

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
30. März 2006 (30.03.2006)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2006/032335 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H03H 3/10**,
9/02, 9/08

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/008964

(22) Internationales Anmeldedatum:
18. August 2005 (18.08.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2004 045 181.8
17. September 2004 (17.09.2004) DE

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

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **HAUSER, Markus**
[DE/DE]; Am Jägerberg 46, 82340 Feldafing (DE).
KNAUER, Ulrich [DE/DE]; Lanzenstielweg 4, 81739

München (DE). **LEIDL, Anton** [DE/DE]; Brennereistr.
16, 85662 Hohenbrunn (DE). **RIHA, Evelyn** [DE/DE];
Grumetfeld 17, 83131 Nussdorf (DE). **RIHA, Gerd**
[AT/DE]; Grumetfeld 17, 83131 Nussdorf (DE).
RÖSLER, Ulrike [DE/DE]; Weichselweg 9, 85241
Hebertshausen (DE). **RUILE, Werner** [DE/DE]; Klarastr.
5a, 80636 München (DE). **RUPPEL, Clemens** [DE/DE];
Schneewittchenweg 15, 81739 München (DE). **SCHOLL,**
Gerd [DE/DE]; Krögerkoppel 24a, 22393 Hamburg
(DE). **WOLFF, Ulrich** [DE/DE]; Sollner Str. 6, 81479
München (DE). **BRIEL, Oliver** [DE/DE]; Tulpen-
hofstrasse 25, 63067 Offenbach (DE). **KARCH, Ralf**
[DE/DE]; Käthe-Kollwitz-Strasse 24, 63801 Kleinostheim
(DE).

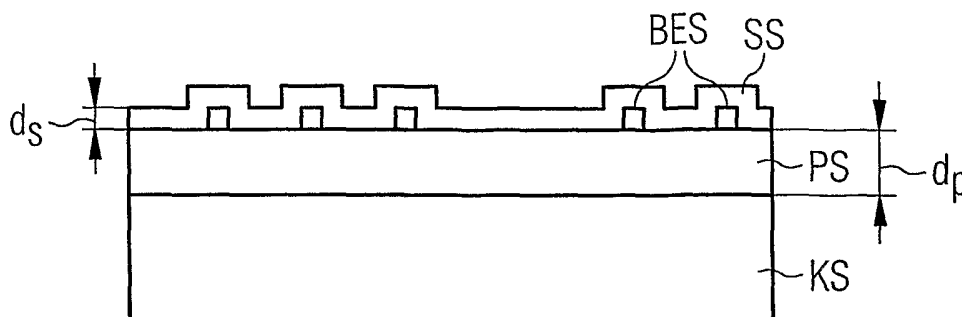
(74) Anwalt: **EPPING HERMANN FISCHER PATENTAN-
WALTSGESELLSCHAFT MBH**; Ridlerstr. 55, 80339
München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SAW-COMPONENT HAVING A REDUCED TEMPERATURE PATH AND METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF

(54) Bezeichnung: SAW-BAUELEMENT MIT REDUZIERTEM TEMPERATURGANG UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG



(57) Abstract: The invention relates to a component which functions with the aid of acoustic waves, and which combines various measures in order to lower the temperature path, in particular the resonance frequency. Said component comprises a piezoelectric substrate (PS) having a relatively thin thickness (dp) in the region of 5 to 50 times the wave length capable of expanding in the material. Electrically conductive component structures (BES) are provided on the top surface and on the lower side, a compensation layer (KS) is mechanically connected to the substrate such that mechanical deformation occurs, or that a deformation is produced in the event of a change in temperature. A SiO₂ layer having a thickness of 5 to 20 % of the acoustic waves capable of expanding therein is arranged over the component structures (BES).

(57) Zusammenfassung: Es wird ein mit akustischen Wellen arbeitendes Bauelement vorgeschlagen, welches verschiedene Maßnahmen zur Absenkung des Temperaturgangs insbesondere der Resonanzfrequenz kombiniert. Das Bauelement weist ein piezoelektrisches Substrat (PS) auf, das eine relativ geringe Dicke (dp) im Bereich vom 5 bis 50-fachen der in Material ausbreitungsfähigen Wellenlänge aufweist. Auf der Oberseite sind elektrisch leitende Bauelementstrukturen (BES) vorgesehen, auf der Unterseite ist eine Kompensationsschicht (KS) mechanisch fest so mit dem Substrat verbunden, dass eine mechanische Verspannung entsteht, oder dass bei Temperaturänderung sich eine Verspannung aufbaut. Über den Bauelementstrukturen (BES) ist eine SiO₂-Schicht in einer Dicke von 5 bis 20 % der in ihr ausbreitungsfähigen akustischen Welle angeordnet.



WO 2006/032335 A1



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

- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,

TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

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

Beschreibung

SAW-Bauelement mit reduziertem Temperaturgang und Verfahren zur Herstellung

Frequenzbestimmte Eigenschaften von SAW-Bauelementen wie beispielsweise die Mittenfrequenz zeigen zumeist eine Abhängigkeit von der Temperatur, die typisch bei z.B. 40 ppm/K liegt. 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 thermischen Ausdehnung auch die elastischen 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.

Um trotz des Temperaturgangs und der damit temperaturabhängigen Drift der Mittenfrequenz bei einem SAW-Bauelement die Funktionsfähigkeit über einen größeren Temperaturbereich zu gewährleisten, muss üblicherweise die Bandbreite des Bauelements erhöht werden. Die Herstellung schmalbandiger, frequenzgenauer temperaturunabhängiger SAW-Bauelemente ist daher mit Substraten wie Lithiumtantalat oder Lithiumniobat praktisch nicht möglich. Der Temperaturgang ist aber für Filteranwendungen störend und nach Möglichkeit zu minimieren.

Zur Kompensation des Temperaturgangs von piezoelektrischen Substratmaterialien wurden bereits verschiedene Maßnahmen vorgeschlagen. Eine Möglichkeit besteht darin, den piezo-

elektrischen Wafer mit einem Trägermaterial mechanisch fest zu verbinden und thermisch zu verspannen. Wird das Trägermaterial geeignet gewählt, kann durch die Verspannung eine gewisse Kompensation des Temperaturgangs erzielt werden. Die Kompensation erfolgt dabei üblicherweise so, dass mit der thermischen Ausdehnung im verspannten Material eine Erhöhung der Schallgeschwindigkeit der für das Bauelement genutzten akustischen Oberflächenwelle verbunden ist. Als Verspannungsmaterial ist dazu beispielsweise Silizium bekannt.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, auf der Substratoberfläche und beispielsweise über den Elektrodenstrukturen eine dielektrische Schicht aus Siliziumoxid aufzubringen, z.B. durch Abscheidung aus der Gasphase. In Abhängigkeit von den Schichteigenschaften kann so ab einer Schichtdicke von ca. 20 bis 35% bezogen auf die Wellenlänge der sich darin ausbreitenden SAW eine Temperaturkompensation erreicht werden. Nachteilig an dieser Lösung ist jedoch die hohe Massenbelastung durch die Schicht und die hohe Dämpfung der SAW, die durch eine solch dicke Schicht verursacht wird.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein mit akustischen Wellen arbeitendes Bauelement anzugeben, das einen reduzierten Temperaturgang aufweist, ohne dass dadurch andere Bauelementeigenschaften übermäßig verschlechtert werden.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit einem Bauelement nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sowie ein Verfahren zur Herstellung des Bauelements sind weiteren Ansprüchen zu entnehmen.

Die Erfindung schlägt ein mit akustischen Wellen arbeitendes Bauelement vor, bei dem zwei voneinander unabhängige Maßnahmen in erfindungsgemäßer Weise so kombiniert sind, dass der

gewünschte Effekt eines minimierten Temperaturgangs ohne das gleichzeitige Auftreten der mit den Einzelmaßnahmen verbundenen Nachteile erreicht wird.

Das erfindungsgemäße Bauelement umfasst ein piezoelektrisches Substrat, welches eine relativ geringe Dicke von 5 bis 50 Wellenlängen der im Bauelement ausbreitungsfähigen akustischen Welle bei Mittenfrequenz des Bauelements besitzt. Auf der Oberfläche des Substrats sind in an sich bekannter Weise die elektrisch leitenden Bauelementstrukturen aufgebracht. An der Unterseite des Substrats ist mit diesem fest verbunden eine Kompensationsschicht angeordnet, die mit dem Substrat mechanisch verspannt ist, oder die bei Temperaturänderung eine mechanische Verspannung zum Substrat ausbaut.

Vorteilhaft ist der thermischen Ausdehnungskoeffizienten TCE_1 des Substrats kleiner als der thermische Ausdehnungskoeffizient TCE_2 der Kompensationsschicht.

Auf diese Weise wird eine mechanische Verspannung des piezoelektrischen Substrats erreicht, die den Temperaturgang der elastischen Eigenschaften des piezoelektrischen Substrats vermindert. Diese Verspannung wirkt dabei allein über die Veränderung der elastischen Parameter, ist relativ unabhängig von der thermischen Ausdehnung des piezoelektrischen Materials selbst und führt dennoch zu einer Reduzierung des Temperaturgangs der Frequenz.

Über den Bauelementstrukturen ist eine SiO_2 -Schicht in einer Dicke von 5 bis 20 % der im Bauelements ausbreitungsfähigen akustischen Welle angeordnet. Diese SiO_2 -Schicht weist eine gegenüber der Kompensationsschicht unterschiedliche Wirkungsweise auf. Sie ist auf dem Substrat angeordnet, so dass sich

die akustische Welle zum Teil innerhalb der SiO_2 -Schicht ausbreitet. Damit sind die Schallgeschwindigkeit in der Schicht und der Temperaturgang der SiO_2 -Schicht selbst maßgeblich mit für den Temperaturgang des gesamten Bauelements verantwortlich. Auch hier ist es nicht entscheidend, dass die SiO_2 -Schicht einen geeigneten thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweist, sondern dass sie einen niedriggelegenen Temperaturgang der Frequenz besitzt. Vorzugsweise liegt die SiO_2 -Schicht ausschließlich in amorpher Modifikation ohne jegliche Fernordnung und in hoher Schichtgleichmäßigkeit vor.

Mit den beiden erfindungsgemäßen Maßnahmen wird erreicht, dass entsprechende Bauelemente einen nur geringen bis vollständig kompensierten Temperaturgang der Frequenz aufweisen. Da beide Maßnahmen unabhängig voneinander ihren jeweiligen Beitrag zum Temperaturgang bzw. zur Erniedrigung des Temperaturgangs liefern, sind sie auch nicht gegenseitig beeinflusst und addieren sich unabhängig voneinander so, dass eine bislang nicht erreichte Temperaturkompensation erhalten wird. Der Beitrag jeder einzelnen Maßnahme kann dabei für sich geringer sein, als dies bei Anwendung von nur einer der Maßnahmen alleine erforderlich wäre. Auf diese Weise kann insbesondere bei der SiO_2 -Schicht eine zu hohe Schichtdicke und damit eine zu starke Dämpfung der akustischen Welle und damit eine Beeinträchtigung der Eigenschaften des Bauelements vermieden werden. Da das piezoelektrische Substrat eine relativ geringe Schichtdicke aufweist, führt die Verspannung mit der Kompensationsschicht auch nicht zu einer unzulässig hohen Verbiegung infolge des Bimetalleffekts. Das Bauelement bleibt auch bei Temperaturänderung ausreichend flach, so dass insbesondere die Herstellung des erfindungsgemäßen Bauelements nicht erschwert ist. Auch besonders feine elektrisch leitende Bauelementstrukturen können mit einem hochauflösenden Verfahren

ohne Probleme auf der erfindungsgemäß mit einer Kompensationsschicht verbundenen piezoelektrischen Schicht aufgebracht werden, ohne dass die Strukturgenauigkeit darunter leidet.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird als Kompensationsschicht ein Festkörper verwendet, der an das piezoelektrische Substrat gebondet ist. Sogenannte Waferbondverfahren ermöglichen eine besonders innige Verbindung zweier ebener oder formschlüssig verbindbarer Oberflächen. Über die innige Verbindung wird eine besonders gute Verspannung der piezoelektrischen Schicht durch die Kompensationsschicht ermöglicht, die einen maximalen Effekt bezüglich der Reduzierung des Temperaturgang ermöglicht.

Möglich ist es jedoch auch, zwischen piezoelektrischem Substrat und der Kompensationsschicht eine dünne Zwischenschicht vorzusehen. Mit einer solchen Zwischenschicht können weitere Vorteile erreicht werden bzw. Nachteile durch das nun vorliegende Verbundsubstrat ausgeglichen werden. Eine solche Zwischenschicht kann beispielsweise eine reflexionsvermindernde Schicht sein. Eine solche hilft dabei, bei einer fototechnischen Strukturierung auf der Oberseite des piezoelektrischen Substrats die an der Unterseite des Substrats auftretenden Reflexionen zu minimieren, die andernfalls zu störenden Strukturierungen und damit zu einer ungenauen und unscharfen Strukturierung der Bauelementstrukturen führt. Eine reflexionsvermindernde Schicht ist daher eine Licht absorbierende Schicht oder eine $\lambda/4$ Schicht (wobei λ hier die Wellenlänge des zur Strukturierung verwendeten Lichts ist), die an beiden Grenzflächen zwar eine Reflexion erzeugt, die jedoch aufgrund der geeignet gewählten Schichtdicke und der damit erreichten Phasenverschiebung ausgelöscht ist. Möglich ist es auch, die Antireflexschicht als Schichtkombination unterschiedliche ge-

gegebenenfalls jeweils mit $\lambda/4$ Schichtdicke ausgebildeter Schichten auszugestalten. Besonders wirksam sind $\lambda/4$ Schichten beispielsweise, wenn an den Grenzflächen dieser Schichten eine besonders gute Reflexion auftritt. Dies wird erreicht, wenn der Brechungsindex beim Übergang in die $\lambda/4$ Schicht oder beim Übergang von einer ersten $\lambda/4$ Schicht in die benachbarte Schicht eine besonders hohe Änderung aufweist. Vorteilhaft ist daher eine Kombination mehrerer bezüglich des Brechungsindex stark unterschiedlicher $\lambda/4$ Schichten.

Ein weiterer Vorteil kann erzielt werden, wenn die Zwischenschicht oder gegebenenfalls eine von mehreren Zwischenschichten eine geringe Leitfähigkeit aufweist und dazu beispielsweise hochohmig ausgebildet ist. Auf diese Weise ist es möglich, an der Unterseite des piezoelektrischen Substrats auftretende Ladungen, wie sie bei einem pyroelektrischen Substratmaterial auftreten können, zu verteilen bzw. abzuleiten. Dabei wird vermieden, dass pyroelektrische Ladungen zu hohen elektrischen Potentialunterschieden und Spannungen innerhalb des Bauelements führen, deren Entladung das Bauelement beschädigen oder gar zerstören kann.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung kann die Zwischenschicht oder eine der Zwischenschichten halbleitend oder nur bei bestimmten Bedingungen leitend ausgebildet werden. Möglich ist es beispielsweise, die Schicht als Halbleiter oder als optisch aktivierbare Schicht vorzusehen.

Eine weitere Eigenschaft, die in einer solchen Zwischenschicht realisiert sein kann, ist die Unterbindung einer Reflexion von akustischen Volumenwellen, die quasi parasitär als unerwünschte Störwellen von den Bauelementstrukturen mit erzeugt werden. Deren Reflexion führt zu störenden Signal in

den Bauelementstrukturen. Mit einer geeignet ausgebildeten Zwischenschicht kann deren Reflexion verhindert werden, indem die Zwischenschicht beispielsweise als akustische Entspiegelungsschicht wirkt. Eine solche Entspiegelungswirkung kann erzielt werden, wenn dielektrische Schichten mit geeigneter akustischer Impedanz und Schichtdicke eingesetzt werden. Möglich ist es jedoch auch, die Zwischenschicht entsprechend zu strukturieren, so dass eine akustische Volumenwellen an der Grenzfläche gestreut und damit eines Großteils ihrer störenden Wirkung beraubt wird.

Bei Verwendung einer Zwischenschicht ist es teilweise nicht möglich, piezoelektrisches Substrat und die Kompensationsschicht durch direktes Bonden miteinander zu verbinden. Es wird daher vorgeschlagen, Kompensationsschicht und Substrat mit Hilfe einer Klebstoffschicht zu verbinden. Wird die Klebstoffschicht in einer geeigneten Schichtdicke ausgeführt, so kann sie bereits einen der oben angegebenen Zwecke als optische Antireflexschicht oder als akustische Antireflexschicht erfüllen. Eine Klebstoffschicht ist geeignet, auch piezoelektrische Substrate mit aufgerauten Oberflächen (zur Verhinderung von akustischen Reflexionen) mit gegebenenfalls ebenfalls aufgerauten Oberflächen, z.B. mit der Kompensationsschicht zu verbinden, die durch Bonden selbst nicht formschlüssig und daher nicht fest miteinander verbunden werden können.

Die Bauelementstrukturen werden vorzugsweise nach dem Verbinden von piezoelektrischem Substrat und Kompensationsschicht auf dem Verbundsubstrat erzeugt. Möglich ist es jedoch auch, die Schichtdicke der piezoelektrischen Schicht nach der Erzeugung des Verbundsubstrats durch einen Dünnpungsprozess auf

eine geeignete, erfindungsgemäß relativ geringe Stärke zu bringen und dann erst die Bauelementstrukturen zu erzeugen.

Für die Bauelementstrukturen können Standardmetallisierungen eingesetzt werden, insbesondere Aluminium, aluminiumhaltige Legierungen oder Mehrschichtsysteme, die überwiegend Aluminium oder Aluminiumlegierung enthalten. Jedoch wurde festgestellt, dass auch die Metallisierung von Oberflächenwellenbauelementen die Frequenz und die Verluste dieser Bauteile beeinflusst. Die Frequenz wird durch physikalische Eigenschaften der Metallisierung, die Einfluss auf die Geschwindigkeit der Welle in der Metallisierung nehmen, durch geometrieabhängige Größen wie Schichtdicke und Metallisierungsstärke und auch durch die mechanische Verspannung des Substrats über die Metallisierung bestimmt. Alle Größen, welche einen Einfluss auf die Frequenz des Bauteils nehmen, beeinflussen auch die Temperaturabhängigkeit der Frequenz. Durch geeignete Wahl der Metallisierungsparameter kann somit der TCF weiter minimiert werden. Verluste im Bauelement, die von der Metallisierung verursacht werden, erhöhen dessen Temperatur und beeinflussen somit ebenfalls die Frequenz. Ein Absenken der elektrischen Verluste in der Metallisierung führt daher auch zu einem Absenken temperaturbedingter Frequenzabweichungen.

Die Geschwindigkeit der akustischen Welle innerhalb einer Metallisierung wird vor allem durch die elastischen Konstanten und deren Temperaturabhängigkeit innerhalb der Metallisierung bestimmt. Eine nur geringe Temperaturabhängigkeit der elastischen Konstanten weisen Metalle wie Kupfer, Molybdän, Chrom, Gold, Wolfram, Silber und Tantal, oder Legierungen dieser Metalle auf. Vorteilhafte Metallisierungen für Bauteile mit geringem TCF enthalten daher eine oder mehrere Schichten aus Metallen oder diese Metalle enthaltenden Legierungen aus die-

ser Auswahl. Gegenüber einer Standardmetallisierung aus Aluminium werden bereits Vorteile erreicht, wenn in einer Schicht ein Metall mit höherer Dichte verwendet wird.

Ein Metall mit einer sehr geringen Temperaturabhängigkeit seiner elastischen Konstante, das somit als Metallisierung den TCF eines mit einer solchen Metallisierung versehenen Bauelements absenkt, ist eine als ELINVAR bekannte Legierung, die eine Zusammensetzung von 50 % Fe, 42 % Ni, 5,3 % Cr, 2,5 % Ti und außerdem C, Mn, Si, Al und Cu enthält und die in erfindungsgemäßen Bauelementen eingesetzt werden kann.

Es hat sich herausgestellt, dass eine niedrigere Schichtdicke der Metallisierung einen niedrigeren Temperaturgang der Frequenz bewirkt. Da beim Entwurf von SAW-Bauelementen die Massenbelastung ein entscheidender Faktor ist, kann eine gleiche Massenbelastung mit einem Metall höherer Dichte bei niedriger Schichthöhe erreicht werden. In dieser Beziehung geeignete Metallisierungen umfassen daher Cu, Mo, W, Au, Ag, Pt, Ta.

Da der Einfluss der Metallisierung auf den TCF und andere Parameter des Bauelements von dem Anteil der akustischen Welle abhängig ist, der innerhalb der Metallisierung verläuft, kann daher die Abhängigkeit der Bauelementeigenschaften von der Metallisierung über ein geringeres Metallisierungsverhältnis reduziert werden. Ein Bauelement mit geringerem Metallisierungsverhältnis η weist weniger Metall auf, das somit einen geringeren Einfluss auf die Frequenz und den TCF des Bauelements besitzt.

In einem Mehrschichtsystem entstehen Verspannungen, wenn Materialien mit unterschiedlicher temperaturabhängiger Längenausdehnung (TCE) im Verbund verwendet werden. Ein piezoelekt-

risches Substrat aus Lithiumtantalat weist im Verbund mit praktisch allen anderen Materialien eine Verspannung auf, da es einen richtungsabhängigen TCE aufweist, der entlang unterschiedlicher Kristallachsen unterschiedlich ausfällt. Die geringste Verspannung in einem Schichtverbund mit piezoelektrischen Materialien wird mit Schichten bzw. Metallisierungen erreicht, deren TCE einem kristallachsenspezifischen TCE des piezoelektrischen Substrats angepasst ist. Unter diesem Gesichtspunkt sind in Verbindung mit Lithiumtantalat als Substrat Metalle wie Cu, Ti, Mo, Cr, W, Pt und Ta als Metallisierungen oder Bestandteil der Metallisierung besonders geeignet.

Die Selbsterwärmung eines SAW-Bauelements wird durch Reduzierung akustischer und elektrischer Verluste verringert. Während akustische Verluste durch das Design des Bauelements beeinflusst werden, sind die elektrischen Verluste im wesentlichen durch den spezifischen elektrischen Widerstand und die Schichthöhe der Metallisierung bestimmt. Da eine höhere Schichtdicke zwar für den Gesamtwiderstand günstig ist, aus oben genannten Gründen aber den Anforderungen an einen geringen TCF widerspricht, wird eine vorteilhafte Metallisierung als Kompromiss zwischen minimalen Verlusten und minimaler Schichthöhe gewählt. Bei diesen Gesichtspunkten geeignete Metallisierungen umfassen daher Materialien wie Al, Cu, Mg und Ag.

Werden die Metallisierungen erfindungsgemäßer SAW-Bauelemente als Mehrschichtsysteme ausgeführt, so gelingt es, die positiven Aspekte einzelner Schichten zu kombinieren. Vorteilhaft weist z.B. die erste direkt auf dem Substrat aufgebrachte Metallschicht eine niedrige Temperaturabhängigkeit ihrer elastischen Konstanten, einem niedrigen thermischen Ausdehnungs-

koeffizienten und gleichzeitig hohe Dichte auf. In der untersten Schicht einer Metallisierung ist ein Großteil der akustischen Energie lokalisiert, so dass die größte Auswirkung auf den TCF des gesamten Bauelements mit dieser untersten Schicht erzielt wird. Als unterste Schicht sind dann insbesondere die Metalle Cu, Mo, W, Au oder Ta bevorzugt. Gegebenenfalls wird die unterste Elektrodenschicht über einer relativ dazu dünnen Haftschrift aufgebracht, die aus Al oder Ti bestehen kann. Über der ersten Metallisierungsschicht wird vorzugsweise eine oder mehrere Schichten mit guter elektrischer Leitfähigkeit eingesetzt, um die elektrischen Verluste gering zu halten. In Verbindung mit der genannten ersten Schicht sind dann Schichten oder Schichtsysteme aus Aluminium, Aluminiumlegierungen, Cu, Mg und Ag gut geeignet.

Ein erfindungsgemäßes Bauelement benutzt zur Reduzierung des TCF den Verspannungseffekt, der sich aus der Verspannung des piezoelektrischen Substrats mit der Kompensationsschicht ergibt. Die Verspannung des Bauelements mit einer Kompensationsschicht hat insbesondere eine Auswirkung auf die elastischen Konstanten des Verbundes und deren Temperaturabhängigkeit, mit deren Hilfe wiederum vorteilhaft der TCF, also die Temperaturabhängigkeit der Frequenz im gesamten Bauelement vorteilhaft reduziert werden kann.

Da die Auswirkung der Verspannung mit zunehmender Entfernung von der Grenzschrift abnimmt und die akustische Welle auf der von der Verspannungsschicht abgewandten Seite des piezoelektrischen Substrats verläuft, wird ein maximaler Einfluss der Verspannung auf den TCF mit einem dünnen piezoelektrischen Substrat erreicht, das eine Dicke von ca. 50 μm nicht übersteigt. Vorteilhaft wird für die Schichtdicke des piezoelektrischen Substrats auch eine untere Grenze eingehalten, die so

gewählt wird, dass die Auslenkungen der Oberflächenwelle im Substrat an der Grenzschicht zur Kompensationsschicht abgelenkt sind. Diese untere Grenze liegt bei einigen Wellenlängen, ist in absoluten Zahlen also auch eine Funktion der Mittenfrequenz des Bauelements. Beispielsweise sei hier eine vorteilhafte untere Grenze der Schichtdicke von 5 Wellenlängen genannt, die bei einem Bauelement mit einer Mittenfrequenz von 2 GHz ca. 10 μm entspricht.

Da die Kompensationsschicht allein über den Spannungseffekt wirkt, kommen dafür eine Vielzahl von vorzugsweise anorganischen Materialien in Frage. Dies sind insbesondere Materialien, die einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten TCE2 kleiner dem Ausdehnungskoeffizienten TCE1 des Substrats aufweisen. Für die gängigen einkristallinen Substratmaterialien Lithiumtantalat (LT) und Lithiumniobat (LN) die in Abhängigkeit vom Kristallschnitt anisotrope Wärmeausdehnungen von ca. 4 bis 16 ppm/K (LT) bzw. 7 bis 15 ppm/K (LN) aufweisen, kommen für die Kompensationsschicht entsprechende Materialien mit vorzugsweise entsprechend geringerem Ausdehnungskoeffizienten in Frage, insbesondere Materialien mit einem Ausdehnungskoeffizient kleiner als 4 ppm/K. Die vorteilhafte Auswirkung der Kompensationsschicht auf den TCF ist umso höher, je niedriger der thermische Ausdehnungskoeffizient TCE der Kompensationsschicht ist.

Bei Gläsern lässt sich durch geeignete Zusammensetzung der TCE einfach und stark beeinflussen. Quarzglas mit einem Siliziumdioxidanteil von mehr als 99,9 % weist beispielsweise nur einen TCE von 0,5 ppm/K auf, während Gläser mit Bleioxid und anderen Oxiden TCEs von 9,8 ppm und mehr besitzen. Mit Spezialgläsern wie beispielsweise den unter den Handelsnamen Zeropur[®] und Astrosital[®] bekannten Gläsern wird ein TCE von 0

bzw. $1 - 2 \times 10^{-7}$ ppm/K gemessen. Einfacher und besser verfügbare Gläser wie beispielsweise das E6 von Ohara, 7740 von Corning oder Boroflat[®] von Schott weisen einen TCE von etwa 3 ppm/K auf und sind daher erfindungsgemäß als Material für die Kompensationsschicht geeignet.

Auch kristalline und keramische Materialien mit niedrigen TCEs sind bekannt. Gut geeignet für die Kompensationsschicht ist beispielsweise Silizium (3,2 ppm/K), Siliziumnitrid (2,5 - 3 ppm/K) und Spezialkeramiken wie Al_2TiO_5 (0 - 1 ppm/K).

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird ein Gehäuse für das Bauelement aus einem der genannten Materialien hergestellt und das Bauelement durch Einkleben oder Bonden eines entsprechend dünnen Chips bzw. eines mit Bauelementstrukturen versehenen piezoelektrischen Substrats fest mit dem Kompensationsmaterial, hier dem Gehäuse-Unterboden oder -Deckel verbunden. Voraussetzung für die Wirksamkeit der Verspannung ist aber wie erwähnt eine relativ geringe Schichtdicke der piezoelektrischen Schicht bzw. des piezoelektrischen Substrats.

Ein mit einer Kompensationsschicht verspanntes piezoelektrisches Substrat neigt aufgrund des "Bimetalleffekts" bei Temperaturänderungen zu Verwerfungen, die das Bearbeiten des Substrats mit hochpräzisen Maschinen erschweren. Vorteilhaft wird das piezoelektrische Substrat bei einer Temperatur mit der Kompensationsschicht verbunden, die der Temperatur bei der Erzeugung der Metallisierung, also der bezüglich der geringen Abmessungen kritischen Fingerstrukturen für die elektroakustischen Wandler entspricht. Dabei wird davon ausgegangen, dass bei der Temperatur des Bondprozesses keine Verspannung und damit keine Verwerfung des Schichtverbunds beobach-

tet wird. Da die Fingerstrukturen üblicherweise bei Raumtemperatur strukturiert werden, wird ein erfindungsgemäßes Bauelement vorzugsweise auch bei Raumtemperatur mit der Kompensationsschicht verbunden.

Ein weiterer Aspekt erfindungsgemäßer Bauelemente sind die mechanischen Kräfte, die aufgrund der Verspannung zwischen piezoelektrischem Substrat und Kompensationsschicht auftreten können. Vorteilhaft wird der TCE der Kompensationsschicht so gewählt, dass die bei Verwerfung auftretenden Kräfte nicht zu einer Zerstörung von Bauelementstrukturen oder zu einem Abspringen von Lötverbindungen führen. Dies wird erreicht, indem der Unterschied zwischen dem TCE der Kompensationsschicht und dem TCE des Substrats gegebenenfalls reduziert wird oder indem die Verbindung zwischen Kompensationsschicht und Substrat mit Hilfe einer elastischen Zwischenschicht nachgiebig gestaltet wird. Wenig Verwerfungen treten auch auf, wenn eine entsprechend dicke und/oder mechanisch ausreichend stabile Kompensationsschicht verwendet wird und ausreichend fest mit dem piezoelektrischen Substrat verbunden wird. Ein solcher Verbund kann die beispielsweise beim Auflöten des Chips auf eine Platine auftretenden Temperaturen unbeschadet überstehen. Ein Kompromiss zwischen Fertigbarkeit und erreichbarer Frequenzstabilisierung wird bei LT als Substratmaterial mit einem Material für die Kompensationsschicht erreicht, welches einen TCE von ca. 1 bis 3,5 ppm/K aufweist.

Die Gesamthöhe aus Substrat und Kompensationsschicht beträgt vorteilhaft weniger als 400 μm .

Vorzugsweise wird für die Kompensationsschicht ein Kompensationswafer verwendet, der mit dem piezoelektrischen Wafer des Substrats in einem Bondverfahren verbunden werden kann und

wird. Als Bondverfahren wird vorzugsweise ein Direktbondverfahren eingesetzt. Möglich ist es auch, im Bereich der Grenzfläche zwischen beiden Wafern dünne Zwischenschichten einzusetzen, über die eine bessere Haftung vermittelt wird. Solche Zwischenschichten können beispielsweise Oxid oder Metallschichten sein. Auch ein Verkleben zwischen Substratwafer und Kompensationswafer ist möglich. Geeignete Bondverfahren sind beispielsweise Direct Wafer Bonding, Klebe- oder Fügeverfahren, Epitaxial Bonding, Lift-off, anodische oder eutektische Verbindung.

Ein weiterer Aspekt erfindungsgemäßer Bauelemente ist die über den Bauelementstrukturen, also über den Metallisierungen aufgebracht SiO₂-Schicht. Diese weist einen positiven Temperaturkoeffizienten der elastischen Konstanten auf. Mit einer idealen SiO₂-Schicht, die eine exakte Stöchiometrie und keinerlei Fernordnung aufweist, werden ab einer Schichtdicke von 20 bis 35 % der in der Schicht ausbreitungsfähigen akustischen Wellenlänge eine vollständige Kompensation des TCF erreicht. Mit dickeren Schichten werden sogar Überkompensationen beobachtet. Nachteilig an den Schichten ist jedoch, dass sie akustische Dämpfungen erzeugen, die zu Verlusten führen. Erfindungsgemäß hat die SiO₂-Schicht daher eine geringere Schichtdicke von 5 bis 20 %.

Die optimale Schichtdicke der SiO₂-Schicht ist auch eine Funktion der Metallisierungshöhe und der Metallisierungsstärke. Bei gleichbleibender Schichtdicke der SiO₂-Schicht kann also für Metallisierungshöhe und Metallisierungsstärke ein jeweils optimaler Wert ausgewählt werden.

Eine weitere Randbedingung von SAW-Bauelementen ist die Reflektivität der Elektrodenfinger. Während ein herkömmlicher

Elektrodenfinger mit einer Metallschichtdicke von 4 % auf LT eine Reflektivität von 5 % pro Finger (ohne SiO₂-Schicht) aufweist, nimmt die Reflektivität bei einer 20 % dicken SiO₂-Schicht auf einen Wert von ca. 2,3 % Reflektivität pro Finger ab, also auf weniger als die Hälfte. Diese Abnahme der Reflektivität wird bei allen Schichtdicken zwischen 2 und ca. 10 % relativer Metallisierungsdicke beobachtet. Da die Reflektivität eine wesentliche Eigenschaft der SAW-Bauelemente ist, einen bestimmten Mindestwert aufweisen sollte und für das Bauelement frequenzbestimmend ist, wird die Reflektivität mit einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wieder erhöht. Mit Hilfe einer konformen Abscheidung der SiO₂-Schicht, die überall konform zur Oberfläche bzw. zur Topographie des Substrates bzw. der darauf aufgetragenen Metallisierung verläuft, wird bei einer Metallisierung mit ca. 4 % relativer Schichtdicke nun sogar eine erhöhte Reflektivität von ca. 6,3 % pro Elektrodenfinger bestimmt.

Konforme SiO₂-Schichten werden durch Einstellung entsprechender Abscheideparameter erhalten. Dazu werden insbesondere die Ausgangsstoffe, der Druck, die Temperatur, das verwendete Trägergas und im Falle von Sputtern die verwendete BIAS Spannung entsprechend eingestellt. Geeignete Verfahren zur Herstellung solcher konformer SiO₂-Schichten sind Sputtern und PECVD.

In Abweichung von einer idealen SiO₂-Schicht mit exakter Stöchiometrie und ausschließlich amorpher Modifikation enthält eine real erzeugte SiO₂-Schicht stets einen gewissen Anteil an SiO, der im Bereich von 0,5 bis 5 % liegt. Mit steigendem SiO-Anteil steigt auch der Brechungsindex, der daher zur Charakterisierung von SiO₂-Schichten herangezogen werden kann. Für die Erfindung gut geeignete SiO₂-Schicht haben einen Bre-

chungsindex bei einer Wellenlänge von 632,8 nm im Bereich von 1,44 bis 1,49, wohingegen ideales SiO₂ bei der genannten Wellenlänge einen Brechungsindex von 1,456 aufweist.

Beim Abscheiden von SiO₂-Schichten mittels Sputtern oder PECVD-Verfahren können Defekte und Poren entstehen, die die für die Erfindung erforderliche Qualität der Schicht nicht gewährleisten. Diese können im Nachhinein aber durch Ausheilen beseitigt werden. Das Ausheilen wird bei einer erhöhten Temperatur durchgeführt, die in Abhängigkeit von den zur Metallisierung verwendeten Materialien nach oben begrenzt ist. Für eine aluminiumhaltige Metallisierung wird das Ausheilen beispielsweise bei maximal 400° C durchgeführt.

Beim Erzeugen der SiO₂-Schicht ist es weiterhin von Vorteil, die Abscheidetemperatur zu minimieren, um die beim Abkühlen entstehende Druckverspannung zu minimieren. Mit einer zu hohen Druckverspannung können sich die Eigenschaften der SAW-Bauelemente verschlechtern.

Die positive Wirkung der SiO₂-Schicht besteht darin, dass sie den gewünschten positiven Temperaturkoeffizienten der akustischen Verzögerung aufweist, während die piezoelektrischen Substrate üblicherweise negativen Temperaturkoeffizienten der akustischen Verzögerung zeigen. Die SAW-Geschwindigkeit ist in der SiO₂-Schicht kleiner als beispielsweise in LT. Daher verläuft die Welle vorzugsweise an der Grenzflächen zwischen SiO₂-Schicht und Substrat.

Als weiterer Vorteil dieser Maßnahme ergibt sich, dass das SiO₂ als gutes Dielektrikum eine hohe Durchbruchsfestigkeit von ca. 1 MV/mm² aufweist. Die ESD-Festigkeit ist somit erhöht. Dies liegt auch an der "Verrundung" der Fingerkanten

durch die darüber aufgebraachte Schicht. Außerdem ist die Dielektrizitätskonstante von SiO_2 mit 3,9 ca. 4 mal so groß wie die von Luft, was die Durchschlagsfestigkeit weiter erhöht. Darüber hinaus wirkt die harte SiO_2 -Schicht auch als Partikelschutz, beispielsweise gegen einen Kurzschluss, der von Metallpartikeln aus einem Produktionsverfahren herrühren kann.

Wie bereits erwähnt, wird durch annähernd konforme Abscheidung der SiO_2 -Schicht die Reflektivität pro Elektrodenfinger erhöht. Dies liegt daran, dass nun auch die Oberfläche der SiO_2 -Schicht eine Topographie aufweist, die zumindest teilweise der Topographie der Elektrodenfinger folgt und damit eine eigene Reflektivität besitzt, bzw. die Gesamtreflektivität erhöht.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung wird die Topographie auf der Oberfläche der SiO_2 -Schicht durch nachträgliche Strukturierung und andere Maßnahmen gestaltet. Variiert werden dabei die Periode, die relative Fingerbreite, die Kantenwinkel bzw. die Kantenform der Erhebungen an der Oberfläche der SiO_2 -Schicht.

Die Erfinder haben gefunden, dass über eine Variation des Kantenwinkels der Metallisierungsstrukturen, also der Elektrodenfinger selbst eine verbesserte Schichtabscheidung der SiO_2 -Schicht und insbesondere eine bessere Kantenbedeckung möglich ist. Während bekannte SiO_2 -Schichten ab einer bestimmten Schichtdicke stark zu Rissen neigen, wird dem erfindungsgemäß mit einem von 90° abweichenden Kantenwinkel der Metallisierung und damit einer diesem Kantenwinkel folgenden Topographie der SiO_2 -Schicht entgegengewirkt und so Risse vermieden. Eine SiO_2 -Schicht über Bauelementstrukturen mit

schrägen und beispielsweise 75° geneigten Kantenwinkeln weist deutlich weniger Risse auf als eine Schicht gleicher Dicke mit üblichen Kantenwinkeln von 90° . Alternativ kann mit einem Kantenwinkel der Metallisierung kleiner 90° die Schichtdicke der SiO_2 -Schicht erhöht und die Kompensation des TCF verbessert werden, ohne dass dabei verstärkt Risse auftreten.

Die Erhebungen in der SiO_2 -Schicht haben vorzugsweise die gleiche Periodizität wie die Elektrodenfinger der Metallisierungsstruktur. Je nach gewünschter Reflexion kann diese Struktur z.B. pyramiden- oder trapezförmig ausgebildet sein und eine gegenüber der Metallisierungsstruktur unterschiedliche Breite besitzen, die jedoch kleiner ist als der Abstand der Elektroden, so dass sich zwischen den Erhebungen der SiO_2 -Schicht ein ebener zum Substrat paralleler Bereich verbleibt.

Eine weitere Verbesserung der SiO_2 -Schicht wird erhalten, wenn insbesondere im oberen Schichtbereich eine Dampfsperre in Form von stickstoffhaltigem SiO_2 integriert wird. Eine solche Dampfsperre aus $\text{Si}_x\text{N}_y\text{O}_2$ kann im gleichen Reaktor durch Zugabe stickstoffhaltiger Ausgangskomponenten erzeugt werden. Vorzugsweise wird bei der Herstellung im Abscheidereaktor der Stickstoffanteil kontinuierlich erhöht, um eine hohe Schichtgleichmäßigkeit zu erhalten.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und der dazugehörigen Figuren näher erläutert. Die Figuren dienen allein zur besseren Veranschaulichung der Erfindung und sind als rein schematische und nicht maßstabsgetreu Querschnittszeichnungen ausgeführt. Gleiche Teile sind mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet.

- Figur 1 zeigt ein erstes erfindungsgemäßes Bauelement
- Figur 2 zeigt ein Bauelement mit einer Zwischenschicht
- Figur 3 zeigt eine Bauelementstruktur mit zwei unterschiedlichen Metallisierungsschichten
- Figur 4 zeigt eine Bauelementstruktur mit drei unterschiedlichen Metallisierungsschichten
- Figur 5 zeigt ausschnittsweise ein Bauelement mit unterschiedlichen Topographien der SiO_2 -Schicht
- Figur 6 zeigt ausschnittsweise ein Bauelement mit abgeschrägten Kanten der Bauelementstruktur
- Figur 7 zeigt ein Bauelement mit Gehäuse, das als Kompensationsschicht verwendet wird.

Figur 1 zeigt ein erstes erfindungsgemäßes Bauelement im schematischen Querschnitt. Eine piezoelektrische Schicht PS ist mit einer Kompensationsschicht KS fest verbunden. Das Material der Kompensationsschicht KS ist so ausgewählt, dass ihr thermischer Expansionskoeffizient TCE_2 geringer ist als der Expansionskoeffizient TCE_1 der piezoelektrischen Schicht. Auf der piezoelektrischen Schicht sind Bauelementstrukturen BES aufgebracht, beispielsweise Interdigitalwandler mit streifenförmigen Fingerelektroden, die in der Figur im Querschnitt quer zur Längsausrichtung der Elektrodenfinger dargestellt sind. Über die Bauelementstruktur BES und die Oberfläche der piezoelektrischen Schicht PS ist eine SiO_2 -Schicht SS in einer Schichtdicke aufgebracht, die zwischen 5 und 20 % einer in der schichtausbreitungsfähigen Wellenlänge bei der

Mittenfrequenz des Bauelements beträgt. Die Schichtdicke d_p der piezoelektrischen Schicht PS beträgt ungefähr 5 Wellenlängen. Die Kompensationsschicht KS ist dicker als die piezoelektrische Schicht ausgeführt und so dimensioniert, dass sich eine Gesamtschichtdicke aus piezoelektrischer Schicht und Kompensationsschicht KS von weniger als 400 μm ergibt.

Figur 2 zeigt eine weitere Ausführung, bei der zwischen der piezoelektrischen Schicht PS und der Kompensationsschicht KS eine Zwischenschicht angeordnet ist. Diese Zwischenschicht kann der besseren Haftung zwischen piezoelektrischer Schicht und Kompensationsschicht dienen. Möglich ist es jedoch auch, dass die Zwischenschicht zusätzliche Bauelementfunktionen erfüllt, und insbesondere bestimmte optische und akustische Eigenschaften und gegebenenfalls eine elektrische Leitfähigkeit aufweist. Die Zwischenschicht kann auch als Klebeschicht ausgebildet sein.

Figur 3 zeigt einen Querschnitt durch eine zweischichtige Bauelementstruktur. Sie weist eine erste, direkt auf dem piezoelektrischen Substrat PS aufsitzende Metallschicht MS1 aus einem Metall mit relativ hoher Dichte und eine zweite Metallschicht MS2, mit einem Metall niedrigerer Dichte auf. Die Gesamthöhe d_M der Bauelementstruktur BES beträgt in Wellenlängen gemessen ca. 4 bis 10 % der Wellenlänge der im Bauelement ausbreitungsfähigen Welle.

Figur 4 zeigt eine weitere Bauelementstruktur, die mehrschichtig und hier insbesondere dreischichtig ausgebildet ist und eine erste Metallschicht MS1, eine zweite Metallschicht MS2 und eine dritte Metallschicht MS3 und gegebenenfalls weitere Metallschichten übereinander aufweist.

Figuren 5a bis 5d zeigen ausschnittsweise ein Bauelement mit unterschiedlichen Topographien der SiO_2 -Schicht oberhalb der Bauelementstruktur. Die dargestellten Topographien können über ein geeignetes Schichterzeugungsverfahren für die SiO_2 -Schicht erhalten werden. Möglich ist es jedoch auch, die SiO_2 -Schicht planar aufzubringen und in einem zweiten Schritt mit einem geeigneten Verfahren so zu strukturieren, dass die gewünschte Topographie entsteht.

Figur 5a zeigt eine erste einfache Ausführung, bei der die Topographie der SiO_2 -Schicht derjenigen der Bauelementstruktur entspricht. Insbesondere weist die SiO_2 -Schicht über der Bauelementstruktur eine Erhebung auf, die eine Breite b_S ungefähr der Breite der Bauelementstruktur B_M entspricht. Kantenwinkel von Bauelementstruktur BES und Erhebung der SiO_2 -Schicht SS sind jeweils ca. 90° . Hier liegt die Reflektivität pro Finger über 6%, ist also höher als bei einem Bauelement ohne SiO_2 -Schicht.

Figur 5b zeigt eine Ausgestaltung, bei der die Erhebungen der SiO_2 -Schicht einen von 90° abweichenden Kantenwinkel aufweisen und daher insgesamt im Querschnitt trapezförmig ausgebildet sind. Die untere Breite BS1 der Erhebung in der SiO_2 -Schicht SS entspricht ungefähr gleich der Breite b_M der Bauelementstruktur BES. Die Oberkante der Erhebungen der SiO_2 -Schicht oberhalb der Bauelementstruktur weist eine Breite BS2 auf, die geringer ist als BS1. Eine solche Struktur kann dahingehend variiert werden, dass BS1 größer als b_M ist. Die Kanten können mit einem Rücksputterprozess abgeflacht werden, der durch Erhöhung der BIAS-Spannung beim Abscheiden in den Prozess integriert ist.

Figur 5c weist in der SiO₂-Schicht eine pyramidenförmige Erhebung oberhalb der Bauelementstruktur auf. Auch hier ist die untere Breite der Erhebung, also die Breite des Pyramidenfußes ungefähr gleich der Breite der Bauelementstruktur, kann aber davon nach oben oder unten abweichen. Die Abflachung kann auch hier durch Rückspatzen erreicht werden.

Figur 5d zeigt eine Ausführungsform, bei der die SiO₂-Schicht über der Bauelementstruktur eine Erhebung mit trapezförmigen Querschnitt aufweist, wobei der Kantenwinkel im Bereich von ca. 25° gewählt ist. Die zugehörige Bauelementstruktur weist hier einen Kantenwinkel von 90° auf.

Figur 6 zeigt zwei Ausführungsbeispiele, bei denen die Kantenbedeckung der SiO₂-Schicht über der Bauelementstruktur verbessert ist, indem der Kantenwinkel der Bauelementstruktur auf einen Winkel kleiner 90° eingestellt wird. Ein solcher Winkel wird beispielsweise im Bereich zwischen 65 und 85° gewählt und beträgt z.B. 75°. Während in Figur 6A eine Erhebung in der SiO₂-Schicht oberhalb der Bauelementstruktur mit 90° Kantenwinkel ausgebildet ist, weist diese Erhebung im Beispiel nach Figur 6B einen davon abweichenden geringeren Kantenwinkel auf, der beispielsweise dem Kantenwinkel der Bauelementstruktur entspricht. Mit einer SiO₂-Schicht von 20% relativer Dicke über einem LT Substrat und mit Al-Metallisierung von relativer Höhe 4% können mit Kantenwinkeln der Erhebungen und der Bauelementstrukturen von jeweils 75° in erfindungsgemäßen Bauelementen Reflektivitäten von über 5,9% pro Finger erreicht werden. In Abhängigkeit vom gewählten Verfahren zur Aufbringung der SiO₂-Schicht kann der Kantenwinkel der Erhebung in der SiO₂-Schicht jedoch geringer sein als derjenige der Bauelementstruktur.

Figur 7 zeigt eine weitere Ausgestaltung der Erfindung, bei der das Gehäuse zusätzlich noch als Kompensationsschicht verwendet wird. In solchen Ausgestaltungen ist das piezoelektrische Substrat PS mit den Bauelementstrukturen und der SiO₂-Schicht darüber fest mit dem Gehäuseteil verbunden, welches als Kompensationsschicht dienen soll. Die Verbindung ist wie in den Ausführungen mit einer reinen Kompensationsschicht vorzugsweise durch Direktbonden vorgenommen. Möglich sind jedoch auch andere mechanisch feste Verbindungen, die zu einer Verspannung zwischen dem als Kompensationsschicht KS dienenden Gehäuseteil und dem piezoelektrischen Substrat PS dienen können. Geeignet sind beispielsweise Lötverfahren, Klebverfahren oder Bumpverbindungen. Zusätzlich zum kompensierenden Gehäuse kann wie gehabt auch noch eine flache substratähnliche Kompensationsschicht gegenüber der die Bauelementstrukturen tragenden Oberfläche des Substrats eingesetzt werden.

Figur 7A zeigt eine Ausführung, bei der das piezoelektrische Substrat PS in ein als Wanne ausgebildetes Gehäuseunterteil eingesetzt und fest mit diesem als Kompensationsschicht KS dienenden Material verbunden ist. Das Material des Gehäuseunterteils ist nach dem gleichen Kriterium ausgelegt, wie die weiter oben erläuterte Kompensationsschicht. Das Gehäuseunterteil kann flachen Deckel D verschlossen sein, wie dies etwa in den Figuren 7a und 7b dargestellt ist. Möglich ist es jedoch auch, das piezoelektrische Substrat PS auf einem flachen Gehäuseunterteil aufzubringen, welches ebenfalls als Kompensationsschicht KS dienen kann.

Figur 7c zeigt eine solche Ausführung, wobei das Bauelement anschließend durch eine Abdeckung verschlossen wird, die fest mit dem Gehäuseunterteil abschließt. In Figur 7c ist eine mechanisch feste Kappe K dargestellt. Die Abdeckung kann jedoch

auch folienartig und insbesondere auflaminiert sein. Es ist klar, dass das Material für das Gehäuseunterteil, welches die Kompensationsschicht KS dienen soll, bezüglich der Materialauswahl den gleichen Kriterien unterliegt, wie das bei der weiter oben beschriebenen direkt auf dem piezoelektrischen Substrat aufgetragenen Kompensationsschicht. In diesen Fällen kann in erfindungsgemäßer Weise das Gehäuse zur Verringerung des TCF beitragen. Wird auch das Gehäuseoberteil, insbesondere der Deckel D oder die Kappe K einem geeigneten Material ausgewählt, so kann dies weiter zur Verspannung und damit zur weiteren Herabsetzung des TCF beitragen.

Figur 7D zeigt eine weitere Ausführungsform der Erfindung, bei der das Bauelement mit einer Kompensationsschicht KS versehen ist, die keine weiteren Gehäusefunktionen inne hat. Zusätzlich ist das Bauelement jedoch oberhalb der Bauelementstrukturen bzw. oberhalb der SiO_2 -Schicht mit einer Kappe K abgedeckt, deren Material so ausgewählt ist, dass relativ zum piezoelektrischen Material der piezoelektrischen Schicht PS eine thermische Verspannung auftreten kann. Die Kappe sitzt dabei direkt der piezoelektrischen Schicht PS auf. Die Kappe kann auch eine Abdeckschicht umfassen. Auch damit gelingt es, den TCF des gesamten Bauelements positiv zu beeinflussen und den Effekt der Temperatur auf die Lage der Resonanzfrequenz zu minimieren.

Obwohl die Erfindung nur anhand weniger Ausführungsbeispiele beschrieben wurde, ist sie nicht auf diese beschränkt. Mögliche Variationen ergeben sich aus Art und Formgestaltung der Kompensationsschicht, der Zwischenschicht, aus der genauen Gestaltung der Bauelementstrukturen und aus dem Gehäuse, in dem das Bauelement gegebenenfalls eingebaut ist. Allen Ausführungen ist gemein, dass sie mit den angegebenen erfin-

dungsgemäßen Merkmalen eine wesentliche Verbesserung der Temperaturabhängigkeit der Resonanzfrequenz erzielen, ohne dass dazu eine einzelne Maßnahme vollständig ausgereizt und der die damit verbundene Nachteil in Kauf genommen werden müsste. Somit gibt die Erfindung ein Bauelement an, welches eine ausgezeichnete Bauelementperformance und eine wesentlich verbesserte bzw. verringerte Temperaturabhängigkeit der Resonanzfrequenz aufweist.

Patentansprüche

1. Mit akustischen Wellen arbeitendes Bauelement mit reduziertem Temperaturgang,
 - mit einem piezoelektrischen Substrat (PS), das einen ersten thermischen Ausdehnungskoeffizienten TCE_1 aufweist und eine Dicke von x mal λ besitzt, wobei $5 < x < 50$ und λ die Wellenlänge des Bauelements bei Mittenfrequenz ist
 - mit elektrisch leitenden Bauelementstrukturen (BES) auf der Oberseite des Substrats
 - mit einem mit der Unterseite des Substrats mechanisch fest verbundenen Kompensationsschicht (KS), die mit dem Substrat mechanisch verspannt ist, oder die bei Temperaturänderung eine mechanische Verspannung zum Substrat ausbaut
 - mit einer über den Bauelementstrukturen aufgetragenen SiO_2 -Schicht (SS), die eine Dicke von 5 bis 20% der sich in ihr ausbreitenden akustischen Welle bei Mittenfrequenz besitzt.
2. Bauelement nach Anspruch 1,
bei dem das Material der Kompensationsschicht (KS) einen zweiten thermischen Ausdehnungskoeffizienten TCE_2 aufweist und so ausgewählt ist, dass $TCE_2 < TCE_1$.
3. Bauelement nach Anspruch 1 oder 2,
bei dem die Kompensationsschicht (KS) ein an das Substrat (PS) gebondeter Festkörper ist.
4. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

bei dem zwischen Substrat (PS) und Kompensationsschicht (KS) eine relativ zur Kompensationsschicht dünne Zwischenschicht (ZS) angeordnet ist.

5. Bauelement nach Anspruch 4,
bei dem die Zwischenschicht (ZS) ausgewählt ist aus hochohmige Schicht, Antireflexschicht und Klebstoffschicht.

6. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
bei dem die Bauelementstrukturen (BES) aus einem Material oder aus einer Materialkombination mit einer in der Summe höheren Dichte als reines Al bestehen.

7. Bauelement nach Anspruch 6,
bei dem die Bauelementstrukturen (BES) eine Mehrschichtstruktur (MS1, MS2, MS3) aufweisen, die Schichten aus Al und zumindest einem aus Cu, Mo, W und Ta umfassen.

8. Bauelement nach Anspruch 6 oder 7,
bei dem die Bauelementstrukturen (BES) eine erste Schicht, ausgewählt aus Cu, Mo, W und Ta, und einen darüber aufgebrachtten Elektrodenkörper aus einem einheitlichen Material oder eine Mehrschichtstruktur (MS1, MS2, MS3) umfassen, wobei das einheitliche Material oder die einzelnen Schichten der Mehrschichtstruktur zumindest eines aus Al, Cu, Mg und Ag umfasst.

9. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
bei dem die Kompensationsschicht (KS) eine Glasschicht umfasst.

10. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 9,

bei dem für die Kompensationsschicht (KS) ein Material mit einem TCE2 von 1 bis 3,5 ppmK⁻¹ umfasst.

11. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 10, bei dem die Gesamthöhe aus Substrat (PS) und Kompensationsschicht (KS) weniger als 400 µm beträgt.

12. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei dem die Bauelementstrukturen (BES) streifenförmige Elektrodenfinger umfassen, deren seitliche Kanten schräg zur Substratoberfläche stehen und mit dieser einen Kantenwinkel KW mit $65^\circ < KW < 85^\circ$ bilden.

13. Bauelement nach Anspruch 12, bei dem die SiO₂ Schicht (SS) eine Oberflächenstruktur aufweist, die der Struktur der Elektrodenfinger folgt und die den gleichen Fingerabstand wie die Elektrodenfinger besitzt.

14. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 13, bei dem das Substrat mit einem als Kompensationsschicht (KS) dienenden Trägermaterial verbunden wird, welches einen Teil des Gehäuses darstellt, wobei das Trägermaterial einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten TCE3 aufweist und $TCE3 < TCE1$ gewählt ist, bei dem die Verbindung zwischen dem Trägermaterial und der dem Substrat (PS) durch Kleben oder Direktbonds erzeugt ist, oder bei dem das Trägermaterial mit den Bauelementstrukturen (BES) auf der Oberfläche des Substrats (PS) mittels Bumps verbunden ist.

15. Bauelement nach Anspruch 14, bei dem das Trägermaterial mehrschichtig ist, zumindest eine zwischen den Schichten angeordnete Metallisierungsebene auf-

weist und zumindest eine Schicht aus Keramik, Glas oder Kunststoffleiterplattenmaterial umfasst.

16. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 13, bei dem die Kompensationsschicht (KS) den Unterteil eines Gehäuses für das Bauelement ausbildet.

17. Verfahren zur Herstellung eines mit akustischen Wellen arbeitenden Bauelements mit reduziertem Temperaturgang,

- bei dem ein als Substrat dienender piezoelektrischer Wafer (PS), der einen ersten thermischen Ausdehnungskoeffizienten $TCE1$ aufweist, über seine Unterseite mit einer Kompensationsschicht (KS) aufweisenden Kompensationswafer mechanisch fest verbunden wird, wobei die Kompensationsschicht mit dem Substrat mechanisch verspannt ist, oder bei Temperaturänderung eine mechanische Verspannung zum Substrat ausbaut
- bei dem elektrisch leitende Bauelementstrukturen (BES) auf der Oberseite des piezoelektrischen Wafers für eine Mehrzahl von Bauelementen erzeugt werden
- bei dem über den Bauelementstrukturen eine SiO_2 -Schicht (SS) aufgebracht wird, die eine Dicke von 5 bis 20% der sich in ihr ausbreitenden akustischen Welle bei Mittenfrequenz besitzt.

18. Verfahren nach Anspruch 17, wobei die Kompensationsschicht (KS) einen zweiten thermischen Ausdehnungskoeffizienten $TCE2$ besitzt und wobei das Material der Kompensationsschicht so gewählt ist, dass $TCE2 < TCE1$.

19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, bei dem der piezoelektrische Wafer (PS) und der Kompensationswafer (KS) durch Direktbonds verbunden werden.

20. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18,
bei dem vor dem Bonden eine hochohmige und/oder antireflektive Zwischenschicht (ZS) auf eine der beiden zu verbindenden Oberflächen aufgebracht wird.

21. Verfahren nach Anspruch 17 oder 20,
bei dem der piezoelektrische Wafer (PS) und der Kompensationswafer (KS) mit Hilfe eines Klebstoffes verbunden werden.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 20,
bei dem die beiden zu verbindenden Oberflächen vor dem Verbinden poliert werden.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 21,
bei dem die SiO₂-Schicht (SS) mittels Sputtern oder PECVD aufgebracht wird, wobei die Abscheidbedingungen so eingestellt werden, dass die resultierende Schicht einen Brechungsindex zwischen 1,44 und 1,49 erhält.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 22,
bei dem der piezoelektrische Wafer (PS) nach dem Verbinden mit dem Kompensationswafer (KS) durch ein CMP Verfahren auf eine Schichtdicke von 10 bis 50µm gedünnt wird.

1/3

FIG 1

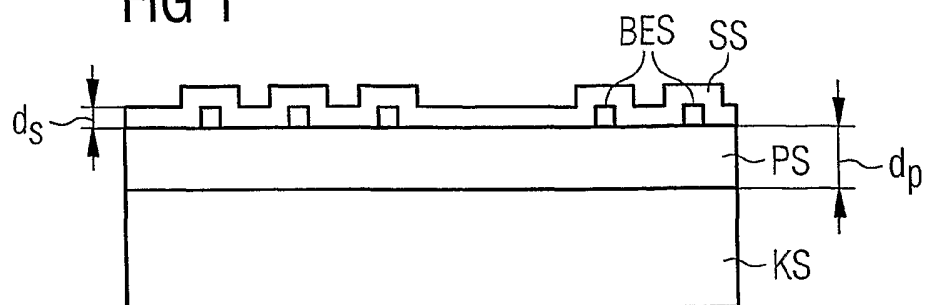


FIG 2

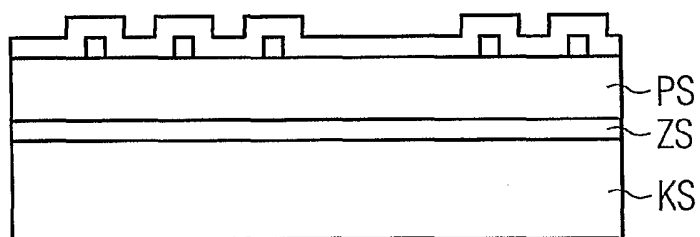


FIG 3

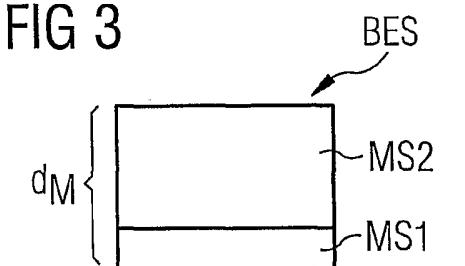


FIG 4

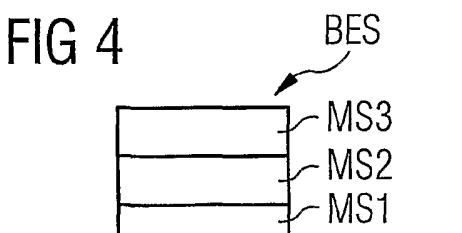


FIG 5A

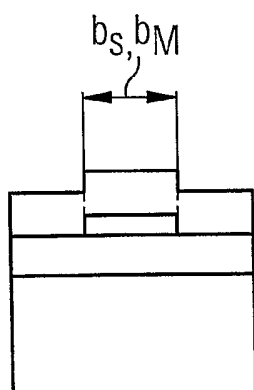


FIG 5B

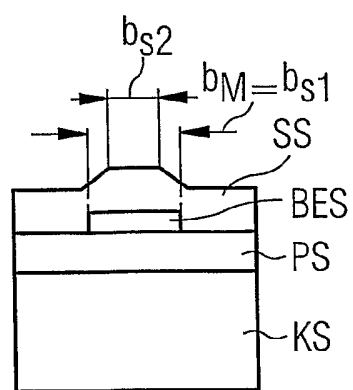


FIG 5C

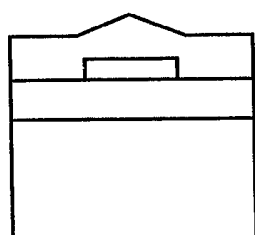


FIG 5D

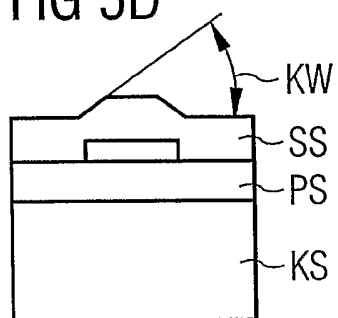


FIG 6A

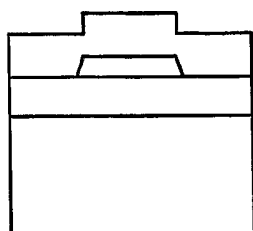
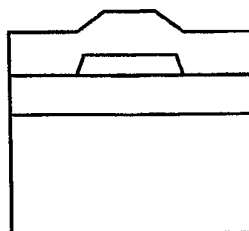


FIG 6B



3/3

FIG 7A

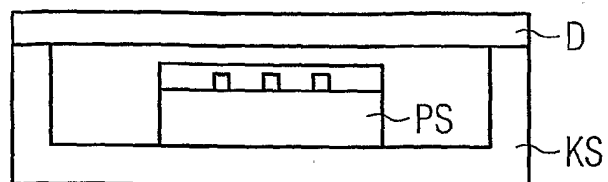


FIG 7B

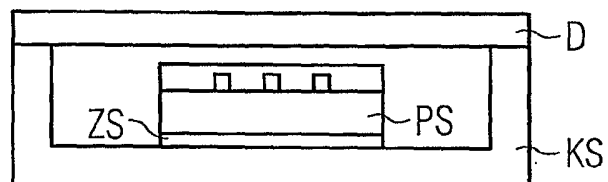


FIG 7C

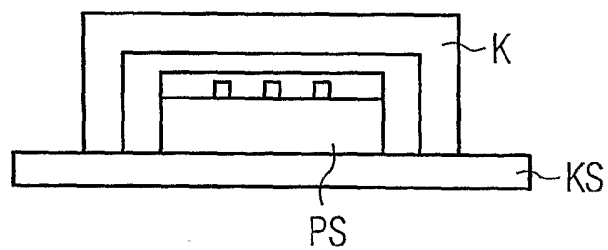
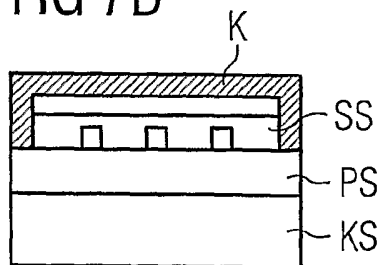


FIG 7D



INT

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2004)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/008964

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KOVACS G ET AL: "A SAW duplexer with superior temperature characteristics for US-PCS" ULTRASONICS SYMPOSIUM, 2004 IEEE MONTREAL, CANADA 23-27 AUG. 2004, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, 23 August 2004 (2004-08-23), pages 974-977, XP010786652 ISBN: 0-7803-8412-1 the whole document -----	1-24
A	DE 196 34 979 A1 (SIEMENS AG, 80333 MUENCHEN, DE) 12 March 1998 (1998-03-12) figure 2 -----	12

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

nationales Aktenzeichen
PCT/EP2005/008964A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
H03H3/10 H03H9/02 H03H9/08

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H03H

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

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

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie ^o	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	SATO H ET AL INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS: "TEMPERATURE STABLE SAW DEVICES USING DIRECTLY BONDED LITAO3/GLASS SUBSTRATES" 1998 IEEE ULTRASONICS SYMPOSIUM PROCEEDINGS. SENDAI, MIYAGI, JP, OCT. 5 - 8, 1998, IEEE ULTRASONICS SYMPOSIUM PROCEEDINGS, NEW YORK, NY : IEEE, US, Bd. VOL. 1, 5. Oktober 1998 (1998-10-05), Seiten 335-338, XP000888026 ISBN: 0-7803-4096-5 Seite 335, rechte Spalte, Zeile 19 - Seite 336, linke Spalte, Zeile 5 Tabelle 1 ----- -/--	1-24



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

^o Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :^{*A*} Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist^{*E*} älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist^{*L*} Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)^{*O*} Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht^{*P*} Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist^{*T*} Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist^{*X*} Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden^{*Y*} Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist^{*Z*} Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

2. Dezember 2005

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

13/12/2005

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

Bevollmächtigter Bediensteter

Radomirescu, B-M

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

nationales Aktenzeichen
PCT/EP2005/008964

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	KOVACS G ET AL: "A SAW duplexer with superior temperature characteristics for US-PCS" ULTRASONICS SYMPOSIUM, 2004 IEEE MONTREAL, CANADA 23-27 AUG. 2004, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, 23. August 2004 (2004-08-23), Seiten 974-977, XP010786652 ISBN: 0-7803-8412-1 das ganze Dokument -----	1-24
A	DE 196 34 979 A1 (SIEMENS AG, 80333 MUENCHEN, DE) 12. März 1998 (1998-03-12) Abbildung 2 -----	12

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

nationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/008964

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19634979	A1	12-03-1998	KEINE