(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
28. Oktober 2010 (28.10.2010)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/122067 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H03H 9/145 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/055291

(22) Internationales Anmeldedatum:
21. April 2010 (21.04.2010)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2009 002 604.5
23. April 2009 (23.04.2009) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **VECTRON INTERNATIONAL GMBH & CO. KG** [DE/DE]; Potsdamer Straße 18, 14513 Teltow (DE). **LEIBNIZ-INSTITUT FÜR FESTKÖRPER- UND WERKSTOFFFORSCHUNG DRESDEN E.V.** [DE/DE]; Helmholtzstraße 20, 01069 Dresden (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **MARTIN, Günter** [DE/DE]; Comeniusstr. 24a, 01307 Dresden (DE). **WEIHNACHT, Manfred** [DE/DE]; Am Mühlfeld 34, 01744 Dippoldiswalde (DE). **BIRYUKOV, Sergey** [RU/DE]; Winckelmannstraße 9, 01728 Bannewitz (DE). **DARINSKI, Alexander** [RU/RU]; Panfilova 4/5-147, Moskau, 125080 (RU). **WALL, Bert** [DE/DE]; Gröbenstraße 10a, 14469 Potsdam (DE).

(74) Anwalt: **RAUSCHENBACH, Dieter**; 27 01 75, Bienertstraße 15, 01187 Dresden (DE).

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

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

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: TRANSDUCER HAVING NATURAL UNIDIRECTIONALITY FOR SURFACE ACOUSTIC WAVES

(54) Bezeichnung : WANDLER MIT NATÜRLICHER UNIDIREKTIONALITÄT FÜR AKUSTISCHE OBERFLÄCHENWELLEN

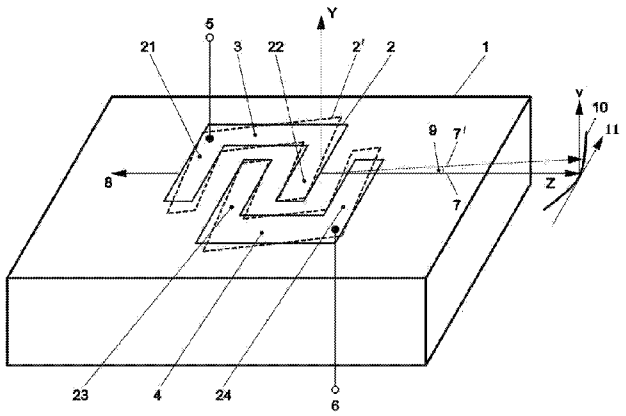


Fig.

(57) Abstract: The invention relates to a transducer having natural unidirectionality for surface acoustic waves, wherein an interdigital electrode structure is arranged on a piezoelectric crystal substrate and is constructed with interdigital transducers comprising collecting electrodes and fingers, wherein at least two of the fingers form a transducer cell, which comprises at least one excitation center for exciting an electrical potential wave and at least one reflection center for reflecting electrical potential waves. The invention is based on the problem of finding materials, material sections, and propagation directions for transducers having natural unidirectionality that result in a low insertion loss even in broadband transducers, and for which the frequency position is not affected or is affected only slightly by errors in the orientation of the electrode structure on the substrate despite the unidirectional characteristics of the transducers. According to an essential characteristic of the invention, the fingers are oriented perpendicularly to a direction R, wherein the direction R is directed parallel to a 1- or 3-fold rotational axis of the substrate crystal and the derivative $dv/d\theta=0$ applies to R, wherein v is the phase velocity of the surface wave and θ is an angular deviation of the perpendicular to the finger direction from said direction R. According to a further characteristic

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2010/122067 A2

RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

of the invention, the electrode materials and the layer thicknesses thereof are selected in such a way that the phase shift Φs between the excitation center and a reflection center in each transducer cell, given by the equation $\sin^2(\Phi_s) = (\omega_{o2} - \omega_{s2})(\omega_{s2} - \omega_{o1})/(\omega_{s2} - \omega_{s1})(\omega_{o1} + \omega_{o2} - \omega_{s1} - \omega_{s2})$, lies between 41.4° and 48.6° or between -48.6° and -41.4° or between 131.4° and 138.6° or between -138.6° and -131.4°. The transducer according to the invention can be used in particular for sensors, identification components (ID tag), resonators, filter, delay lines, and oscillators insofar as the mode of operation thereof is based on surface acoustic waves.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Wandler mit natürlicher Unidirektionalität für akustische Oberflächenwellen, bei demeine interdigitale Elektrodenstruktur auf einem piezoelektrischen Kristallsubstrat angeordnet ist, die mit interdigitalen Wandlern aufgebaut ist, welche aus Sammelelektroden und Zinken bestehen, wobei mindestens zwei der Zinken eine Wandlerzelle bilden, die mindestens ein Anregungszentrum zur Anregung einer elektrischen Potentialwelle und mindestens ein Reflexionszentrum zur Reflexion elektrischer Potentialwellen aufweist. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, für Wandler mit natürlicher Unidirektionalität Materialien, Materialschnitte und Ausbreitungsrichtungen zu finden, die auch bei breitbandigen Wandlern eine niedrige Einfügedämpfung ergeben, und bei denen die Frequenzlage trotz der unidirektionalen Eigenschaften der Wandler nicht oder nur wenig von Fehlern bei der Ausrichtung der Elektrodenstruktur auf dem Substrat beeinflusst wird. Gemäß einem wesentlichen Merkmal der Erfindung sind die Zinken senkrecht zu einer Richtung R ausgerichtet, wobei die Richtung R parallel zu einer 1- oder 3- zähligen Drehachse des Substratkristalls gerichtet ist und für R die Ableitung $dv/d\theta=0$ gilt, worin v die Phasengeschwindigkeit der Oberflächenwelle und θ eine Winkelabweichung der Senkrechten zur Zinkenrichtung von dieser Richtung R ist. Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung sind die Elektrodenmaterialien und deren Schichtdicken so gewählt sind, dass die Phasenverschiebung Φs zwischen dem Anregungszentrum und einem Reflexionszentrum in jeder Wandlerzelle, gegeben durch die Gleichung $\sin^2(\Phi_s) = (\omega_{o2} - \omega_{s2})(\omega_{s2} - \omega_{o1})/(\omega_{s2} - \omega_{s1})(\omega_{o1} + \omega_{o2} - \omega_{s1} - \omega_{s2})$ zwischen 41,4° und 48,6° oder zwischen -48,6° und -41,4° oder zwischen 131,4° und 138,6° oder zwischen -138,6° und -131,4° liegt. Der erfindungsgemäße Wandler ist insbesondere anwendbar für Sensoren, Identifikationsbauelemente (ID-Tag), Resonatoren, Filter, Verzögerungsleitungen und Oszillatoren, soweit deren Funktionsweise auf der Basis akustischer Oberflächenwellen beruht.

Anmelder

1. Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden e.V.

2. Vectron International GmbH & Co. KG

Zeichen: 11006 PCTD

21.04.2010

Wandler mit natürlicher Unidirektionalität für akustische Oberflächenwellen

Technisches Gebiet

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Elektrotechnik/Elektronik und betrifft einen Wandler mit natürlicher Unidirektionalität für akustische Oberflächenwellen. Objekte, bei denen die Anwendung der erfindungsgemäßen Wandler möglich und zweckmäßig ist, sind insbesondere Sensoren, Identifikationsbauelemente (ID-Tag), Resonatoren, Filter, Verzögerungsleitungen und Oszillatoren, soweit deren Funktionsweise auf der Basis akustischer Oberflächenwellen beruht.

Stand der Technik

Es sind bereits Wandler mit natürlicher Unidirektionalität für akustische Oberflächenwellen bekannt, bei denen eine interdigitale Elektrodenstruktur auf einem piezoelektrischen Kristallsubstrat angeordnet ist. Die interdigitale Elektrodenstruktur ist dabei mit interdigitalen Wandlern aufgebaut, welche aus Sammelelektroden und Zinken bestehen, wobei mindestens zwei Zinken mit unterschiedlicher Polarität eine Wandlerzelle als Basiselement des Wandlers bilden. Jede Wandlerzelle weist ein Anregungszentrum zur Anregung einer elektrischen Potentialwelle und mindestens ein Reflexionszentrum zur Reflektion elektrischer Potentialwellen auf.

Voraussetzung für die Existenz unidirektionaler Eigenschaften von interdigitalen Wandlerzellen ist, dass der Abstand des Anregungs- und des Reflexionszentrums in ein und derselben Zelle genau oder näherungsweise ±1/8 oder ±3/8 der Wellenlänge

beträgt, wobei diese Wellenlänge dem Quotienten aus der Phasengeschwindigkeit der Oberflächenwelle und der Frequenz, bei der der Wandler die maximale Oberflächenwellenamplitude abstrahlt, entspricht. Neben der Wellenanregung ist demzufolge die Reflexion von Wellen eine notwendige Bedingung für die Existenz unidirektionaler Eigenschaften. Mit Anregungs- und Reflexionszentrum sind das Anregungs- und Reflexionszentrum des elektrischen Potentials der akustischen Oberflächenwelle gemeint. Wenn der Abstand des Anregungszentrums von einem Reflexionszentrum einer Zelle nicht wesentlich von ±1/8 oder ±3/8 der Wellenlänge abweicht, so wird die natürliche Unidirektionalität als vollständig bezeichnet. Andernfalls wird sie als unvollständig bezeichnet.

Im Fall der Abwesenheit einer natürlichen Unidirektionalität oder natürlicher unidirektionaler Eigenschaften enthalten die Zellen unterschiedlich breite Zinken mit – im Fall von mehr als zwei Zinken pro Zelle – meist unterschiedlichen Zinkenabständen. Eine solche Zelle ist, in Ausbreitungsrichtung betrachtet, unsymmetrisch aufgebaut. Wenn ein symmetrisch aufgebauter Wandler unidirektionale Eigenschaften besitzt, so bezeichnet man diese Eigenschaft als natürliche Unidirektionalität. Ein symmetrischer Wandler besteht beispielsweise aus Zellen, die zwei Zinken mit gleicher Breite und unterschiedlicher Polarität und einem Abstand der Zinkenmitten von 0,5 der Wellenlänge enthalten, wobei die Zellenlänge eine Wellenlänge beträgt.

Bei einer speziellen Ausführung (P. V. Wright, „The natural single-phase unidirectional transducer: A new low-loss SAW transducer“, Proc. 1985 IEEE Ultrasonics Symposium, Seiten 58 – 63, nachfolgend auch mit [1] bezeichnet) werden die unidirektionalen Eigenschaften von Wandlern auf einem Quarzsubstrat, die aus Zellen mit zwei ¼ der Wellenlänge breiten Fingern (d.h. jeweils mit Fingern gleicher Breite) und einer ¼ der Wellenlänge breiten Lücke dazwischen zusammengesetzt sind, durch Drehung der Ausbreitungsrichtung der akustischen Oberflächenwellen von der kristallinen X-Achse weg erzeugt. Bei Ausbreitung der akustischen Oberflächenwellen in Richtung der X-Achse gibt es für den benutzten Wandlertyp keine unidirektionalen Eigenschaften. Genauere Angaben über eine Ausbreitungsrichtung von akustischen Oberflächenwellen mit natürlicher

Unidirektionalität sind bei einer weiteren speziellen Ausführung zu finden (T. Thorvaldsson and B. P. Abbott, „Low loss SAW filters utilizing the natural single phase unidirectional transducer (NSPUDT)", Proc. 1990 IEEE Ultrasonics Symposium, Seiten 43 – 48, bezeichnet mit [2]). Der Kristallschnitt von Quarz und die Ausbreitungsrichtung sind durch die Eulerwinkel (0°, 124°, 25°) gegeben. Diese Kombination zeichnet sich durch vollständige natürliche Unidirektionalität aus. Ein anderes Beispiel für natürliche Unidirektionalität ist Langasit ($La_3Ga_5SiO_{14}$) mit den Eulerwinkeln (0°, 138.5°, 26.6°) (D. P. Morgan, S. Zhgoon, A. Shvetsov, E. Semenova and V. Semenov, „One-port SAW resonators using Natural SPUDT substrates", Proc. 2005 IEEE Ultrasonics Symposium, Seiten 446 – 449, bezeichnet mit [3]). In diesem Fall ist die natürliche Unidirektionalität unvollständig.

Die Ausführungen in den Druckschriften [1], [2] und [3] haben neben der natürlichen Unidirektionalität noch die Gemeinsamkeit, dass für die angegebenen Ausbreitungsrichtungen der akustischen Oberflächenwellen $dv/d\theta \neq 0$ gilt, wobei v die Phasengeschwindigkeit der Oberflächenwelle und θ eine Winkelabweichung der Senkrechten zur Zinkenrichtung von der Ausbreitungsrichtung ist. Daraus folgt der Nachteil, dass kleine Fehler infolge stets vorhandener Schwankungen der technologischen Parameter bei der Ausrichtung der Elektrodenstruktur auf dem Substrat zu großen Fehlern der Phasengeschwindigkeit der Oberflächenwelle und damit der Frequenzlage der Wandler führen können.

Es sind auch bereits Wandler mit natürlicher Unidirektionalität bekannt, bei denen interdigitale Elektrodenstrukturen auf einem piezoelektrischen Langasitsubstrat angeordnet sind (US 6,194,809 B1). Die Elektrodenstrukturen bestehen aus Sammelelektroden und Zinken, wobei zwei Zinken eine Wandlerzelle bilden. Besonders nachteilig bei diesen Bauelementen ist der kleine Koppelfaktor des verwendeten Langasitsubstrates, wodurch sich breitbandige Wandlerbauelemente nur auf Kosten einer hohen Einfügedämpfung realisieren lassen.

Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, für Wandler mit natürlicher Unidirektionalität Materialien, Materialschnitte und Ausbreitungsrichtungen zu finden, die auch bei breitbandigen Wandlern eine niedrige Einfügedämpfung ergeben, und

bei denen die Frequenzlage trotz der unidirektionalen Eigenschaften der Wandler nicht oder nur wenig von Fehlern bei der Ausrichtung der Elektrodenstruktur auf dem Substrat beeinflusst wird.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 im Zusammenwirken mit den Merkmalen im Oberbegriff gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Unteransprüchen enthalten.

Bei dem erfindungsgemäßen Wandler ist eine interdigitale Elektrodenstruktur auf einem piezoelektrischen Kristallsubstrat angeordnet, die mit interdigitalen Wandlern aufgebaut ist, welche aus Sammelelektroden und Zinken bestehen, wobei mindestens zwei der Zinken eine Wandlerzelle bilden, die mindestens ein Anregungszentrum zur Anregung einer elektrischen Potentialwelle und mindestens ein Reflexionszentrum zur Reflexion elektrischer Potentialwellen aufweist.

Gemäß der Erfindung sind die Zinken senkrecht zu einer Richtung R ausgerichtet, wobei die Richtung R parallel zu einer 1- oder 3-zähligen Drehachse des Substratkristalls gerichtet ist. Dabei gilt für die Richtung R die Ableitung $dv/d\theta = 0$, worin v die Phasengeschwindigkeit der Oberflächenwelle und θ eine Winkelabweichung der Senkrechten zur Zinkenrichtung von dieser Richtung R ist, wobei jedoch die Richtungen senkrecht zu einer Spiegelebene des Substratkristalls ausgenommen sind. Außerdem sollen in diesem Zusammenhang für die Anordnung der interdigitalen Elektrodenstruktur die Kristallsubstrat-Oberflächen parallel zu einer Spiegelebene des Substratkristalls oder senkrecht zu einer 2-, 4- oder 6-zähligen Drehachse des Substratkristalls ausgenommen sein.

Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung sind die Elektrodenmaterialien und deren Schichtdicken so gewählt, dass die Phasenverschiebung Φs zwischen dem Anregungszentrum und einem Reflexionszentrum in jeder Wandlerzelle, gegeben durch die Gleichung

$$\sin^2(\Phi_s) = \frac{(\omega_{o2} - \omega_{s2})(\omega_{s2} - \omega_{o1})}{(\omega_{s2} - \omega_{s1})(\omega_{o1} + \omega_{o2} - \omega_{s1} - \omega_{s2})},$$

zwischen 41,4° und 48,6° oder zwischen -48,6° und -41,4° oder zwischen 131,4° und 138,6° oder zwischen -138,6° und -131,4° liegt, wobei ω_{s1} und ω_{s2} die Resonanzfrequenzen eines kurzgeschlossenen und ω_{o1} und ω_{o2} eines offenen interdigitalen Wandlers mit unendlich vielen Zinken sind, bei denen in jeder Wandlerzelle der Abstand des Anregungszentrums von einem Reflexionszentrum zwischen 0,115 und 0,135 oder zwischen -0,135 und -0,115 oder zwischen 0,365 und 0,385 oder zwischen -0,385 und -0,365 des Quotienten aus der Phasengeschwindigkeit der Oberflächenwelle und der Frequenz ist, bei der der Wandler die maximale Oberflächenwellenamplitude abstrahlt.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird unter dem Anregungszentrum die von der Geometrie der interdigitalen Elektrodenstruktur, dem piezoelektrischen Kristallsubstrat und den elektrischen Potentialen des Unidirektionalwandlers abhängige Linie parallel zu den Zinkenkanten verstanden, an der die elektrische Potentialwelle angeregt wird, die eine Komponente der erzeugten Oberflächenwellen ist.

Unter einem Reflexionszentrum wird gemäß der vorliegenden Erfindung die von der Geometrie der interdigitalen Elektrodenstruktur, dem piezoelektrischen Kristallsubstrat und den elektrischen Potentialen des Unidirektionalwandlers abhängige Linie parallel zu den Zinkenkanten verstanden, an der die vom Anregungszentrum angeregte elektrische Potentialwelle reflektiert wird, die eine Komponente der reflektierten Oberflächenwellen ist.

Die Lage des Anregungszentrums und die des Reflexionszentrums lässt sich für einen Unidirektionalwandler in an sich bekannter Weise mittels handelsüblicher Computerprogramme ermitteln aus:

- der Art des piezoelektrischen Kristallsubstrats, auf dem die interdigitalen Wandler angeordnet sind,
- dem vorliegenden Kristallsubstrat-Schnitt,
- der Ausrichtung der Zinkenkanten der interdigitalen Wandler zu den Achsen des piezoelektrischen Kristallsubstrats,
- den Zinkenpositionen in den interdigitalen Wandlern,
- den Zinkenbreiten und den Zinkendicken der interdigitalen Wandler,

- dem Werkstoff, aus dem die Zinken der interdigitalen Wandler bestehen,
- der Größe des an den Zinken der interdigitalen Wandler anliegenden elektrischen Potentials.

Es ist praktisch sehr zeitaufwendig, wenn nicht sogar unmöglich, durch Variation der Zinkenbreiten und –positionen von Hand Lösungen für Wandlerzellen mit vorgegebenen Eigenschaftsparametern zu finden. Als Hilfsmittel stehen jedoch computergestützte Optimierungsverfahren zur Verfügung. Beispielsweise sind entsprechende Optimierungsfunktionen in der Programmiersprache MATLAB im Markt verfügbar. Zur Berechnung der Eigenschaftsparameter der Struktur der Wandlerzellen, die beim jeweils aktuellen Schritt der Optimierung vorliegt, ist ein Analyseprogramm erforderlich, das die Eigenschaftsparameter numerisch berechnet. Deshalb können auch keine analytischen Beziehungen zwischen den Eigenschaftsparametern und der Zellstruktur angegeben werden. Solche Analyseprogramme können käuflich erworben werden.

Besonders überraschend ist, dass Wandler mit natürlichen unidirektionalen Eigenschaften sogar dann möglich sind, wenn die Hauptausbreitungsrichtung für akustische Oberflächenwellen mit einer 3-zähligen Drehachse eine hochsymmetrische Richtung des Substratkristalls ist, für die ebenfalls $dv/d\theta = 0$ gilt. Diese Möglichkeit, Wandler mit natürlichen unidirektionalen Eigenschaften zu konstruieren, wurde bisher nicht genutzt.

Im Folgenden werden vorteilhafte und zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung beschrieben.

Die Elektroden können als Schichtsystem ausgeführt sein, wobei das Schichtsystem auch nur eine Schicht enthalten kann.

Eine Wandlerzelle kann zwei gleich breite Zinken mit unterschiedlicher Polarität enthalten, deren Abstand der Zinkenmitten 0,5 des Quotienten aus der Phasengeschwindigkeit der Oberflächenwelle und der Frequenz, bei der der Wandler die maximale Oberflächenwellenamplitude abstrahlt, beträgt.

Eine Wandlerzelle kann aber auch unterschiedlich breite Zinken enthalten, wenn die Elektrodenmaterialien und deren Schichtdicken so gewählt sind, dass in einer Wandlerzelle, die zwei gleich breite Zinken mit unterschiedlicher Polarität enthält, deren Abstand 0,5 des Quotienten aus der Phasengeschwindigkeit der Oberflächenwelle und der Frequenz, bei der der Wandler die maximale Oberflächenwellenamplitude abstrahlt, beträgt, der Abstand des Anregungszentrums von einem Reflexionszentrum außerhalb der Bereiche 0,115 bis 0,135 und -0,135 bis -0,115 und 0,365 bis 0,385 und -0,385 bis -0,365 des Quotienten aus der Phasengeschwindigkeit der Oberflächenwelle und der Frequenz, bei der der Wandler die maximale Oberflächenwellenamplitude abstrahlt, liegt. Das ist besonders dann vorteilhaft, wenn beispielsweise ein Schichtsystem als Elektrodenmaterial verwendet werden soll, das eine zu große Schichtdicke eines der Elektrodenmaterialien erfordert, um in einen der geforderten Bereiche des Abstandes des Anregungszentrums von einem Reflexionszentrum zu kommen. In diesem Fall kann die natürliche Unidirektionalität durch eine konstruktive ergänzt werden. Dadurch können die schmalsten Zinken einer Zelle breiter sein als bei fehlender natürlicher Unidirektionalität.

Es ist vorteilhaft, wenn der Substratkristall eine 3-zählige Drehachse hat. Das trifft zum Beispiel für $LiNbO_3$, $LiTaO_3$ und Quarz zu, wobei diese Kristalle darüber hinaus zum trigonalen Kristallsystem gehören.

Das Substrat kann ein Y-Schnitt von $LiNbO_3$ sein und die Zinkenkanten können senkrecht zu dessen 3-zähliger oder Z-Achse ausgerichtet sein.

Der Substratkristall kann auch ein Kristall aus der Langasitfamilie sein, bestehend aus Langasit ($[La_3\ Ga\ Ga_3\ (GaSi)\ O_{14}]$), Langanit ($[La_3\ (Ga_{0,5}Nb_{0,5})\ Ga_3\ Ga_2\ O_{14}]$), Langatat ($[La_3(Ga_{0,5}Ta_{0,5})\ Ga_3\ Ga_2\ O_{14}]$), CNGS ($Ca_3NbGa_3Si_2O_{14}$), CTGS ($Ca_3TaGa_3Si_2O_{14}$), SNGS ($Sr_3NbGa_3Si_2O_{14}$), STGS ($Sr_3TaGa_3Si_2O_{14}$).

Die Zinken sind zweckmäßigerweise senkrecht zur 3-zähligen Drehachse gerichtet.

Es ist vorteilhaft, wenn im Falle der Ausführung der Elektrodenstruktur als mehrlagiges Schichtsystem die Dichte wenigstens eines der Elektrodenmaterialien

größer ist als die Dichte von Aluminium und/oder die Phasengeschwindigkeit der akustischen Scherwelle eines der Elektrodenmaterialien im kompakten Zustand kleiner ist als die Phasengeschwindigkeit der akustischen Scherwelle von kompaktem Aluminium.

Das Elektrodenmaterial kann in vorteilhafter Weise aus der mit Kupfer, Silber, Gold und Platin gebildeten Gruppe ausgewählt sein, wobei im Falle der Ausführung der Elektrodenstruktur als mehrlagiges Schichtsystem wenigstens eine Lage aus einem Elektrodenmaterial dieser Gruppe bestehen kann.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung können die Zinken der Elektrodenstruktur mit Hilfe von Gruben im Substrat vergraben sein. Dabei kann der Abstand des Anregungszentrums von einem Reflexionszentrum mit der Tiefe der Gruben variiert werden, ohne den Aufbau der Wandlerzellen zu ändern. Das ist auch möglich, wenn das Substrat oder Substrat und Elektrodenstruktur mit einer elektrisch isolierenden Schicht bedeckt sind, wobei die Zinken der Elektrodenstruktur mit Hilfe von Gruben in der Schicht vergraben sein können. Dabei können die Zinken teilweise oder vollständig im Substrat oder in der Schicht vergraben sein oder die Zinken können die Gruben nur zum Teil füllen.

Ausführungsbeispiel

Nachstehend ist die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels und der dazugehörigen Zeichnung näher erläutert.

Auf dem Y-Schnitt eines piezoelektrischen $LiNbO_3$ -Substrats 1 mit der Schnittnormale parallel zur kristallografischen Y-Achse des $LiNbO_3$, ist die Elektrodenstruktur eines interdigitalen Wandlers 2 mit den Zinken 21, 22, 23 und 24 angeordnet, wobei die Zinken 21 und 22 mit einer Sammelelektrode 3 und die Zinken 23 und 24 mit einer Sammelelektrode 4 verbunden sind. Die Zinken 21 und 23 bilden miteinander eine Wandlerzelle, ebenso wie die Zinken 22 und 24.

Alle Zinken 21 bis 24 sind gleich breit und der Abstand der parallel zu den Zinkenkanten gerichteten Mittellinien benachbarter Zinken, beispielsweise der Zinken 21 und 23, beträgt 0,5 des Quotienten aus der Phasengeschwindigkeit der

Oberflächenwelle und der Frequenz, bei der der Wandler die maximale Oberflächenwellenamplitude abstrahlt.

Der Wandler, der in der Figur enthalten ist, ist schematisch nur mit so vielen Zinken dargestellt, wie zur Erläuterung der Merkmale des Ausführungsbeispiels erforderlich sind. Die Wandler können sehr viel mehr Zinken enthalten als in der Figur dargestellt.

Die Elektrodenstruktur besteht aus Platin. Diese Materialwahl hat die Vorteile, dass der Reflexionsfaktor pro Wandlerzelle groß und die Beständigkeit der Elektrodenstruktur bei hohen Temperaturen gegeben ist. Die Dicke der Platinschicht beträgt 2,7% des Abstandes der parallel zu den Zinkenkanten gerichteten Mittellinien der Zinken 21 und 22 oder der Zinken 23 und 24.

Die Schichtdicke der Elektrodenstruktur ist so gewählt, dass in jeder Wandlerzelle der Abstand des Anregungszentrums von einem Reflexionszentrum zwischen 0,115 und 0,135 oder zwischen -0,135 und -0,115 oder zwischen 0,365 und 0,385 oder zwischen -0,385 und -0,365 des Quotienten aus der Phasengeschwindigkeit der Oberflächenwelle und der Frequenz, bei der der Wandler die maximale Oberflächenwellenamplitude abstrahlt, liegt.

Im vorliegenden Fall ist das Material der Elektrodenstruktur vorgegeben. Ein analytischer Zusammenhang zwischen den mechanischen Eigenschaften des Elektrodenmaterials und dessen Schichtdicke einerseits und dem Abstand des Anregungszentrums von einem Reflexionszentrum andererseits kann nicht angegeben werden. Deshalb sind diese Berechnungen aufgrund der Komplexität der Zusammenhänge nur numerisch möglich. Dabei wird die Schichtdicke des Elektrodenmaterials so lange variiert, bis der mit Hilfe eines Computerprogramms berechnete Abstand des Anregungszentrums von einem Reflexionszentrum in einen der oben angegebenen Bereiche fällt.

Beim Betreiben des Wandlers 2 wird über dessen elektrische Anschlüsse 5 und 6 eine hochfrequente Wechselspannung angelegt. Obwohl die Elektrodenstruktur des Wandlers 2 keine Vorzugsrichtung besitzt, strahlt er in Richtung 7 eine höhere Oberflächenwellenamplitude als in die entgegengesetzte Richtung 8 ab, das heißt,

der Wandler 2 weist eine natürliche Unidirektionalität auf, und die Richtung 7 wird als Vorwärtsrichtung bezeichnet.

Die Richtung 7 ist parallel zur kristallografischen Z-Achse von $LiNbO_3$ gerichtet, die eine 3-zählige Drehachse ist. Für diese Richtung gilt $dv/d\theta = 0$, wobei v die Phasengeschwindigkeit der Oberflächenwelle und θ eine Winkelabweichung der Senkrechten zur Zinkenrichtung von dieser Richtung ist. Diese Eigenschaft wird durch den parabolischen Verlauf der Kurve 10 verdeutlicht, die die Abhängigkeit der Phasengeschwindigkeit der Oberflächenwelle vom Winkel 9 darstellt. Der Winkel θ entspricht dem Winkel 9 in der Figur. Die in der Figur als informatorisches Element eingezeichnete Abszissenachse 11 symbolisiert die Variation des Winkels θ, welche die Variation der Phasengeschwindigkeit der Oberflächenwelle zur Folge hat, ausgedrückt durch die Kurve 10.

Wird die Elektrodenstruktur so gedreht, dass die Richtung 7' die Vorwärtsrichtung ist, so ergibt sich wegen der ersichtlichen parabolischen Abhängigkeit der Phasengeschwindigkeit der Oberflächenwelle vom Winkel 9 nur eine kleine Änderung der Phasengeschwindigkeit v der Oberflächenwelle. Somit ist die Frequenzlage des Wandlers 2 wenig empfindlich gegenüber Fehlern der Orientierung der Elektrodenstruktur auf dem Substrat, und der Wandler 2 weist trotzdem unidirektionale Eigenschaften auf.

Bezugszeichenliste

1	Piezoelektrisches Substrat
2, 2´	interdigitaler Wandler
21, 22, 23, 24	Zinken
3, 4	Sammelelektroden
5, 6	Anschlüsse
7, 7´	Richtung / Vorwärtsrichtung
8	Richtung
9	Winkel
10	Kurve
11	Abszissenachse

11006 PCTD 21.04.2010

Patentansprüche

1. Wandler mit natürlicher Unidirektionalität für akustische Oberflächenwellen, bei dem eine interdigitale Elektrodenstruktur auf einem piezoelektrischen Kristallsubstrat (1) angeordnet ist, die mit interdigitalen Wandlern (2) aufgebaut ist, welche aus Sammelelektroden (3;4) und Zinken (21;22;23;24) bestehen, wobei mindestens zwei der Zinken (21;23) (22;24) eine Wandlerzelle bilden, die mindestens ein Anregungszentrum zur Anregung einer elektrischen Potentialwelle und mindestens ein Reflexionszentrum zur Reflexion elektrischer Potentialwellen aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass
   a) die Zinken (21;22;23;24) senkrecht zu einer Richtung R ausgerichtet sind, wobei die Richtung R parallel zu einer 1- oder 3-zähligen Drehachse des Substratkristalls gerichtet ist, und dass
   b) für die Richtung R die Ableitung $dv/d\theta = 0$ gilt, worin v die Phasengeschwindigkeit der Oberflächenwelle und θ eine Winkelabweichung der Senkrechten zur Zinkenrichtung von dieser Richtung R ist,
   wobei jedoch die Richtungen senkrecht zu einer Spiegelebene des Substratkristalls ausgenommen sind,
   und wobei für die Anordnung der interdigitalen Elektrodenstruktur die Kristallsubstrat-Oberflächen parallel zu einer Spiegelebene des Substratkristalls oder senkrecht zu einer 2-, 4- oder 6-zähligen Drehachse des Substratkristalls ausgenommen sind,
   und dass
   c) die Elektrodenmaterialien und deren Schichtdicken so gewählt sind, dass die Phasenverschiebung Φs zwischen dem Anregungszentrum und einem Reflexionszentrum in jeder Wandlerzelle, gegeben durch die Gleichung

$$\sin^2(\Phi_s) = \frac{(\omega_{o2} - \omega_{s2})(\omega_{s2} - \omega_{o1})}{(\omega_{s2} - \omega_{s1})(\omega_{o1} + \omega_{o2} - \omega_{s1} - \omega_{s2})},$$

   zwischen 41,4° und 48,6° oder zwischen -48,6° und -41,4° oder zwischen 131,4° und 138,6° oder zwischen -138,6° und -131,4° liegt, wobei ω_{s1} und ω_{s2} die Resonanzfrequenzen eines kurzgeschlossenen und ω_{o1} und ω_{o2} eines

offenen interdigitalen Wandlers mit unendlich vielen Zinken sind, bei denen in jeder Wandlerzelle der Abstand des Anregungszentrums von einem Reflexionszentrum zwischen 0,115 und 0,135 oder zwischen -0,135 und -0,115 oder zwischen 0,365 und 0,385 oder zwischen -0,385 und -0,365 des Quotienten aus der Phasengeschwindigkeit der Oberflächenwelle und der Frequenz ist, bei der der Wandler die maximale Oberflächenwellenamplitude abstrahlt.

2. Wandler mit natürlicher Unidirektionalität nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Elektrodenstruktur einschichtig oder als mehrlagiges Schichtsystem ausgeführt ist.

3. Wandler mit natürlicher Unidirektionalität nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Wandlerzelle zwei gleich breite Zinken mit unterschiedlicher Polarität enthält, deren Abstand der Zinkenmitten 0,5 des Quotienten aus der Phasengeschwindigkeit der Oberflächenwelle und der Frequenz, bei der der Wandler die maximale Oberflächenwellenamplitude abstrahlt, beträgt.

4. Wandler mit natürlicher Unidirektionalität nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Wandlerzelle unterschiedlich breite Zinken enthält, wenn das Elektrodenmaterial und dessen Schichtdicke so gewählt ist, dass in einer Wandlerzelle, die zwei gleich breite Zinken mit unterschiedlicher Polarität enthält, deren Abstand der Zinkenmitten 0,5 des Quotienten aus der Phasengeschwindigkeit der Oberflächenwelle und der Frequenz, bei der der Wandler die maximale Oberflächenwellenamplitude abstrahlt, beträgt, der Abstand des Anregungszentrums von einem Reflexionszentrum außerhalb der Bereiche 0,115 bis 0,135 und -0,135 bis -0,115 und 0,365 bis 0,385 und -0,385 bis -0,365 des Quotienten aus der Phasengeschwindigkeit der Oberflächenwelle und der Frequenz, bei der der Wandler die maximale Oberflächenwellenamplitude abstrahlt, liegt.

5. Wandler mit natürlicher Unidirektionalität nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Substratkristall zum trigonalen Kristallsystem gehört.

6. Wandler mit natürlicher Unidirektionalität nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Substratkristall $LiNbO_3$, $LiTaO_3$, Quarz oder ein Kristall aus der Langasitfamilie ist, bestehend aus Langasit ($[La_3\ Ga\ Ga_3\ (GaSi)\ O_{14}]$), Langanit ($[La_3\ (Ga_{0,5}Nb_{0,5})\ Ga_3\ Ga_2\ O_{14}]$), Langatat ($[La_3(Ga_{0,5}Ta_{0,5})\ Ga_3\ Ga_2\ O_{14}]$), CNGS ($Ca_3NbGa_3Si_2O_{14}$), CTGS ($Ca_3TaGa_3Si_2O_{14}$), SNGS ($Sr_3NbGa_3Si_2O_{14}$) oder STGS ($Sr_3TaGa_3Si_2O_{14}$).

7. Wandler mit natürlicher Unidirektionalität nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das piezoelektrische Kristallsubstrat ein Y-Schnitt von $LiNbO_3$ ist und die Zinkenkanten senkrecht zu dessen 3-zähliger oder Z-Achse ausgerichtet sind.

8. Wandler mit natürlicher Unidirektionalität nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Falle der Ausführung der Elektrodenstruktur als mehrlagiges Schichtsystem die Dichte wenigstens eines der Elektrodenmaterialien größer ist als die Dichte von Aluminium.

9. Wandler mit natürlicher Unidirektionalität nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Falle der Ausführung der Elektrodenstruktur als mehrlagiges Schichtsystem die Phasengeschwindigkeit der akustischen Scherwelle eines der Elektrodenmaterialien im kompakten Zustand kleiner ist als die Phasengeschwindigkeit der akustischen Scherwelle von kompaktem Aluminium.

10. Wandler mit natürlicher Unidirektionalität nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Elektrodenmaterial aus der mit Kupfer, Silber, Gold und Platin gebildeten Gruppe ausgewählt ist, wobei im Falle der Ausführung der Elektrodenstruktur als mehrlagiges Schichtsystem wenigstens eine Lage aus einem Elektrodenmaterial dieser Gruppe besteht.

11. Wandler mit natürlicher Unidirektionalität nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat oder Substrat und Elektrodenstruktur mit einer elektrisch isolierenden Schicht bedeckt sind.

12. Wandler mit natürlicher Unidirektionalität nach Anspruch 1 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zinken der Elektrodenstruktur im Substrat und/oder in der elektrisch isolierenden Schicht teilweise oder vollständig in Gruben vergraben sind, wobei die Zinken die Gruben vollständig oder nur zum Teil ausfüllen.

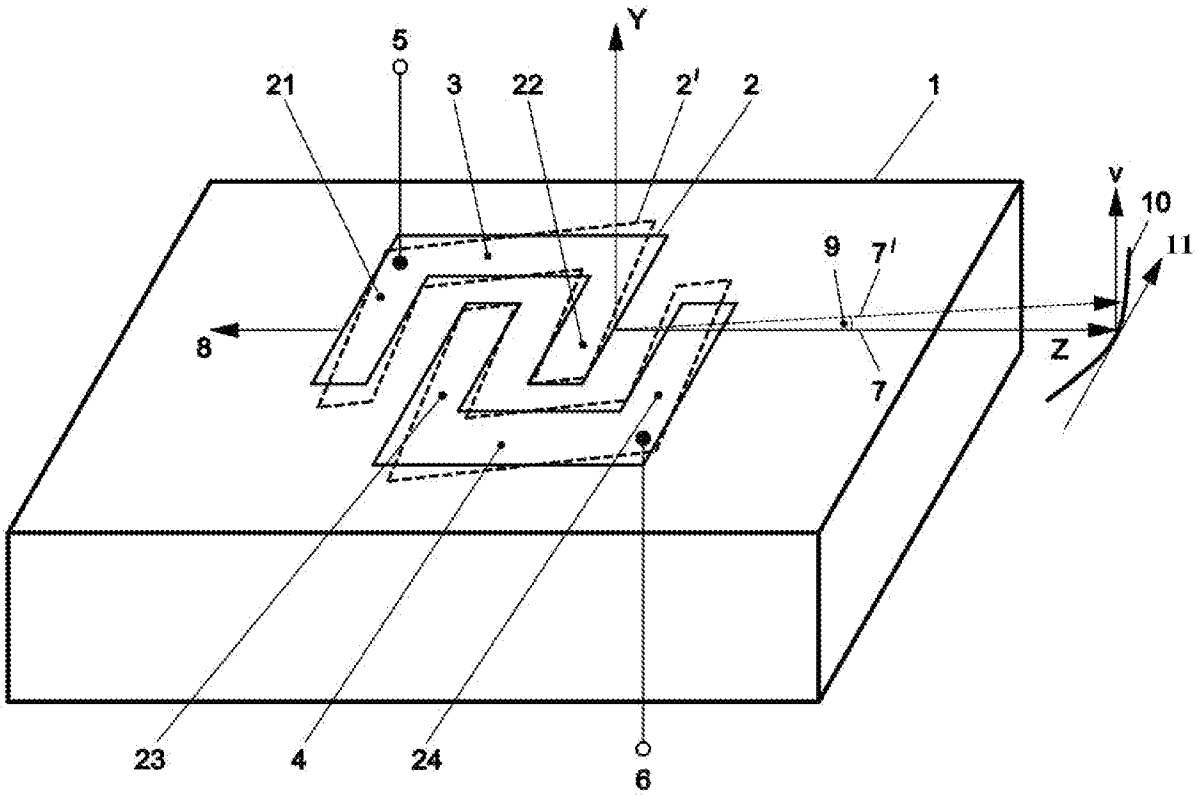


Fig.