

(12) GEBRAUCHSMUSTERSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: GM 8096/02

(51) Int.Cl.⁷ : H03H 9/15
H03H 9/17, 9/02

(22) Anmeldetag: 26. 7.2001

(42) Beginn der Schutzdauer: 15. 7.2003

Längste mögliche Dauer: 31. 7.2011

(45) Ausgabetag: 25. 8.2003

(67) Umwandlung aus Patentanmeldung: 1171/2001

(73) Gebrauchsmusterinhaber:

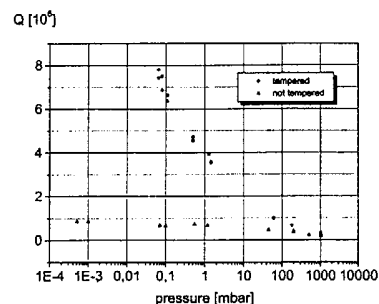
AVL LIST GMBH
A-8020 GRAZ, STEIERMARK (AT).

(72) Erfinder:

THANNER HERBERT MAG.
GRAZ, STEIERMARK (AT).
KREMPL PETER DR.
KAINBACH B. GRAZ, STEIERMARK (AT).

(54) PIEZOELEKTRISCHES EINKRISTALLELEMENT

(57) Die Erfindung betrifft ein piezoelektrisches Einkristallelement, welches an zumindest einer Oberfläche oder an gegenüberliegenden Oberflächen Anregungselektroden aufweist und zu einer Dickenscherschwungung anregbar ist. Erfindungsgemäß weist das Einkristallelement einen Kristallschnitt mit einer anregbaren Grundtonresonanzfrequenz im Dickenschermode auf, bei welcher der effektiv wirkende elektromechanische Kopplungsfaktor k_{eff} zwischen 0,05 % und 3 %, vorzugsweise zwischen 0,1 % und 2 %, liegt. Damit lassen sich Resonatoren mit einer hohen Schwingungsgüte herstellen.



Die Erfindung betrifft ein piezoelektrisches Einkristallelement, welches an zumindest einer Oberfläche oder an gegenüberliegenden Oberflächen Anregungselektroden aufweist und zu einer Dickenscherschwingung anregbar ist sowie unterschiedliche Anwendungen und ein Verfahren zur Herstellung eines derartigen piezoelektrischen Einkristallelementes bzw. Resonatorelementes.

Die Resonanzfrequenz eines piezoelektrischen Resonators ist neben den effektiv wirkenden Materialkonstanten und den physikalischen Abmessungen maßgeblich von der Wechselwirkung mit seiner Umgebung (z.B.: Druck, Temperatur, Massenbelastung) abhängig. Daraus ergeben sich in natürlicher Weise zwei grundsätzlich unterschiedliche Anwendungsbereiche. Zum Einen werden piezoelektrische Resonatoren als Frequenznormal verwendet, wobei sich der Resonator üblicherweise im Rückkopplungsweig eines Oszillators befindet und dadurch die Oszillatorfrequenz in der Nähe der Resonanzfrequenz stabilisiert wird. Bei dieser Anwendung werden die Einflüsse der Umgebung auf die Resonanzfrequenz durch hermetisch dichte Gehäuse, welche entweder mit Schutzgas gefüllt oder evakuiert sind möglichst konstant gehalten. Zum Anderen werden piezoelektrische Resonatoren als Sensorelement verwendet, wobei aus den gemessenen Änderungen der Resonanzeigenschaften auf die physikalischen oder chemischen Eigenschaften bzw. deren zeitliche Änderung der Umgebung Rückschlüsse gezogen werden. In beiden Anwendungsbereichen ist eine möglichst hohe Schwingungsgüte der betreffenden Resonanzfrequenz erwünscht, um einerseits eine besonders hohe Kurzzeitstabilität und andererseits eine besonders hohe Messauflösung bzw. Messempfindlichkeit zu erreichen.

Definition der Güte Q :

$$Q = \frac{f_m}{2} \left. \frac{d\varphi}{df} \right|_{f=f_m} \quad (\text{Gl. 1})$$

mit φ ...Phase

fFrequenz

f_mFrequenz bei maximaler Admittanz

wobei φ in Radiant und f, f_m in Hz einzusetzen sind.

Die Güte kann durch Messen der Änderung der Phase $\Delta\phi$ welche in einem Frequenzintervall Δf in der unmittelbaren Umgebung der maximalen Admittanz, z.B. mit einem Netzwerkanalysator gemessen werden. Nach diesem Verfahren wurden auch die Gütewerte, welche in Fig. 2 dargestellt sind bestimmt.

Der effektiv wirkende elektromechanische Kopplungsfaktor k_{eff} für die Grundtonresonanzfrequenz bzw. Serienresonanzfrequenz f_s ist definiert durch:

$$k_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{e_{\text{eff}}^2}{c_{\text{eff}}^{\text{D}} \varepsilon_{\text{eff}}^{\text{S}}}} \quad (\text{Gl. 2})$$

mit e_{eff} ...effektiv wirkendes piezoelektrisches Modul
 $c_{\text{eff}}^{\text{D}}$...effektiv wirkende elastische Scherkonstante (D=constant)
 $\varepsilon_{\text{eff}}^{\text{S}}$...effektiv wirkende Dielektrizitätskonstante (S=constant)
 D, S..Dielektrische Verschiebung, Verzerrungstensor

Die effektiv wirkenden Materialkonstanten e_{eff} , $c_{\text{eff}}^{\text{D}}$ und $\varepsilon_{\text{eff}}^{\text{S}}$ sind vom Schnittwinkel abhängig und können aus den Materialkonstanten des betreffenden Kristallmaterials berechnet werden (siehe beispielsweise S. Haussühl, Kristallphysik, Physik Verlag, ISBN 3-87664-587-5).

Der effektiv wirkende elektromechanische Kopplungsfaktor k_{eff} kann zum Beispiel durch eine Netzwerkanalyse bestimmt werden. Dabei wird dem Resonanzverhalten des piezoelektrischen Resonators das Modell eines Serienresonanzkreises mit Parallelkapazität zugrundegelegt. Aus dem Abstand zwischen Serienresonanzfrequenz $f_s \cong f_m$ (Definition siehe Fig. 1) und Parallelresonanzfrequenz $f_p \cong f_n$ (f_nFrequenz bei minimaler Admittanz, siehe Fig. 1) ergibt sich der effektiv wirkende elektromechanische Kopplungsfaktor k_{eff} mit:

$$k_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{f_p^2 - f_s^2}{f_p^2}} \quad (\text{Gl. 3})$$

Alle angegebenen Werte für den effektiv wirkenden elektromechanischen Kopplungsfaktor k_{eff} beziehen sich auf die Grundtonresonanzfrequenz f_s des jeweiligen piezoelektrischen Kristallschnitt bzw. piezoelektrischen Resonators.

So ist zum Beispiel aus Warner A.W., „Design and Performance of Ultraprecise 2.5-mc Quartz Crystal Units“, Bell Sys. Tech. J., Sept., 1960, pp. 1193-1215, bekannt, dass ein Quarz AT-Schnitt Resonator (effektiv wirkender elektromechanischer Kopplungsfaktor $k_{\text{eff}} = 8 \% \dots 9 \%$), mit einem Durchmesser von 30 mm, plankonvexen Oberflächen, mit Gold-Elektroden, bei Raumtemperatur und in Vakuum ($p=1,33 \cdot 10^{-9}$ bar), im 5. Oberton bei einer Resonanzfrequenz von 2,5 MHz, eine Güte Q von 5 bis 6 Millionen erreicht. Ebenso ist ein inverser Zusammenhang zwischen Resonanzfrequenz f_s (Definition siehe Fig. 1) und maximal erreichbarer Güte Q festgestellt worden. Für einen Quarz AT-Schnitt Resonator lässt sich dieser empirisch gefundene Zusammenhang durch die Angabe des Produktes von $Q \cdot f_s = 16 \cdot 10^6$ MHz ausdrücken.

Weiters ist aus Ch. Longet, G. Robichon, EFTF, 1995, pp. 141-145, eine elektrodenlose Anordnung bekannt, mit welcher - basierend auf einen Quarz BT-Schnitt Resonator - ein Produkt $Q \cdot f_s = 30 \cdot 10^6$ MHz erreicht wird. Dabei befinden sich die Anregungselektroden nicht direkt auf den Resonatoroberflächen, sondern in einem Abstand von einigen μm (sogenannte PVA-Resonatoren). Derartige Quarzresonatoren, welche z.B. aus der US-A 4,135,108 bekannt sind, bedürfen einer aufwendigen Herstellung und weisen große Baugrößen auf.

Ebenso ist aus R.C. Smythe, R.C. Helmbold, G.E. Hague, & K.A. Snow, Joint Meeting EFTF – IEEE IFCS, 1999, pp. 816-820, bekannt, dass ein Y-Schnitt Langanit (LGT) Resonator (effektiv wirkender elektromechanischer Kopplungsfaktor $k_{\text{eff}} > 10 \%$) mit einem Durchmesser von 14 mm, plan-konvexen Oberflächen, Gold-Elektroden, bei Raumtemperatur und in Vakuum ($p=1,33 \cdot 10^{-7}$ bar), im 7. Oberton bei einer Resonanzfrequenz von 14,058 MHz, eine Güte Q von 1,8 Millionen erreicht. Das entspricht einem Produkt $Q \cdot f_s = 25,6 \cdot 10^6$ MHz.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen piezoelektrischen Einkristall bzw. ein Verfahren zu dessen Herstellung vorzuschlagen, bei welchem die Güte Q – insbesondere bei Vakuumdrücken unter 10 mbar - besonders hohe Werte annimmt.

Die vorliegende Erfindung löst diese Aufgabe dadurch dass das Einkristallelement einen Kristallschnitt mit einer anregbaren Grundtonresonanzfrequenz im Dicken-schermode aufweist, bei welcher der effektiv wirkende elektromechanische Kopplungsfaktor k_{eff} zwischen 0,05 % und 3 %, vorzugsweise zwischen 0,1 % und 2 %, liegt.

Vorteilhafterweise werden Kristallmaterialien mit einer effektiv wirkenden elastischen Scherkonstante c_{eff}^D in einem Bereich von 10 bis 100 GNm^{-2} verwendet. Von Vorteil ist es weiters, Kristallmaterialien zu wählen, bei welchen für den ausgewählten Kristallschnitt keine Hysterese zwischen dem über die Anregungs-

elektroden erzeugten elektrischen Feld E und dem Feld der dielektrischen Verschiebung D entsteht.

Es hat sich überraschend herausgestellt, dass beispielsweise ein piezoelektrischer Resonator auf der Basis von Galliumorthophosphat (GaPO_4), mit einem Durchmesser von 7,4 mm und Gold-Elektroden, welcher einen relativ geringen, effektiv wirkenden elektromechanischen Kopplungsfaktor k_{eff} von ca. 0,2 % bis 0,4 % aufweist, bei einem Absolutdruck von $5 \cdot 10^{-5}$ bar einen sehr hohen Gütewert aufweist. Verglichen mit einem Quarzresonator ist der GaPO_4 -Resonator wesentlich kompakter (Durchmesser von z.B. 7,4 mm) und weist bei einer Dicke von 0,2 mm (bei einer Resonanzfrequenz von ca. 10 MHz) ein besseres Durchmesser/Dicken-Verhältnis auf.

Insbesondere wenn das Kristallelement nach dem Aufbringung der Anregungselektroden einer thermischen Behandlung über 150 °C ausgesetzt wird, können Gütewerte von über 8,7 Millionen bei einer Resonanzfrequenz f_s von ca. 9,816 MHz im Grundton erreicht werden. Daraus ergibt sich für das Produkt $Q \cdot f_s = 85 \cdot 10^6$ MHz. Weiters ist es auch möglich, das Kristallelement während der Aufbringung der Anregungselektroden auf Temperaturen von über 150 °C zu erwärmen. Die Aufbringung der Elektroden kann durch ein CVD-Verfahren (chemical vapour deposition) oder ein PVD-Verfahren (physical vapour deposition), vorzugsweise durch Sputtern, erfolgen.

Besonders vorteilhaft ist es, den piezoelektrischen Resonator nach dem Aufbringen der Elektroden für mehrere Stunden auf Temperaturen von über 150 °C zu erwärmen. So zeigt zum Beispiel ein für ca. 10 Stunden auf ca. 350 °C getemperter GaPO_4 -Resonator ($f_s = 5,903$ MHz) einen Güteanstieg von etwa 350.000 unter Normaldruck auf ca. 13 Millionen bei einem Absolutdruck $p = 40 \mu\text{bar}$. Hingegen erreicht ein nicht getemperter GaPO_4 Resonator ($f = 5,872$ MHz), welcher bei Normaldruck eine Güte von ca. 350.000 aufweist, bei einem Absolutdruck von 30 μbar eine Güte von ca. 1,75 Millionen.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist somit durch folgende Schritte gekennzeichnet:

- Herstellen eines Kristallschnittes mit einer anregbaren Grundresonanzfrequenz, bei welcher der effektiv wirkende elektromechanische Kopplungsfaktor k_{eff} zwischen 0,05 % und 3 %, vorzugsweise zwischen 0,1 % und 2 %, liegt; sowie
- Aufbringen von Anregungselektroden auf zumindest einer Oberfläche oder auf gegenüberliegenden Oberflächen des Einkristallelementes; sowie ggf.

- Tempern des Kristallschnittes bei Temperaturen von über 150°C

Ein weiteres Kennzeichen der Erfindung ist dadurch gegeben, dass der Frequenzabstand zur nächstgelegenen, anregbaren Nebenresonanzfrequenz >80 kHz, vorzugsweise >100 kHz. Darüber hinaus soll die maximale Admittanz der harmonischen Oberschwingungen nur $<10\%$, vorzugsweise $<5\%$ relativ zur Grundtonresonanzfrequenz erreichen, d.h. der n-te Oberton ($n=3,5,\dots$) soll nicht mehr deutlich anregbar sein.

Das thermische Ausdehnungsverhalten in der Ebene des Kristallschnittes ist beispielsweise bei Kristallen der Punktgruppe 32 durch zwei voneinander linear unabhängige Ausdehnungskoeffizienten $\alpha_{11} = \alpha_{22}$ und α_{33} vollständig beschreibbar. Als besonders vorteilhaft hat sich herausgestellt, einen Kristallschnitt zu wählen, bei welchem die effektiv wirkenden thermischen Ausdehnungskoeffizienten (α'_{11} und α'_{33}) in der Ebene des Kristallschnittes lediglich um einen Faktor $<1,5$ voneinander abweichen.

Als weiteres Merkmal der Erfindung ist vorgesehen, einen Kristallschnitt auszuwählen, bei welchem der Temperaturgang der Resonanzfrequenz der anzuregenden Dickenscherschwingung im Anwendungstemperaturbereich möglichst gering ist. Dies ist insbesondere dann gegeben, wenn der lineare Temperaturkoeffizient der Grundtonresonanzfrequenz an zumindest einer Stelle im Bereich der Betriebstemperatur des piezoelektrischen Einkristallelementes, vorzugsweise im Bereich zwischen 10°C und 100°C, Null ist (temperaturkompensierter Schnitt). Dazu muss der Temperaturgang der Resonanzfrequenz einen parabolischen oder einen kubischen Frequenzgang aufweisen, womit der lineare Temperaturkoeffizient innerhalb des Anwendungstemperaturbereich Null wird.

Gemäß einer ersten Ausführungsvariante der Erfindung gehört das Kristallmaterial der kristallographischen Punktgruppe 32 an, wobei das Kristallelement vorzugsweise aus quarzhomöotypem Galliumorthophosphat (GaPO_4) besteht.

Eine Kombination der besonders günstigen Eigenschaften wie extrem hohe Gütewerte, Temperaturkompensation der Resonanzfrequenz und großem Abstand zwischen Grundtonresonanzfrequenz und deren Nebenmoden kann durch die Anwendung eines piezoelektrischen Resonator auf der Basis von GaPO_4 erreicht werden, wobei ein einfach rotierten Y-Schnitt verwendet wird und sich der Schnittwinkel Φ in einem Bereich zwischen -80° und -88° , insbesondere zwischen -82° und -86° befindet.

Die Angabe des Vorzeichens der Schnittwinkel Φ bezüglich deren Drehrichtung um die kristallografischen Achsen erfolgen nach dem „IEEE Standard on Piezoelectricity; ANSI/IEEE Std. 176-1987.

Gemäß einer Ausführungsvariante der Erfindung ist vorgesehen, piezoelektrische Kristallelemente zu verwenden, welche der kristallografischen Raumgruppe P321 angehören, welche z.B. in „INTERNATIONAL TABLES FOR X-RAY CRYSTALLOGRAPHY, The Kynoch Press, 1969, pp. 255, erwähnt wird. Kristalle dieser Raumgruppe weisen eine $\text{Ca}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_4\text{O}_{14}$ – analoge Kristallstruktur auf wie z.B. Langasite ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$), Langanit ($\text{La}_3\text{Ga}_{5,5}\text{Nb}_{0,5}\text{O}_{14}$), Langanat ($\text{La}_3\text{Ga}_{5,5}\text{Ta}_{0,5}\text{O}_{14}$) oder Strontium-Gallium-Germanat ($\text{Sr}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_4\text{O}_{14}$) Einkristalle. Weitere Beispiele sind z.B. aus B.V.Mill, Yu.V.Pisarevsky, E.L.Belokoneva, „Synthesis, Growth and some Properties of Single Crystals with the $\text{Ca}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_4\text{O}_{14}$ Structure“, Joint Meeting EFTF – IEEE IFCS, 1999, pp. 829-834, angeführt.

Insbesondere bei Langasit ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$) Einkristallen ist durch die Wahl eines einfach rotierten Y-Schnittes, wobei der Drehwinkel Φ zwischen -55° und -85° , vorzugsweise zwischen -60° und -70° liegt, eine Kombination von niedriger Kopplung und Temperaturkompensation erreichbar.

Elektrische Vakuummeter messen den Druck indirekt über die Teilchenzahldichte, welcher bei gegebenem Druck von der Gasart abhängig ist. Die Druckskalen dieser Geräte sind üblicherweise auf Stickstoffdrücke bezogen. Wenn also der Druck eines anderen Gas(-gemisches) bestimmt werden soll, muss der angezeigte Druck mit einem Faktor multipliziert werden. Zusätzlich sind diese Faktoren bei Wärmeleitungs-Vakuummetern (Pirani) auch druckabhängig.

Aufgrund der besonders empfindlichen Druckabhängigkeit der Güte, insbesondere bei Vakuumdrücken unter 10 mbar, sind daher die erfindungsgemäßen Kristallelemente hervorragend zur Druckmessung zu verwenden, wobei eine Druckmessung unabhängig von der Gasart bzw. Gaszusammensetzung möglich ist.

Aufgrund der möglichen Kombination von Temperaturkompensation der Resonanzfrequenz und geringer elektromechanischer Kopplung, beispielsweise bei GaPO_4 und Langasit, kann das erfindungsgemäße Kristallelement als frequenzbestimmendes Bauelement (Frequenznormal) in ofenkontrollierten bzw. thermostatisierten Oszillatoren verwendet werden.

Eine weitere vorteilhafte Anwendung besteht darin, das erfindungsgemäße Kristallelement im Vakuum ($p < 10$ mbar) als Mikrowaagen-Sensorelement zu verwenden, bei welchem eine extrem hohe Empfindlichkeit gegenüber Massenbelastung erreicht werden kann.

Schließlich kann das erfindungsgemäße Kristallelement als elektronisches Filter mit besonders hoher Flankensteilheit eingesetzt werden.

Die vorliegende Erfindung wird im folgenden anhand von Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen die Fig. 1 ein Diagramm der Admittanz, bei welchem auf der Abszisse die Konduktanz und auf der Ordinate die Suszeptanz aufgetragen ist, Fig. 2 ein Diagramm der Güte Q in Abhängigkeit vom Druck für GaPO_4 sowie Fig. 3 den ersten Temperaturkoeffizienten der Resonanzfrequenz eines GaPO_4 -Dickenschers-Resonators in Abhängigkeit vom Schnittwinkel Φ .

Fig. 1 zeigt den Ortskreis der Admittanz, welcher für die Beschreibung des elektrischen Verhaltens eines piezoelektrischen Resonators verwendet wird. Ebenso sind die relevanten Definitionen der Serienresonanzfrequenz f_s , der Frequenz bei maximaler Admittanz f_m , der Parallelresonanzfrequenz f_p sowie der Frequenz bei minimaler Admittanz f_n ersichtlich. Der Abstand des Mittelpunktes des Ortskreises von der Abszisse ist proportional der Parallelkapazität C_0 , welche durch den Resonator zusammen mit den aufgebrachten Anregungselektroden gebildet wird.

Fig. 2 zeigt beispielsweise den Güteanstieg eines GaPO_4 Resonators (einfach gedrehter Y-Schnitt mit k_{eff} zwischen 0,2 und 0,4 %), welcher nach dem Aufbringen der Anregungselektroden getempert wurde im Vergleich zu einem nicht getemperten Resonator (Grundtonresonanzfrequenz ca. 6MHz). Bei Normaldruck liegen die Gütewerte in beiden Fällen etwa auf dem gleichen, hohen Niveau. Während der Druckreduktion steigen die Gütewerte des getemperten Resonators wesentlich stärker an, als im Falle des ungetemperten Resonators.

Fig. 3 zeigt die Abhängigkeit des linearen Temperaturkoeffizienten (1.TCF) der Resonanzfrequenz eines einfach rotierten Y-Schnittes eines GaPO_4 Dickenschers-Resonators (C-Mode) in Abhängigkeit des Drehwinkels Φ bei einer Temperatur von ca. 85 °C.

ANSPRÜCHE

1. Piezoelektrisches Einkristallelement, welches an zumindest einer Oberfläche oder an gegenüberliegenden Oberflächen Anregungselektroden aufweist und zu einer Dickenscherschwingung anregbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Einkristallelement aus einem Kristall der kristallographischen Punktgruppe 32 besteht und einen Kristallschnitt mit einer anregbaren Grundtonresonanzfrequenz im Dickenschermode aufweist, bei welcher der effektiv wirkende elektromechanische Kopplungsfaktor k_{eff} zwischen 0,05 % und 2 %, liegt, sowie dass der lineare Temperaturkoeffizient der Grundtonresonanzfrequenz an zumindest einer Stelle im Bereich der Betriebstemperatur des piezoelektrischen Einkristallelementes, vorzugsweise im Bereich zwischen 10°C und 100°C, Null ist und der Frequenzabstand zur nächstgelegenen, anregbaren Nebenresonanzfrequenz >80 kHz, vorzugsweise >100 kHz, ist.
2. Piezoelektrisches Einkristallelement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die maximale Admittanz der harmonischen Oberschwingungen nur <10 %, vorzugsweise <5 % relativ zur Grundtonresonanzfrequenz erreicht.
3. Piezoelektrisches Einkristallelement nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Einkristallelement bei Temperaturen über 150°C getempert ist.
4. Piezoelektrisches Einkristallelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die effektiv wirkenden thermischen Ausdehnungskoeffizienten in der Ebene des Kristallschnittes lediglich um einen Faktor <1,5 voneinander abweichen.
5. Piezoelektrisches Einkristallelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kristallelement aus quarzhomöotypem Galliumorthophosphat (GaPO_4) besteht.
6. Piezoelektrisches Einkristallelement nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kristallelement ein einfach rotierter Y-Schnitt ist, wobei der Drehwinkel Φ zwischen -80° und -88° , vorzugsweise zwischen -82° und -86° liegt.

7. Piezoelektrisches Einkristallelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kristallelement aus Languasite ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$), Langanit ($\text{La}_3\text{Ga}_{5,5}\text{Nb}_{0,5}\text{O}_{14}$) oder Langatit ($\text{La}_3\text{Ga}_{5,5}\text{Ta}_{0,5}\text{O}_{14}$) besteht.
8. Piezoelektrisches Einkristallelement nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kristallelement ein einfach rotierter Y-Schnitt aus Languasite ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$) ist, wobei der Drehwinkel Φ zwischen -55° und -85° , vorzugsweise zwischen -60° und -70° liegt.
9. Piezoelektrisches Einkristallelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Einkristallelement aus einem Kristall der kristallographischen Raumgruppe P321, vorzugsweise aus Strontium-Gallium-Germanat ($\text{Sr}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_4\text{O}_{14}$) besteht.
10. Verfahren zur Herstellung eines zu einer Dickenschwingung anregbaren piezoelektrischen Einkristallelementes, **gekennzeichnet durch** folgende Schritte:
 - Herstellen eines Kristallschnittes aus einem Kristall der kristallographischen Punktgruppe 32 mit einer anregbaren Grundresonanzfrequenz, bei welcher der effektiv wirkende elektromechanische Kopplungsfaktor k_{eff} zwischen 0,05 % und 2 %, liegt und der lineare Temperaturkoeffizient der Grundtonresonanzfrequenz an zumindest einer Stelle im Bereich der Betriebstemperatur des piezoelektrischen Einkristallelementes, vorzugsweise im Bereich zwischen 10°C und 100°C , Null ist, wobei der Frequenzabstand zur nächstgelegenen, anregbaren Nebenresonanzfrequenz >80 kHz, vorzugsweise >100 kHz, ist; sowie
 - Aufbringen von Anregungselektroden auf zumindest einer Oberfläche oder auf gegenüberliegenden Oberflächen des Einkristallelementes.
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kristallelement während der Aufbringung der Anregungselektroden auf Temperaturen von über 150°C erwärmt wird.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kristallelement nach dem Aufbringung der Anregungselektroden einer thermischen Behandlung über 150°C ausgesetzt wird.
13. Verwendung eines piezoelektrischen Kristallelementes nach einem der Ansprüche 1 bis 12, als Druckmesselement, insbesondere bei Vakuumdrücken <10 mbar.

14. Verwendung eines piezoelektrischen Kristallelementes nach einem der Ansprüche 1 bis 12, als frequenzbestimmendes Bauelement in ofenkontrollierten bzw. thermostatisierten Oszillatoren.
15. Verwendung eines piezoelektrischen Kristallelementes nach einem der Ansprüche 1 bis 12, als Mikrowaagen-Sensorelement, insbesondere bei Vakuumdrücken < 10 mbar.
16. Verwendung eines piezoelektrischen Kristallelementes nach einem der Ansprüche 1 bis 12, als elektronisches Filter mit hoher Flankensteilheit.

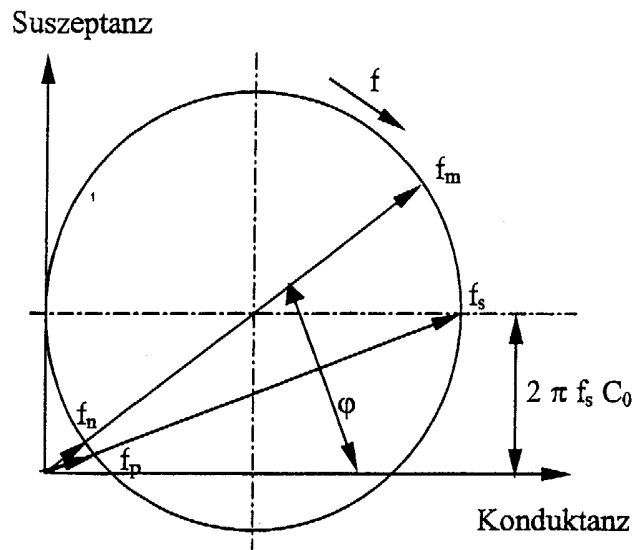


Fig. 1

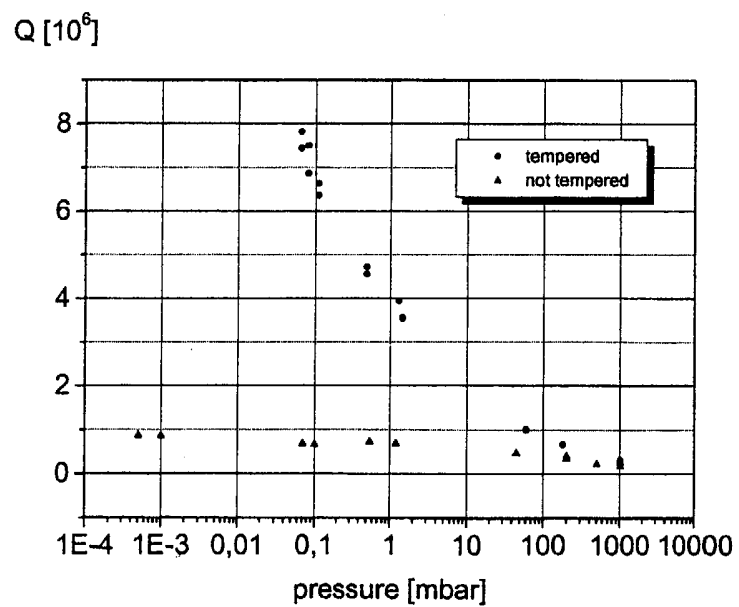
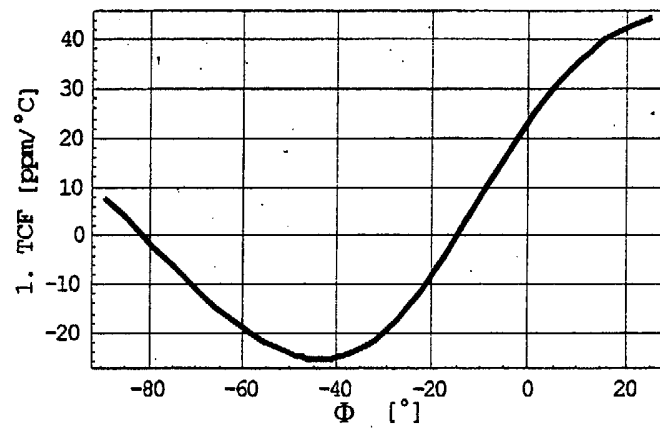


Fig. 2

*Fig. 3*



ÖSTERREICHISCHES PATENTAMT

Recherchenbericht zu GM 8096/2002

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC ¹⁾ : H 03 H 9/15, 9/17, 9/02		
Recherchierte Prüfsubstanz (Klassifikation): H 03 H 9/02, 9/145, 9/15, 9/17		
Konsultierte Online-Datenbank: WPI, EPODOC, PAJ		
Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 19.02.2003 eingereichten Ansprüchen erstellt. Die in der Gebrauchsmusterschrift veröffentlichten Ansprüche könnten im Verfahren geändert worden sein (§ 19 Abs. 4 GMG), sodass die Angaben im Recherchenbericht, wie Bezugnahme auf bestimmte Ansprüche, Angabe von Kategorien (X, Y, A), nicht mehr zutreffend sein müssen. In die dem Recherchenbericht zugrundeliegende Fassung der Ansprüche kann beim Österreichischen Patentamt während der Amtsstunden Einsicht genommen werden.		
Kategorie*)	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode*), Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
A	US 4 754 187 A (KOSINSKI J. A.), 28. Juni 1988 (28.06.88) ganzes Dokument	1-16
A	DE 29 13 798 A1 (CITIZEN W.), 11. Oktober 1979 (11.10.79) ganzes Dokument	1-16
Datum der Beendigung der Recherche: 19. März 2003		Prüfer(in): Dipl.-Ing. KOSKARTI
¹⁾ Bitte beachten Sie die Hinweise auf dem Erläuterungsblatt!		
☐ Fortsetzung siehe Folgeblatt		

ÖSTERREICHISCHES PATENTAMT

Erläuterungen zum Recherchenbericht

Die **Kategorien** der angeführten Dokumente dienen in Anlehnung an die Kategorien der Entgegenhaltungen bei EP- bzw. PCT-Recherchenberichten nur zur raschen Einordnung des ermittelten Stands der Technik. Sie stellen keine Beurteilung der Erfindungseigenschaft dar:

"A" Veröffentlichung, die den **allgemeinen Stand der Technik** definiert.

"Y" Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Antragsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.

"X" Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Antragsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.

"P" Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie „X“), jedoch **nach dem Stichtag**, auf den das Gutachten abzustellen war, **veröffentlicht** wurde.

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben **Patentfamilie** ist.

Ländercodes:

AT = Österreich; **AU** = Australien; **CA** = Kanada; **CH** = Schweiz; **DD** = ehem. DDR; **DE** = Deutschland; **EP** = Europäisches Patentamt; **FR** = Frankreich; **GB** = Vereinigtes Königreich (UK); **JP** = Japan; **RU** = Russische Föderation; **SU** = Ehem. Sowjetunion; **US** = Vereinigte Staaten von Amerika (USA); **WO** = Veröffentlichung gem. PCT (WIPO/OMPI); weitere Codes siehe **WIPO ST. 3**.

Die **genannten Druckschriften** können in der Bibliothek des Österreichischen Patentamtes während der Öffnungszeiten (Montag bis Freitag von 8 bis 12 Uhr 30, Dienstag von 8 bis 15 Uhr) unentgeltlich eingesehen werden. Bei der von der Teilrechtsfähigkeit des Österreichischen Patentamts betriebenen Kopierstelle können **Kopien** der ermittelten Veröffentlichungen bestellt werden.

Auf Bestellung gibt die von der Teilrechtsfähigkeit des Österreichischen Patentamts betriebene Serviceabteilung gegen Entgelt zu den im Recherchenbericht genannten Patentdokumenten allfällige veröffentlichte **"Patentfamilien"** (den selben Gegenstand betreffende Patentveröffentlichungen in anderen Ländern, die über eine gemeinsame Prioritätsanmeldung zusammenhängen) bekannt.

Auskünfte und Bestellmöglichkeit zu diesen Serviceleistungen erhalten Sie unter der Telefonnummer

01 / 534 24 - 738 bzw. 739;

Schriftliche Bestellungen:

per FAX Nr. 01 / 534 24 – 737 oder per E-Mail an Kopierstelle@patent.bmvit.gv.at