

(12)

# PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 422/93

(51) Int.Cl.<sup>6</sup> : **H03H 9/25**  
H01L 41/08

(22) Anmeldetag: 4. 3.1993

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 4.1996

(45) Ausgabetag: 27.12.1996

(56) Entgegenhaltungen:

AT 390853B EP 0069112A2 EP 0313025A2 EP 0424362A2  
US 4670680A US 4670681A US 5051645A

(73) Patentinhaber:

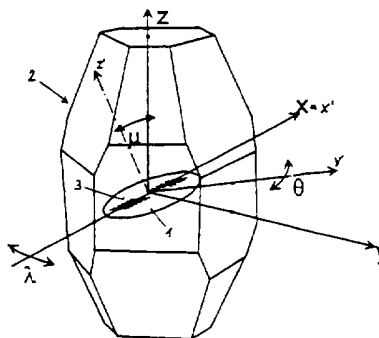
AVL GESELLSCHAFT FÜR VERBRENNUNGSKRAFTMASCHINEN  
UND MESSTECHNIK MBH. PROF.DR.DR.H.C. HANS LIST  
A-8020 GRAZ, STEIERMARK (AT).

(72) Erfinder:

WALLNÖFER WOLFGANG MAG.  
GRAZ, STEIERMARK (AT).  
KREPL PETER WALTER DR.  
GRAZ/RAGNITZ, STEIERMARK (AT).

(54) PIEZOELEKTRISCHES KRISTALLELEMENT

- (57) Für akustische Oberflächenwellenanordnungen werden temperaturkompensierte piezoelektrische Kristallelemente  $\text{GaPO}_4$  mit zumindest eine ebenen Fläche verwendet. Eine Verbesserung der Temperaturstabilität ist zu erwarten, wenn die ebene Fläche (3) durch die Eulerwinkel  $\lambda$  im Bereich von 0 Grad,  $\mu$  im Bereich von 40 Grad bis 75 Grad, vorzugsweise 50 Grad bis 60 Grad, und  $\theta$  im Bereich von 0 Grad bestimmt ist.



Die Erfindung betrifft ein piezoelektrisches Kristallelement für akustische Oberflächenwellenanwendungen aus  $\text{GaPO}_4$ , mit zumindest einer im wesentlichen ebenen Fläche.

Akustische Oberflächenwellen (AOW) auf Piezoelektrika werden in zahlreichen Bauelementen zur Signalverarbeitung verwendet. Diese Anwendungen im VHF- und UHF-Bereich umfassen Filter, Oszillatoren, Verzögerungsleitungen, Konvolver und verschiedene Arten von Sensoren. Die wichtigsten, vom jeweils verwendeten Substrat abhängigen Gütekriterien für AOW-Bauelemente sind Temperaturstabilität der Laufzeit bzw. der Mittenfrequenz, niedrige Einfügedämpfung (Abschwächung eines Signals durch Einbau eines Bauelementes in den Signalweg), sowie hohe Bandbreite. Die beiden letzteren Kriterien lassen sich nur durch hohe piezoelektrische Kopplung gemeinsam erfüllen. Der Temperaturkoeffizient der Laufzeit ergibt sich aus der Differenz der Temperaturkoeffizienten von Wellengeschwindigkeit und Weglänge. Heben sich beide auf, spricht man von einem temperaturkompensierten Schnitt. Derartige Schnitte sind jedoch nur bei wenigen Materialien realisierbar.

Als Substratmaterialien werden hauptsächlich ST-Quarz und Lithiumniobat verwendet. Ersteres bietet hohe Temperaturstabilität, jedoch nur schwache piezoelektrische Kopplung. Lithiumniobat hingegen hat eine sehr hohe Kopplung, die Laufzeit steigt jedoch mit der Temperatur stark an. Als Kompromißlösung zwischen beiden Forderungen wurde auch Lithiumtantalat verwendet, die Temperaturstabilität ist jedoch auch hier für viele Anwendungen zu gering.

Die Suche nach Materialien, die eine hohe piezoelektrische Kopplung und eine ausreichende Temperaturstabilität verbinden, ergab als interessanteste Materialien Berlinit ( $\text{AlPO}_4$ ) und Lithiumtetraborat ( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ). Beide Materialien haben eine höhere Kopplung als Quarz und weisen jeweils Schnitte mit verschwindendem ersten Temperaturkoeffizienten der Laufzeit auf. Der zweite (quadratische) Temperaturkoeffizient ist jedoch jeweils um mehr als eine Größenordnung höher als beim ST-Quarz. Beide Substrate haben sich daher kaum durchgesetzt.

Beispielsweise wird in der US 4 109 172 A ein temperaturkompensierter Berlinit-Wafer als Oberflächenwellenelement vorgeschlagen, dessen Oberfläche durch die Eulerwinkel  $\lambda = 0^\circ$ ,  $\mu = 80,4^\circ$  und  $\theta = 0^\circ$  bestimmt ist. Weiters ist aus der EP 0 144 544 B1 eine temperaturkompensierte Ausrichtung eines Berlinit-Kristalls bekannt, dessen Ebene Fläche durch die Winkel nach Euler  $\lambda = 0^\circ$ ,  $\mu$  ca.  $94^\circ$  bis  $104^\circ$  und  $\theta = 0^\circ$  bestimmt ist.

Die bisherigen Ausführungen beziehen sich auf den Standardtemperaturbereich für militärische bzw. kommerzielle Anwendungen. Noch stärker ist der Mangel an geeigneten Substratmaterialien im Hochtemperaturbereich von 100 bis  $900^\circ\text{C}$  ausgeprägt, da sich die Temperaturstabilität von Quarz und Berlinit bei höheren Temperaturen extrem verschlechtert. Der  $\alpha$ - $\beta$ -Phasenübergang bei  $573^\circ\text{C}$  bzw.  $588^\circ\text{C}$  bildet die oberste Grenze für ihre Verwendbarkeit. Dieser Bereich wäre jedoch für Sensoranordnungen von Interesse, da einerseits manche Anwendungsgebiete in diesen Temperaturbereichen liegen und andererseits die Ansprechzeit von chemischen Sensoren auf AOW-Basis mit der Temperatur stark abnimmt.

Wie bereits in der EP 0 069 112 A beschrieben, weisen andere Kristalle der Punktsymmetrieklasse 32 mit der chemischen Summenformel  $\text{ABO}_4$  eine wesentlich bessere Temperaturbeständigkeit bezüglich wichtiger physikalischer Eigenschaften auf. Z. B. zeigt die Tieftemperaturform von Galliumorthophosphat ( $\text{GaPO}_4$ ) die zum Quarz homöotyp und zu Berlinit isotyp ist, im Gegensatz zu diesen keinen  $\alpha$ - $\beta$ -Phasenübergang, sondern ist bis  $930^\circ\text{C}$  stabil. Eine temperaturkompensierte Orientierung für Resonatoren mit höherer piezoelektrischer Kopplung als bei Quarz ist beispielsweise in der AT 390 853 B beschrieben. Allerdings sind diese Orientierungen nicht für AOW-Anwendungen geeignet.

Schließlich ist aus der US 5 051 645 A eine Oberflächenwellenanwendung mit einem piezoelektrischen Substrat (z.B.  $\text{GaPO}_4$ ) dargelegt, welche in einem Sensor zur Bestimmung der unterschiedlichen Phasen von Wasser vorliegt.

Aufgabe der Erfindung ist es nun, piezoelektrische Kristallelemente für akustische Oberflächenwellenanwendungen vorzuschlagen, welche in ihrer Temperaturstabilität bisherige Materialien übertreffen und diese Temperaturstabilität möglichst auch bei hohen Temperaturen beibehalten.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Ebene Fläche (3) durch die Eulerwinkel  $\lambda$  im Bereich von  $0^\circ$ ,  $\mu$  im Bereich von  $40^\circ$  bis  $75^\circ$ , vorzugsweise  $50^\circ$  bis  $60^\circ$ , und  $\theta$  im Bereich von  $0^\circ$  bestimmt ist. Der optimale, temperaturkompensierte Schnittwinkelbereich für AOW-Anwendungen für  $\text{GaPO}_4$ -Kristalle liegt überraschenderweise deutlich außerhalb des Bereiches, der für das ähnlichste, in diesem Zusammenhang untersuchte Material, Berlinit, angegeben wird (Eulerwinkel  $\mu = 80^\circ$  bis  $104^\circ$ ). Die Toleranzen für die Eulerwinkel  $\lambda$  und  $\theta$  betragen in etwa  $\pm 5^\circ$ .

Als weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Kristallelementes sei hervorgestrichen, daß das Produkt aus Periodenlänge der Interdigitalwandler und Mittenfrequenz der Oberflächenwellenanordnung zwischen 2250 und  $2400 \mu\text{m MHz}$  liegt. Dieses Produkt ist deutlich niedriger als bei Quarz und Berlinit und ermöglicht daher bei derselben Mittenfrequenz eine kompaktere und weniger Material benötigende Bauweise.

Zumindest eine Oberfläche des Kristallelementes, auf welcher die elektronische Schaltung, beispielsweise die Interdigitalwandler aufgebracht sind, ist glatt poliert ausgeführt, während die andere Oberfläche weniger kritisch ist und unter Umständen auch zur Minderung des Einflusses der Volumswellenreflexion aufgeraut oder nicht ganz parallel zur anderen Oberfläche ausgeführt sein kann. Insbesondere ist es auch  
 5 möglich, daß das Kristallelement im wesentlichen die Form eines Wafers aufweist. Dicke und Umriß des Wafers sind dabei nicht kritisch.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß das Kristallelement Bestandteil eines chemischen Sensors ist und ganz oder teilweise mit einer sensitiven Schicht sowie ggf. mit einer Referenzschicht bedeckt ist. Dabei kann die sensitive Schicht bis 900 °C temperaturbeständig sein und  
 10 daher problemlos ausgeheizt werden.

Weiters hat sich ergeben, daß bei  $\text{GaPO}_4$  der Bereich maximaler piezoelektrischer Kopplung zwischen  $\mu = 90^\circ$  und  $\mu = 130^\circ$  im Gegensatz zu Berlinit einen hohen Temperaturkoeffizienten der Frequenz aufweist. Es ist daher möglich, einen Temperatursensor auf der Basis eines  $\text{GaPO}_4$ -Kristallelementes zu realisieren, wobei die ebene Fläche des Kristallelementes durch die Eulerwinkel  $\lambda$  im Bereich von  $0^\circ$ ,  $\mu$  im  
 15 Bereich von  $90^\circ$  bis  $130^\circ$  und  $\theta$  im Bereich von  $0^\circ$  bestimmt ist.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen Fig. 1 die Lage eines erfindungsgemäßen piezoelektrischen Kristallelementes in einem  $\text{GaPO}_4$ -Kristall, Fig. 2 ein erfindungsgemäßes Kristallelement mit einem akustischen Oberflächenwellen-Filter und Fig. 3 in schematischer Darstellung einen chemischen Sensor auf der Basis eines piezoelektrischen Kristallelementes nach Fig. 2.

Die Orientierung des piezoelektrischen Kristallelementes 1 in einem  $\text{GaPO}_4$ -Kristall 2 wird durch die drei Eulerwinkel  $\lambda$ ,  $\mu$  und  $\theta$  definiert. Diese bezeichnen die Winkel, um die ein Koordinatensystem  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$  dessen Achsen zuvor mit den drei Kristallachsen X, Y und Z übereinstimmen, nacheinander um seine dritte, erste und dritte Achse gedreht wird. Dabei bestimmt die erste Achse  $x'$  des gedrehten Systems die Richtung der Phasengeschwindigkeit der AOW und die dritte Achse  $z'$  die Normale auf die Oberfläche 3  
 20 des Kristallelementes 1. Bei sogenannten X-Boule-Schnitten, wozu auch die erfindungsgemäßen Schnitte gehören, stimmt die Phasengeschwindigkeitsrichtung wegen  $\lambda = \theta = 0^\circ$  mit der  $x'$ -Achse überein. Da diese bei  $\text{GaPO}_4$  eine zweizählige kristallographische Symmetrieachse ist, liegt auch die Gruppengeschwindigkeit in  $x'$ -Richtung und ihr Betrag weist dort einen Extremwert auf. Dies hat zwei günstige Eigenschaften zur Folge: Erstens kommt es zu keinem Strahlschräglauf (beam steering) und zweitens zu einer geringen  
 25 Empfindlichkeit auf Fehlorientierung bezüglich  $\theta$ .

Die Tatsache, daß es sich hier um einfach gedrehte Schnitte handelt, erleichtert das Orientieren und Schneiden des Kristallelementes wesentlich, besonders im Fall einer Massenproduktion.

Die Erfindung kann hauptsächlich im Frequenzbereich von 30 MHz bis 3 GHz für zahlreiche elektronische Anwendungen eingesetzt werden. Ein einfaches Beispiel ist ein Transversalfilter (Fig. 2). Dabei werden  
 30 zwei Interdigitalwandler  $le$ ,  $la$  auf die ebene Fläche 3 des piezoelektrischen Kristallelementes 1 aufgebracht. Ein elektrisches Signal am Eingangswandler  $le$  regt über die piezoelektrische Kopplung eine akustische Oberflächenwelle im Substrat an. Diese bewegt sich entlang der Oberfläche 3 zum Ausgangswandler  $la$  und erzeugt dort das elektrische Ausgangssignal. Durch Variation des Wandlers kann das Durchlaßverhalten des Filters optimiert werden.

Eine andere mögliche Ausführung der Erfindung ist ein chemischer Sensor auf AOW-Basis. Eine solche Anordnung ist z.B. in Fig. 3 skizziert. Dabei ist die Fläche zwischen oder im Bereich der Wandler  $la$ ,  $le$  mit einer selektiv absorbierenden Schicht 4 bedeckt. Die Meßfrequenz  $M$  und die von einer Referenzanordnung (Wandler  $le'$ ,  $la'$  und Referenzschicht 4') stammende Referenzfrequenz  $R$  werden einer Signalverarbeitung 5  
 35 zugeführt, wo eine Differenzfrequenz  $D$  als eigentliches Meßsignal gewonnen wird. Durch die absorptionsbedingte Massenbeladung der Oberfläche ändert sich die Phasenverschiebung zwischen ein- und austretendem Signal. Mit einer Oszillatorschaltung kann damit die Konzentration, z.B. von Gasen, gemessen werden. Durch die hohe Temperaturstabilität von  $\text{GaPO}_4$  kann ein solcher Sensor auf diesem Substrat bei Temperaturen bis 900 °C betrieben oder ausgeheizt werden.

Zur Verringerung von Wellendämpfung und Parameterschwankungen ist es von Vorteil, zonenreines  
 40 Kristallmaterial, vorzugsweise aus der Wachstumszone der (0001)-Fläche des Rohkristallbarrens 2 zu verwenden. Außerdem sollte die Infrarotabsorption im Wellenlängenbereich von 3  $\mu\text{m}$ , die ein Maß für die Konzentration der OH-Störstellen darstellt, möglichst gering sein.

In Abhängigkeit vom Temperaturbereich ist der Winkel  $\mu$  innerhalb des beanspruchten Bereiches so zu wählen, daß die Temperaturabhängigkeit der Laufzeit bzw. der Mittenfrequenz möglichst gering ist. Die  
 45 wichtigsten Bereiche sind die Normalbereiche für industrielle ( $20^\circ$  bis  $85^\circ\text{C}$ ) und militärische ( $-55^\circ\text{C}$  bis  $125^\circ\text{C}$ ) Spezifikationen sowie weitere Bereiche bis zu hohen Temperaturen für Sensoranwendungen, z.B.  $20^\circ\text{C}$  bis  $900^\circ\text{C}$ . Vorzugsweise ist hier so vorzugehen, daß die Differenz zwischen maximalem und minimalem Wert der Laufzeit im interessierenden Temperaturbereich beim gewählten Winkel minimal ist.

Es sind zwar bereits AOW-Elemente bekannt, deren Mittenfrequenz eine deutliche Temperaturabhängigkeit zeigen, sodaß damit Temperatursensoren verwirklicht werden können (F. Möller und J.Kuhn, Sensors and Actuators A, 30(1992) 73-75), durch die Verwedung von  $\text{GaPO}_4$  als Substrat und die im Anspruch 6 dargelegten Schnittwinkel ist vorteilhafterweise eine Ausdehnung des Meßbereiches bis  $900^\circ\text{C}$  möglich.

#### Patentansprüche

1. Piezoelektrisches Kristallelement für akustische Oberflächenwellenanwendungen aus  $\text{GaPO}_4$ , mit zumindest einer im wesentlichen ebenen Fläche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die ebene Fläche (3) durch die Eulerwinkel  $\lambda$  im Bereich von  $0^\circ$ ,  $\mu$  im Bereich von  $40^\circ$  bis  $75^\circ$ , vorzugsweise  $50^\circ$  bis  $60^\circ$ , und  $\theta$  im Bereich von  $0^\circ$  bestimmt ist.
2. Kristallelement nach Anspruch 1, mit Interdigitalwandlern, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Produkt aus Periodenlänge der Interdigitalwandler ( $\lambda_a$ ,  $\lambda_e$ ) und Mittenfrequenz der Oberflächenwellenanordnung zwischen 2250 und 2400  $\mu\text{m MHz}$  liegt.
3. Kristallelement nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Kristallelement (1) im wesentlichen die Form eines Wafers aufweist.
4. Kristallelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Kristallelement (1) Bestandteil eines chemischen Sensors ist und ganz oder teilweise mit einer sensitiven Schicht (4) sowie ggf. mit einer Referenzschicht (4') bedeckt ist.
5. Kristallelement nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die sensitive Schicht (4) bis  $900^\circ\text{C}$  temperaturbeständig ist.
6. Piezoelektrisches Kristallelement zur Temperaturbestimmung aus  $\text{GaPO}_4$ , mit zumindest einer im wesentlichen ebenen Fläche **dadurch gekennzeichnet**, daß die ebene Fläche (3) durch die Eulerwinkel  $\lambda$  im Bereich von  $0^\circ$ ,  $\mu$  im Bereich von  $90^\circ$  bis  $130^\circ$  und  $\theta$  im Bereich von  $0^\circ$  bestimmt ist.

Hiezu 1 Blatt Zeichnungen

