordnen. Erste Mantelschicht und Interdigitalelektrode können zusammen eine plane Oberfläche ergeben, auf der dann die wellenleiterschicht angeordnet ist. Es ist aber auch möglich, dass der restliche Graben über der Elektrode mit der Wellenleiterschicht ausgefüllt ist, die dann zusätzlich noch die gesamte Oberfläche der Mantelschicht bedeckt. Weiter sind auch Mischformen dieser Ausgestaltungen möglich, bei denen die Interdigitalelektrode beispielsweise nur teilweise in die erste Mantelschicht versenkt ist.

**[0034]** Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Elektrode im Abstand über der Oberfläche der ersten

Mantelschicht anzuordnen und sie von allen Seiten mit der Wellenleiterschicht zu umgeben, so das sie vollständig darin eingebettet ist.

**[0035]** Das Bauelement kann als BAW-Resonator ausgebildet sein. In einer Ausführung ist die Wellenleiterschicht dann zwischen dem Substrat des BAW-Resonators und einer Bodenelektrode des Resonators angeordnet. Die Bodenelektrode kann dann die zweite Mantelschicht des Wellenleiters bilden.

**[0036]** Der Wellenleiter kann als Sandwich aus erster Mantelschicht, Wellenleiterschicht und zweiter Mantelschicht ausgebildet sein und Teil eines akustischen Spiegels bilden, der zwischen dem Substrat und der Bodenelektrode eines BAW-Resonators angeordnet ist. Ein akustischer Spiegel umfasst üblicherweise Schichten mit alternierend relativ hoher und relativ niedriger akustischer Impedanz. Auf diese Weise fungieren die Grenzflächen mit Impedanzsprung als Reflektoren, so dass bei geeigneter Wahl der Schichtdicken durch Interferenz verschiedener reflektierter Wellenanteile eine Auslöschung bestimmter Frequenzen erfolgen kann. Vorzugsweise weisen die Teilschichten eines akustischen Spiegels eine Dicke von circa einem Viertel der Wellenlänge der auszulöschenden Welle auf.

**[0037]** Bei einem in einem akustischen Spiegel integrierbaren Wellenleiter sind die Mantelschichten und die Wellenleiterschicht im Hinblick auf große Impedanzunterschiede ausgewählt.

**[0038]** In einer bevorzugten Anordnung ist die Wellenleiterschicht Teil eines GBAW-Bauelements. Ein solches, mit geführten akustischen Volumenwellen arbeitendes Bauelement ist auf einem ersten Substrat aufgebaut, welches zumindest als oberste Schicht eine Piezoschicht aufweist. Das erste Substrat kann auch ein Piezokristall sein. Piezoschicht oder Piezokristall können als erste Mantelschicht dienen. Auf der ersten Mantelschicht ist eine Elektrode angeordnet, die flächig ausgebildet sein kann oder die eine Interdigitalelektrode ähnlich wie bei einem SAW-Bauelement ist.

**[0039]** Über der Elektrode ist die Wellenleiterschicht angeordnet, die erfindungsgemäß ein Glas mit einem Hauptbestandteil umfasst, der ein anormales thermomechanisches Verhalten aufweist. Die Schichtdicke der Wellenleiterschicht kann 1–100%, vorzugsweise 5–50% der Wellenlänge der in der im Wellenleiter ausbreitungsfähigen Welle bei Mittenfrequenz entsprechen.

**[0040]** Auf der das Glas umfassenden Wellenleiterschicht ist die zweite Mantelschicht angeordnet. Diese kann eine weitere Dünnschicht sein. Möglich ist es jedoch auch, ein zweites Substrat als zweite Mantelschicht einzusetzen. Dieses kann mit einem geeig-

neten verbindungsverfahren über der Wellenleiterschicht aufgebracht und mit dieser verbunden sein. Möglich ist es jedoch auch, zur Herstellung eine Schichtabscheidung auf dem zweiten Substrat durchzuführen, die zumindest die Wellenleiterschicht umfasst.

**[0041]** Bei einem GBAW-Bauelement ist es möglich, oberhalb des zweiten Substrats eine zweite Wellenleiterschicht, darüber eine weitere Elektrode und darüber ein zweites Substrat aufzubringen, so dass dadurch ein zweites mit akustischen Wellen arbeitendes Bauelement realisiert ist. Der Wellenleiter des zweiten akustischen Bauelements und der Wellenleiter des ersten mikroakustischen Bauelements nutzen die zweite Mantelschicht als gemeinsame Mantelschicht. Eine solche Ausführung ist zeit-, material- und kostensparend. Es können so hoch integrierte Bauelemente mit verringertem Platz- und Volumenbedarf erhalten werden.

**[0042]** Für zwei solche gestapelte Bauelemente ist es möglich, unterschiedliche Wellenleiterschichten in den beiden Wellenleitern einzusetzen. Dies ermöglicht es beispielsweise, ein erstes Bauelement mit überkompensierten Temperaturgang TK und ein zweites Bauelement mit nicht kompensiertem TK auszustatten, welches dann einen negativen Temperaturkoeffizienten der Mittenfrequenz TCF aufweist. Durch Optimierung von Wellenleiter und Elektrode ist es möglich, die temperaturbedingten Abweichungen in beiden Bauelementen symmetrisch um den Nullwert einzustellen, so dass bei geeigneter Verschaltung der beiden Bauelemente ein vollkompensiertes kombiniertes Bauelement erhalten wird.

**[0043]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und dazugehöriger Figuren näher erläutert. Die Figuren sind schematisch und nicht maßstabgetreu ausgeführt, geben daher auch keine realen Größenverhältnisse wieder.

**[0044]** Fig. 1A und Fig. 1B zeigen einfache Ausführungen mikroakustischer Bauelemente mit Interdigitalelektrode beziehungsweise mit flächiger Elektrode im Querschnitt.

**[0045]** Fig. 2 zeigt im Querschnitt ein Bauelement mit einer auf einer Piezoschicht aufgebrachten Interdigitalelektrode und einen Wellenleiter, der eine zweite Mantelschicht umfasst.

**[0046]** Fig. 3 zeigt im Querschnitt ein ähnliches Bauelement wie Fig. 2, bei dem jedoch die Interdigitalelektrode in das Substrat versenkt ist.

**[0047]** Fig. 4 zeigt eine Variation, bei der die Elektrode teilweise in das Substrat versenkt ist.

**[0048]** Fig. 5 zeigt ein Bauelement im Querschnitt, bei dem die Wellenleiterschicht den Konturen der Elektrode folgt.

**[0049]** Fig. 6 zeigt im Querschnitt ein gestapeltes Bauelement aus zwei GBAW-Bauelementen, die die zweite Mantelschicht gemeinsam nutzen.

**[0050]** Fig. 7 zeigt einen BAW-Resonator im Querschnitt, bei dem der Wellenleiter Teil des akustischen Spiegels zwischen Resonator und Substrat ist.

**[0051]** Fig. 8 zeigt den simulierten TCF für eine Referenzstruktur und fünf verschiedene Ausführungsbeispiele.

**[0052]** Fig. 9 zeigt den TCF für fünf weitere simulierte Ausführungsbeispiele.

**[0053]** Fig. 10 zeigt die simulierte Eindringtiefe der Welle in den Wellenleiter gemäß dem Referenzbeispiel.

**[0054]** Fig. 11 zeigt die simulierte Eindringtiefe der Welle in den Wellenleiter gemäß Ausführungsbeispiel V6.

**[0055]** Fig. 12 zeigt die simulierte Eindringtiefe der Welle in den Wellenleiter gemäß Ausführungsbeispiel VE.

**[0056]** Fig. 1A zeigt ausschnittsweise einen schematischen Querschnitt durch ein mikroakustisches Bauelement mit einem einfach aufgebauten Wellenleiter. Der Wellenleiter umfasst eine erste Mantelschicht M1 und darüber angeordnet eine Wellenleiterschicht WL. Die erste Mantelschicht ist eine piezoelektrische Schicht oder ein piezoelektrisches Substrat. zur Anregung einer akustischen Welle ist zwischen erster Mantelschicht M1 und Wellenleiterschicht WL eine interdigital ausgeführte Elektrode E1 angeordnet. Das mikroakustische Bauelement ist beispielsweise ein SAW-Bauelement auf einem Lithiumniobat- oder Lithiumtantalsubstrat. Die Wellenleiterschicht WL umfasst ein glasartiges Material, dessen Hauptbestandteil ein Material mit negativem Temperaturkoeffizienten der Mittenfrequenz ist.

**[0057]** Fig. 1B zeigt ausschnittsweise anhand eines schematischen Querschnitts ein weiteres mikroakustisches Bauelement mit einem Wellenleiter. Das Bauelement umfasst eine erste Mantelschicht M1, eine Wellenleiterschicht WL und eine erste, flächig auf der Wellenleiterschicht WL aufgebrachte Elektrode E1. Die Erzeugung akustischer Wellen gelingt mit einem in der Fig. 1B nicht dargestellten Resonator, dessen erste Elektrode die Elektrode E1 ist. Ein solcher Resonator kann auf der Basis eines piezoelektrischen Materials oder eines anderen dielektrischen Kristalls ausgebildet sein.

**[0058]** Fig. 2 zeigt ausschnittsweise anhand eines schematischen Querschnitts ein mikroakustisches Bauelement entsprechend Fig. 1A, bei dem der Wellenleiter WL nun zusätzlich mit einer zweiten Mantelschicht M2 abgedeckt ist. Die erste Elektrode E1 ist interdigital ausgebildet und auf der ersten Mantelschicht M1 angeordnet, die ein piezoelektrische Schicht oder als piezoelektrisches Substrat ausgebildet ist. Das Material der zweiten Mantelschicht M2 unterscheidet sich regelmäßig von dem der ersten Mantelschicht M1, gehorcht aber lediglich der Bedingung, dass die akustische Geschwindigkeit innerhalb der zweiten Mantelschicht größer ist als diejenige in der Wellenleiterschicht WL. Auch innerhalb der ersten Mantelschicht M1 der Ausführungsbeispiele gemäß der Fig. 1 bis Fig. 3 ist die akustische Wellengeschwindigkeit innerhalb der ersten Mantelschicht größer als in der Wellenleiterschicht WL.

**[0059]** Fig. 3 zeigt ausschnittsweise einen schematischen Querschnitt durch ein weiteres mikroakustisches Bauelement, welches ähnlich wie das in Fig. 2 dargestellte ausgebildet ist, bei dem jedoch die erste Elektrode E1 in die erste Mantelschicht M1 versenkt ist, so dass die interdigitale erste Elektrode E1 und erste Mantelschicht M1 eine gemeinsame plane Oberfläche ausbilden, auf der die Wellenleiterschicht WL angeordnet ist.

**[0060]** Fig. 4 zeigt eine weitere Abwandlung für die Ausführung eines solchen mikroakustischen Bauelements, bei der die erste interdigital ausgebildete Elektrodenerschicht E1 nur teilweise in die erste Mantelschicht M1 eingebettet ist.

**[0061]** Fig. 5 zeigt ausschnittsweise einen schematischen Querschnitt durch ein SAW-Bauelement. Hier ist eine interdigitale erste Elektrode E1 auf einer Mantelschicht M1 angeordnet, welche ein piezoelektrisches Substrat darstellt. Die Wellenleiterschicht WL ist oberflächenkonform mittels eines isotropen Verfahrens abgeschieden und folgt somit den Konturen der interdigitalen ersten Elektrode E1. Eine solche Ausgestaltung der Wellenleiterschicht WL hat den Vorteil, dass sich über den Elektrodenfingern der interdigitalen ersten Elektrode E1 Mesastrukturen aus der Wellenleiterschicht WL ausbilden, an deren Seitenkanten Reflexionen stattfinden können. Dies erhöht die Reflektivität der ersten Elektrode E1, die durch das Aufbringen der Wellenleiterschicht WL reduziert war. Somit wirken Reflexion an den Elektrodenfingern der ersten Elektrode E1 und Reflexion an den Kanten der mesaartigen Strukturen der Wellenleiterschichten WL zusammen und bilden eine Gesamreflexion für akustische Wellen. Die Reflexion der ersten Elektrode E1 innerhalb der Wellenleiterschicht WL ist gegenüber einer nicht mit einer Wellenleiterschicht versehenen Elektrode reduziert, weil der Geschwindigkeitsunterschied der Welle zwischen der Elektrode einerseits und der Wellenleiterschicht

WL beziehungsweise Luft oder Vakuum andererseits für den ersten genannten Fall wesentlich größer ist.

**[0062]** Über der strukturierten Wellenleiterschicht WL gemäß Fig. 5 kann eine zweite Mantelschicht abgeschieden werden.

**[0063]** Möglich ist es jedoch auch, die Wellenleiterschicht WL durch mechanisches Abschleifen oder durch einen planarisierenden Ätzprozess soweit abzutragen, dass zum einen eine plane Oberfläche der Wellenleiterschicht entsteht und dass zum anderen in dieser Oberfläche die Oberseiten der ersten Elektrodenerschicht E1 freigelegt sind, die zusammen mit der verbleibenden Wellenleiterschicht WL eine gemeinsame plane Oberfläche bilden.

**[0064]** In weiterer Ausgestaltung der Erfindung kann die Topographie auf der Oberfläche der Wellenleiterschicht WL durch nachträgliche Strukturierung und andere Maßnahmen gestaltet werden. Variiert werden dabei die Periode, die relative Fingerbreite, die Kantenwinkel bzw. die Kantenform der Erhebungen an der Oberfläche der Wellenleiterschicht WL.

**[0065]** Außerdem wurde gefunden, dass über eine Variation des Kantenwinkels der Metallisierungsstrukturen, also der Elektrodenfinger selbst eine verbesserte Schichtabscheidung der Wellenleiterschicht WL und insbesondere eine bessere Kantenbedeckung möglich ist. Während bekannte Wellenleiterschichten ab einer bestimmten Schichtdicke stark zu Rissen neigen, wird mit einem von  $90^\circ$  abweichenden Kantenwinkel der Metallisierung und damit einer diesem Kantenwinkel folgenden Topographie der Wellenleiterschicht WL entgegengewirkt und so Risse vermieden. Eine Wellenleiterschicht WL über Elektrodenstrukturen mit schrägen und beispielsweise  $75^\circ$  geneigten Kantenwinkeln weist deutlich weniger Risse auf als eine Schicht gleicher Dicke mit üblichen Kantenwinkeln von  $90^\circ$ . Alternativ kann mit einem Kantenwinkel der Elektrodenfinger kleiner  $90^\circ$  die Schichtdicke der Wellenleiterschicht WL erhöht und die Kompensation des TCF verbessert werden, ohne dass dabei verstärkt Risse auftreten.

**[0066]** Fig. 6 zeigt ausschnittsweise einen schematischen Querschnitt durch ein gestapeltes GBAW-Bauelement. Dazu ist ein erstes GBAW-Bauelement, welches beispielsweise entsprechend Fig. 2 ausgebildet ist und eine erste Mantelschicht M1, eine erste Elektrodenerschicht E1 auf der Mantelschicht, eine Wellenleiterschicht WL1 und eine zweite Mantelschicht M2 aufweist, die zusammen einen Wellenleiter WG1 bilden. Die erste Mantelschicht M1 wird durch das piezoelektrische Substrat beziehungsweise die piezoelektrische Schicht des GBAW-Bauelements gebildet. Über der zweiten Mantelschicht M2 ist eine zweite Wellenleiterschicht WL2 ausgebildet, über der die dritte Mantelschicht M3 angeordnet ist. Zwischen der

zweiten Wellenleiterschicht WL2 und der dritten Mantelschicht M3 ist die zweite Elektrode E2 angeordnet, vorzugsweise auf der planen Oberflächen der dritten Mantelschicht M3.

**[0067]** Das zweite GBAW-Bauelement umfasst nun einen zweiten Wellenleiter WG2, der die zweite Mantelschicht M2 gemeinsam mit dem ersten Wellenleiter WG1 nutzt. Das Bauelement kann symmetrisch zur zweiten Mantelschicht M2 ausgebildet sein. Möglich ist es jedoch auch, die beiden Wellenleiter mit unterschiedlichen Materialien oder anderen unterschiedlichen Eigenschaften auszubilden. Insbesondere können sich erstes und zweites GBAW-Bauelement in der Mittenfrequenz, im Material der Wellenleiterschicht WL sowie in den Schichtdicken oder dem Elektrodenmaterial unterscheiden. Insbesondere ist es möglich, die zweite Wellenleiterschicht WL2 mit einem anderen Temperaturkoeffizienten der Mittenfrequenz auszugestalten als die erste Wellenleiterschicht WL1. Auch ist es möglich, erstes und zweites Bauelement miteinander zu verschalten.

**[0068]** Fig. 7 zeigt ausschnittsweise anhand eines schematischen Querschnitts ein als BAW-Resonator ausgebildetes mikroakustisches Bauelement. Das Bauelement ist auf einem als Träger dienenden Substrat SU angeordnet. Dieser umfasst ein mechanisch festes, vorzugsweise kristallin ausgebildetes Material, insbesondere einen Halbleiter wie kristallines Silizium. Möglich sind jedoch auch andere Substratmaterialien.

**[0069]** Über dem Substrat SU ist zunächst ein akustischer Spiegel AS ausgebildet, der alternierend Schichten mit relativ hoher und relativ niedriger akustischer Impedanz umfasst. Für die Spiegelwirkung wird zumindest ein Paar solcher Hoch- und Niederimpedanzschichten benötigt, deren Dicke in der Regel circa ein Viertel der zu reflektierenden Wellenlänge beträgt. Im vorliegenden Fall umfasst der akustische Spiegel AS einen Wellenleiter, der aus einer zweiten Mantelschicht M2, einer Wellenleiterschicht WL1 und einer ersten Mantelschicht M1 gebildet ist. Die erste Wellenleiterschicht WL1 ist als Glas ausgebildet und umfasst als Hauptbestandteil ein Material, das den Temperaturkoeffizienten der Frequenz (TCF) des Bauelements verbessert. Die beiden Mantelschichten M1 und M2 haben gegenüber der Wellenleiterschicht WL1 eine höhere Wellengeschwindigkeit der akustischen Welle. Direkt über dem Wellenleiter ist der Resonator selbst angeordnet, der eine flächig ausgebildete erste Elektrode E1, eine piezoelektrische Schicht PL und eine flächig ausgebildete zweite Elektrode E2 umfasst.

**[0070]** Die Schichtdicke der piezoelektrischen Schicht PL beträgt ungefähr eine halbe Wellenlänge oder ein ungerades Vielfaches davon.

**[0071]** Zwischen Substrat und der zweiten Mantelschicht M2 können weitere Schichten angeordnet sein, die weitere Spiegelschichtpaare mit relativ hoher und relativ niedriger akustischer Impedanz darstellen und den akustischen Spiegel AS vervollständigen. Die Reflexionswirkung des akustischen Spiegels AS wird durch jede zusätzliche Schicht verbessert. Gleichzeitig erniedrigt sich jedoch die Bandbreite der vom akustischen Spiegel reflektierten Wellen.

**[0072]** Im Folgenden wird die Kompensationswirkung eines eine germaniumoxidhaltige Wellenleiterschicht umfassenden Wellenleiters anhand von Simulationsrechnungen für verschiedene Ausführungen von GBAW-Bauelementen untersucht. Es wird von einer GBAW-Struktur gemäß Fig. 2 ausgegangen, bei der zusätzlich als zweite Mantelschicht M2 eine Dielektrikumsschicht angeordnet ist. Als erste Mantelschicht M1 für das Referenzbeispiel V1 und die Ausführungsbeispiele V2 bis V6 dient ein piezoelektrisches LN15rotYX Substrat, welches aus einem um die Y-Achse rotierten Lithiumniobatsubstrat mit Ausbreitungsrichtung X und 15° Schnittwinkel, im Folgenden als LN15 bezeichnet, besteht. Alle Ausführungsbeispiele V2 bis V6 umfassen ebenso wie das Referenzbeispiel V1 als erste Elektrode E1 eine Interdigitalelektrode, die mit einem Pitch von 1,64 µm und einem Metallisierungsverhältnis  $\eta$  von 0,6 aufgebracht ist. Die Ausführung V1 dient dabei als Referenz und umfasst als Elektrodenmetall Gold in einer Dicke von 230 nm, was einer relativen Metallisierungshöhe von ungefähr ca. 7% entspricht. Eine die schweren Elektroden umgebende Schicht, welche zwar nicht im Referenzbeispiel V1, dafür aber in allen folgenden Ausführungsbeispielen der Wellenleiterschicht WL entspricht, ist als PVD-Siliziumdioxid gebildet und weist eine Dicke von 800 nm auf. Darüber wird eine zweite Mantelschicht M2 vorgesehen, die aus 4,5 µm PECVD-SiO<sub>2</sub> gebildet ist.

**[0073]** Das Ausführungsbeispiel V2 unterscheidet sich vom Referenzversuch V1 dadurch, dass nun tatsächlich eine Wellenleiterschicht WL durch Austausch des PVD-Siliziumdioxids durch Germaniumdioxidglas gebildet ist. Damit ergeben sich völlig neue Eigenschaften, die viele Vorteile bieten. Im Falle der bekannten Verwendung von PVD SiO<sub>2</sub> ist die Welle an der Grenzfläche zum Piezoelektrikum lokalisiert, was durch Verwendung der schweren Elektroden erzwungen wird, was Nachteile, z. B. die oben genannten, nach sich zieht. Bei Verwendung Germaniumdioxidhaltiger Gläser hingegen wird die Welle schon allein mittels dieser Schicht geführt. Daraus ergeben sich Vorteile, insbesondere eine verbesserte Trimmbarkeit, eine Temperaturkompensation und bessere Leistungsverträglichkeit.

**[0074]** Da die Elektroden nun nicht mehr die Aufgabe der Wellenführung bzw. Wellenbindung an die Grenzfläche übernehmen müssen, können sie unab-



hängig davon bezüglich anderer Eigenschaften optimiert werden, z. B. bezüglich Leitfähigkeit oder Leistungsverträglichkeit. Gegenüber V2 ist im Versuch V3 das Metall der ersten Elektrode E1 durch Kupfer ersetzt. Im Ausführungsbeispiel V4 ist die Dicke der ersten Elektrodenschicht E1 auf 115 nm reduziert. Im Ausführungsbeispiel V5 ist die Dicke der Kupferelektrode auf 330 nm erhöht. Die Dicke der Wellenleiterschicht WL aus Germaniumdioxidglas ist auf 1000 nm erhöht. Im Ausführungsbeispiel gemäß V6 ist die Dicke der ersten Elektrodenschicht (Cu) auf 300 nm reduziert. Alle übrigen Parameter eines Versuches V(x) sind wie die Parameter des jeweils vorhergehenden Versuches V(x - 1) gewählt.

**[0075]** Fig. 8 zeigt die für solche GBAW-Bauelemente simulierten beziehungsweise berechneten Temperaturkoeffizienten TCF der Mittenfrequenz, aufgetragen für die Versuche V1 bis V6. Es zeigt sich, dass bis auf den Versuch V4 alle erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiele (V2, V3, V5 und V6) einen vorteilhaft kleinen TCF aufweisen, der gegenüber einem GBAW-Bauelement mit bekannten Wellenleiter aus SiO<sub>2</sub> entscheidend verbessert ist. V4 zeigt sogar die Möglichkeit einer Überkompensation, die in bestimmten Schaltungen von Vorteil sein kann. Die Ausführungsbeispiele gemäß V3, V5 und V6 weisen einen TCF auf, der nahe bei null liegt. Damit ist zum ersten Mal eine Struktur gefunden, die einen TCF von annähernd Null mit einer hohen Bandbreite kombiniert.

**[0076]** Fig. 9 zeigt anhand einer graphischen Darstellung den simulierten TCF für fünf weitere Ausführungsbeispiele VA, VB, VC, VD und VE. In VA wird auf einem LN15-Substrat eine erste Elektrodenschicht aus Gold in einer Dicke von 230 nm, entsprechend circa 7% relativer Metallisierungshöhe aufgebracht. Als Wellenleiterschicht dient eine 1300 nm dicke Germaniumdioxidglasschicht. Als zweite Mantelschicht wird 4,5 µm PECVD-Siliziumdioxid aufgebracht. Im Versuch VB wird die Dicke der Goldelektrode auf 115 nm reduziert. Auch die Dicke der Wellenleiterschicht aus Germaniumdioxidglas wird auf 800 nm reduziert.

**[0077]** Im Ausführungsbeispiel VC wird ein Lithiumniobatsubstrat mit einem Schnittwinkel von 0° eingesetzt, im Folgenden als LNO bezeichnet. Die übrigen Parameter werden wie im Ausführungsbeispiel VB gewählt.

**[0078]** Im Ausführungsbeispiel VD ist gegenüber dem Ausführungsbeispiel VC als Elektrodenmaterial Aluminium gewählt und die erste Elektrode in einer Dicke von 230 nm aufgebracht. Als Wellenleiterschicht dient Germaniumdioxidglas in einer Dicke von 800 nm.

**[0079]** Im Ausführungsbeispiel VE wird als Elektrodenmaterial Aluminium mit einer Dicke von 100 nm

gewählt, das mit einer dünnen Passivierungsschicht aus Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> versehen ist. Gleichzeitig ist die Dicke der Wellenleiterschicht WL auf 875 nm erhöht und die Metallisierungsstärke  $\eta$  auf 0,3 reduziert.

**[0080]** Auch bei den Versuchen VA bis VE zeigt sich, dass mit einem germaniumdioxidhaltigen Wellenleiter eine sehr gute Kompensation des TCF bei GBAW-Bauelementen erhalten werden kann. Mit Ausnahme des Versuchs VD geben die Simulationen TCF-Werte nahe Null an, was einem nahezu vollständig kompensierten TCF entspricht. Versuch VE zeigt, dass auch mit leichten Elektroden eine gute TK Kompensation und sogar eine TK Überkompensation erreicht werden kann.

**[0081]** Die guten Wellenleitereigenschaften erfindungsgemäßer Wellenleiterstrukturen ergeben sich aus Simulationen, in denen die Stärke der Auslenkung einzelner Atome des Wellenleiters gegen die Tiefe des Wellenleiters aufgetragen ist. Als Tiefe Null wird dabei die Oberfläche des Piezosubstrats bzw. die Grenzfläche zwischen der zweiten Mantelschicht und der Elektrodenschicht gewählt. Das Maximum der Auslenkung entspricht dabei dem Zentrum der Welle und zeigt die relative Lokalisierung der Welle im jeweiligen Wellenleiter an.

**[0082]** Fig. 10 zeigt die Eindringtiefe der Welle in einem Wellenleiter gemäß Referenzversuch V1. Die Grenzflächen zwischen den einzelnen Schichten des Wellenleiters sind kenntlich gemacht. Oberhalb der oberen ersten Mantelschicht ist Vakuum angenommen. Es zeigt sich, dass die Welle hier im oberen Bereich der schweren Au Elektrode lokalisiert ist und nahezu keine Wellenleitereigenschaften in den Schichten oberhalb der Elektrode vorhanden sind.

**[0083]** Fig. 11 dagegen zeigt die Eindringtiefe der Welle in einem Wellenleiter gemäß Ausführungsbeispiel V6. Es zeigt sich, dass die Welle hier in der Mitte der Wellenleiterschicht lokalisiert ist. In V6 sind die Elektroden aus dem relativ schwerem Cu. Hiermit zeigt sich die verbesserte Wellenführung eines Germaniumoxid umfassenden Wellenleiters, da die Welle klar in die Wellenleiterschicht hineingezogen ist.

**[0084]** Fig. 12 zeigt die Eindringtiefe der Welle in einem Wellenleiter gemäß Versuch VE. Obwohl hier eine relativ leichte und relativ dünne A1 Elektrode eingesetzt ist, findet auch hier die maximale Auslenkung praktisch in der Mitte der Germaniumoxid umfassenden Wellenleiterschicht statt. Als erste Mantelschicht ist Aluminiumoxid gewählt.

**[0085]** Die verbesserte TCF-Kompensation verbunden mit verbesserter Wellenleitung wird, wie in den Ausführungsbeispielen und den Fig. 8 bis Fig. 12 gezeigt, für GBAW-Bauelemente nachgewiesen. Entsprechende Ergebnisse sind auch für SAW-Bauele-

mente, BAW-Resonatoren und andere mikroakustische Bauelemente mit einer Germaniumdioxidglas und passenden Wellenleiterschicht zu erwarten. Die Erfindung ist daher nicht auf die Ausführungsbeispiele beschränkt und umfasst alle Bauelemente mit einem Wellenleiter mit einer glasartigen Wellenleiterschicht und insbesondere aus germaniumdioxidglas-haltigen Gläsern oder Gläsern mit Zinkmetaphosphat oder einem Chalkogenid.

#### Bezugszeichenliste

<b>WL, WL1, WL2</b>	Wellenleiterschicht
<b>VL</b>	Wellengeschwindigkeit in Wellenleiterschicht
<b>M1</b>	erste Mantelschicht
<b>VM1</b>	Wellengeschwindigkeit in erster Mantelschicht
<b>PS</b>	piezoelektrische Schicht oder ein piezoelektrisches Substrat
<b>M2</b>	zweite Mantelschicht
<b>VM2</b>	Wellengeschwindigkeit
<b>AS</b>	akustischer Spiegel
<b>PL</b>	Piezoelektrische Schicht
<b>WG1, WG2</b>	Wellenleiter
<b>M3</b>	dritte Mantelschicht
<b>SU</b>	Substrat

#### Patentansprüche

1. Mikroakustisches Bauelement mit einem Wellenleiter (WG),
  - der eine Wellenleiterschicht (WL), die eine erste akustische Wellengeschwindigkeit VL und eine an die Wellenleiterschicht direkt angrenzende erste Mantelschicht (M1), in der eine zweite akustische Wellengeschwindigkeit VM1 gilt, aufweist
  - mit einer Elektrode (E1) zur Anregung einer akustischen Welle im Wellenleiter
  - bei dem für die Wellengeschwindigkeiten gilt  $VL < VM1$
  - bei dem die Wellenleiterschicht (WL) ein Glas ist das einen Bestandteil mit anormalem thermomechanischen Verhalten umfasst
  - bei dem die Wellenleiterschicht (WL) Germaniumdioxid, Chalkogenidglas oder Zinkmetaphosphat als Bestandteil aufweist.
2. Bauelement nach Anspruch 1, bei dem die erste Mantelschicht (M1) eine piezoelektrische Schicht (PL) oder ein piezoelektrisches Substrat ist.
3. Bauelement nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Wellenleiterschicht (WL) ein Glas ist, das Germaniumdioxid als Hauptbestandteil aufweist.
4. Bauelement nach Anspruch 3, bei dem die Wellenleiterschicht (WL) Germaniumdioxid in einem Anteil von 55 bis 100 Gew.% aufweist.

5. Bauelement nach Anspruch 3 oder 4, bei dem als weiterer Bestandteil in der Wellenleiterschicht (WL) Glasbildner, Glasmodifikatoren und/oder Glasstabilisatoren enthalten sind.

6. Bauelement nach Anspruch 5, bei dem die Glasbildner, Glasmodifikatoren und/oder Glasstabilisatoren ausgewählt sind aus  $B_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $P_2O_5$ ,  $As_2O_3$ ,  $Sb_2O_3$ ,  $In_2O_3$ ,  $Sn_2O_3$ ,  $PbO_2$ ,  $Li_2O$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $MgO$ ,  $Rb_2O$ ,  $Cs_2O$ ,  $SrO$ ,  $TeO_2$ ,  $SeO_2$ ,  $MoO_2$ ,  $WO_3$ ,  $BiO_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $BaO$ ,  $V_2O$  und  $SO_3$ .

7. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 oder 2, bei dem die Wellenleiterschicht (WL) als Hauptbestandteil ein Chalkogenidglas oder Zinkmetaphosphat enthält.

8. Bauelement nach einem der Ansprüche 1–7, bei dem die Wellenleiterschicht zwischen der ersten Mantelschicht und einer zweiten Mantelschicht eingebettet ist, wobei die zweite Mantelschicht eine dritte akustische Wellengeschwindigkeit VM2 aufweist, für die gilt:  
 $VM2 > VL$ .

9. Bauelement nach einem der Ansprüche 1–8, bei dem die zweite Mantelschicht als Hauptbestandteil ein Material umfasst, welches ausgewählt ist aus DLC,  $SiO_xN_y$ , BN, a-CH, Ge, Si,  $TiO_2$ , WC, AlN, ZnO, SiN,  $Al_2O_3$  und  $SiO_2$  ist.

10. Bauelement nach einem der Ansprüche 2–9, bei dem die erste Mantelschicht ein Piezomaterial ist, ausgewählt aus  $LiNbO_3$ ,  $KNbO_3$ ,  $NaNbO_3$ ,  $LiTaO_3$ , Quarz, ZnO, AlN, ScAlN,  $LiB_4O_7$ ,  $GaPO_4$ , Langanit, Langanit, Langat PZT und RECOB, wobei RE ein Element oder eine Mischung aus mehreren Elementen der seltenen Erden und COB ein Calciumoxoborat ist.

11. Bauelement nach einem der Ansprüche 1–10, bei dem die erste Mantelschicht eine piezoelektrische Schicht oder ein piezoelektrisches Substrat für ein SAW Bauelement ist, bei dem die Elektrode auf der piezoelektrischen Schicht oder dem piezoelektrischen Substrat angeordnet und als Interdigitalelektrode ausgebildet ist und bei dem die Wellenleiterschicht auf dem Substrat zwischen Elektrodenfingern der Elektrode oder auf dem Substrat die Elektrode überdeckend angeordnet ist.

12. Bauelement nach einem der Ansprüche 1–10, bei dem das Bauelement ein auf einem Substrat angeordneter BAW Resonator ist, bei dem die Wellenleiterschicht zwischen Substrat und einer Bodenelektrode des Resonators angeordnet ist.

13. Bauelement nach Anspruch 12, bei dem die Kombination aus erster Mantelschicht, Wellenleiterschicht und zweiter Mantelschicht ein Sandwich bil-

det, das einen Teil eines akustischen Spiegels bildet und zwischen Substrat und Bodenelektrode des BAW Resonators angeordnet ist.

14. Bauelement nach einem der Ansprüche 1–13, bei dem die Wellenleiterschicht Teil eines GBAW Bauelements ist und über dem mit der Elektrode versehenen Substrat angeordnet ist.

15. Bauelement nach Anspruch 14, bei dem die zweite Mantelschicht von einem zweiten Substrat gebildet ist, welches über der Wellenleiterschicht angeordnet ist.

16. Bauelement nach einem der Ansprüche 1–15, umfassend

- ein erstes Filter, in dem der Temperaturgang der Mittenfrequenz durch eine entsprechend eingestellte Wellenleiterschicht positiv und somit überkompensiert ist, und
- ein zweites Filter, das elektrisch mit dem ersten Filter verschaltet ist,

wobei:

- das zweite Filter einen negativen Temperaturgang der Mittenfrequenz aufweist,
- die Verschaltung von erstem und zweitem Filter so erfolgt, dass das Bauelement insgesamt eine vollständige Kompensation des Temperaturgangs der Mittenfrequenz aufweist.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig 1A



Fig 1B

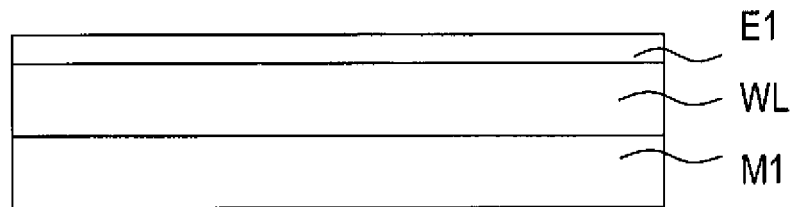


Fig 2

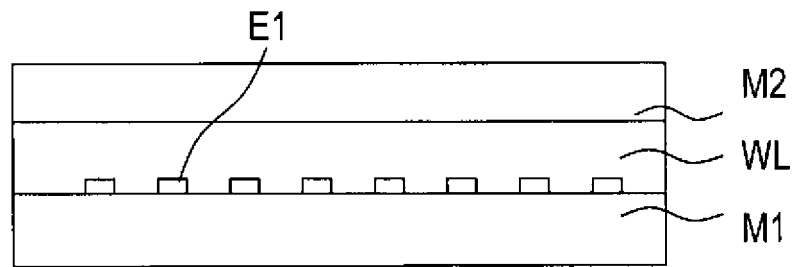
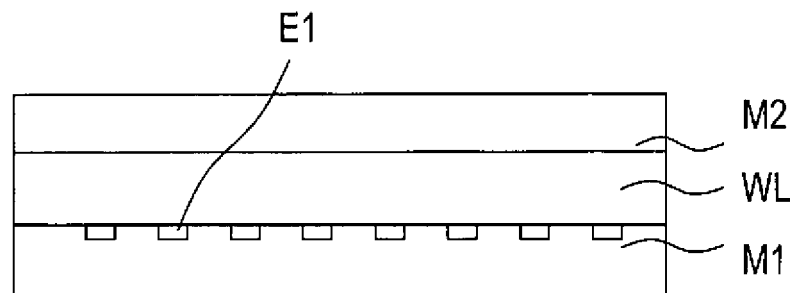


Fig 3



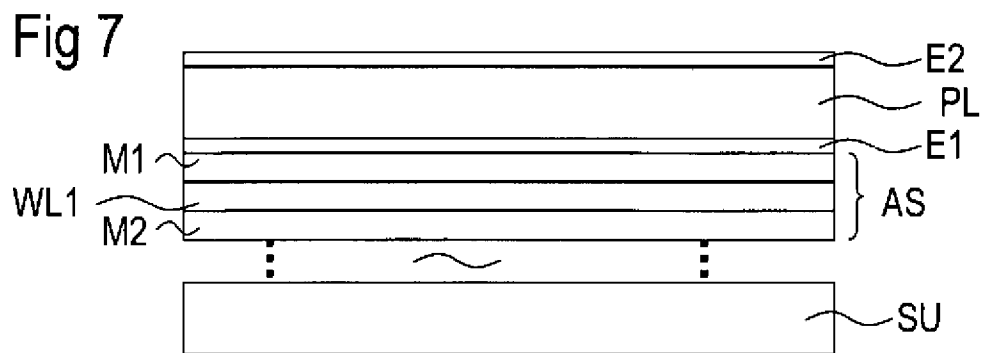
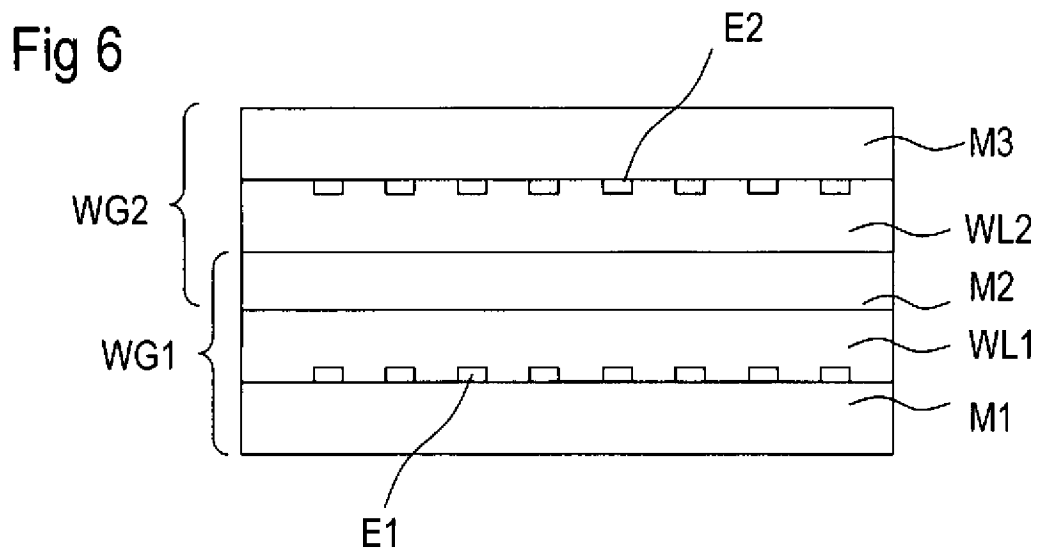
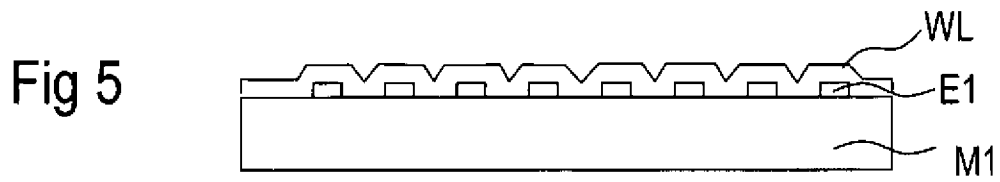
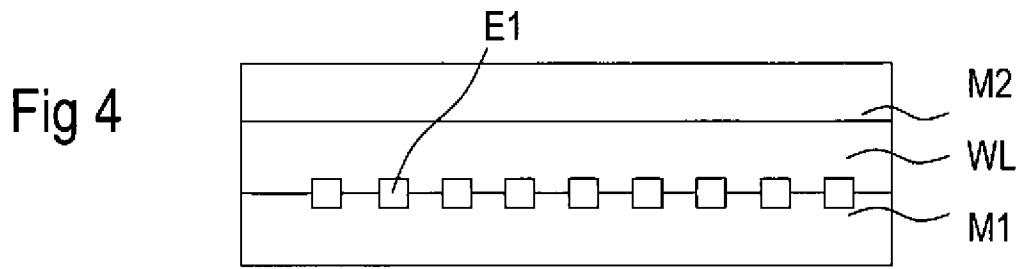


Fig 8

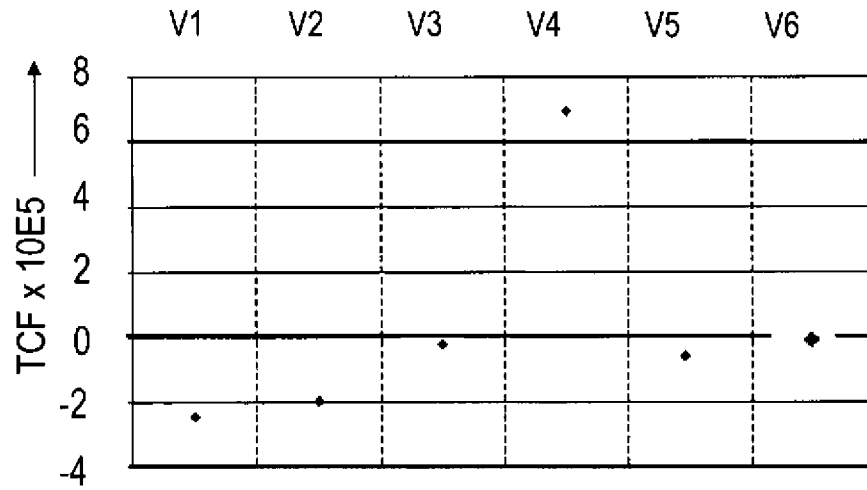


Fig 9

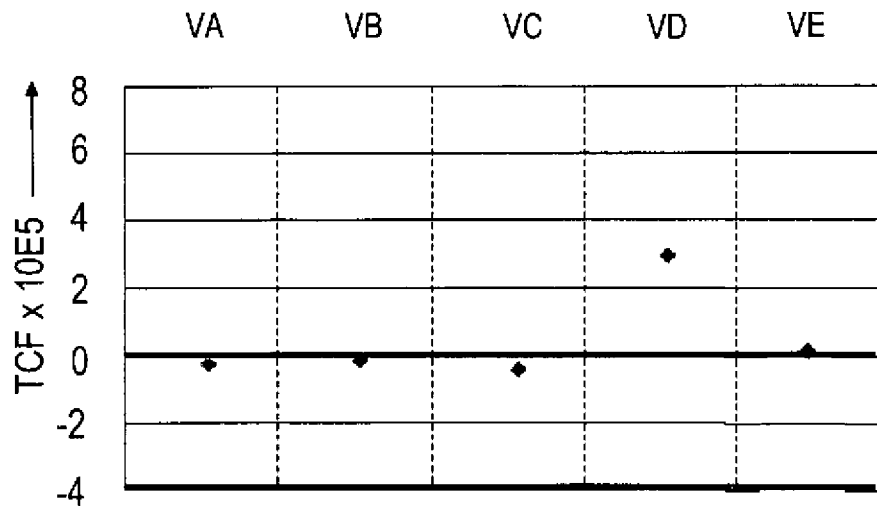


FIG 10

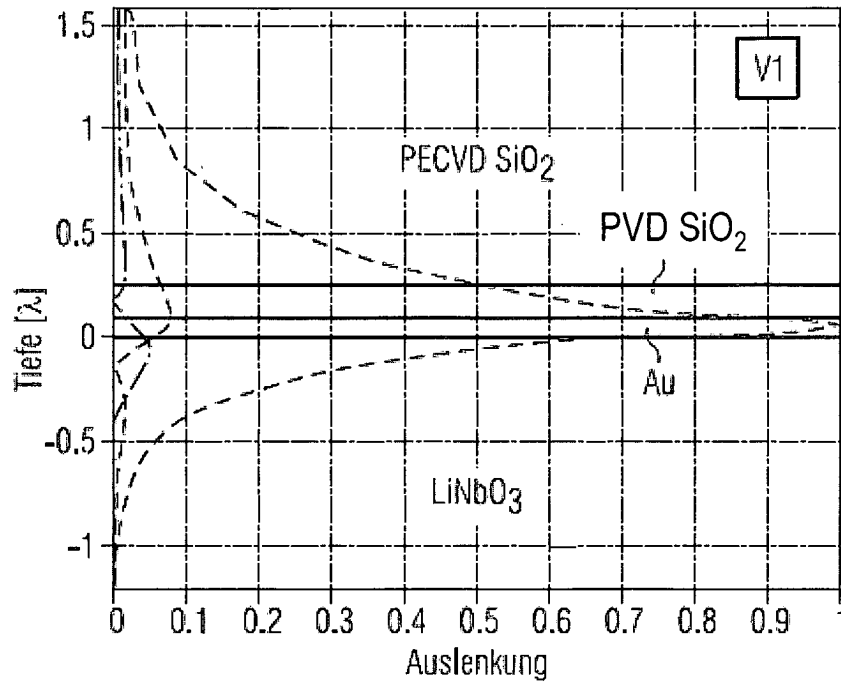


FIG 11

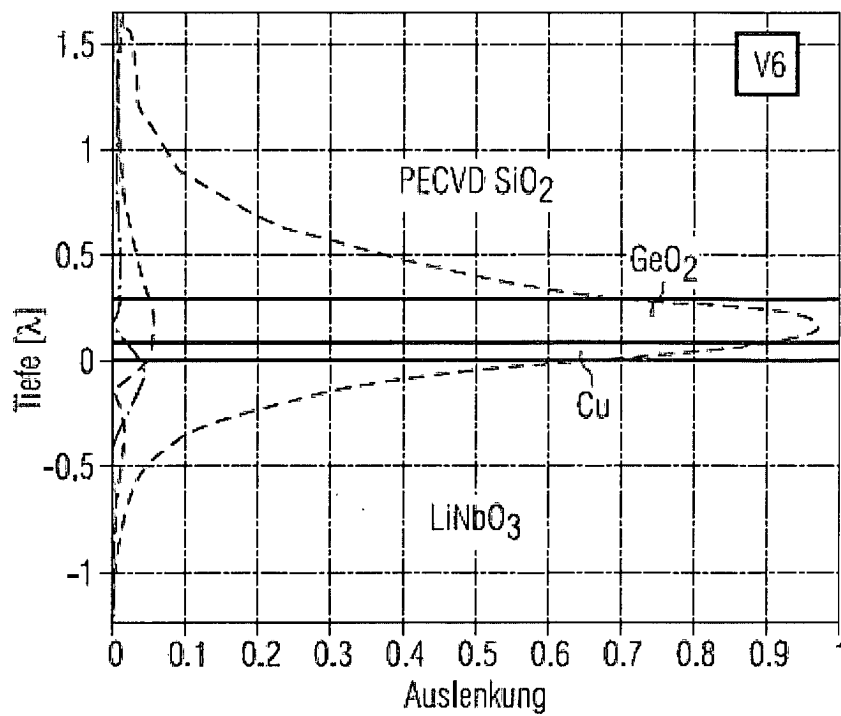


FIG 12

