

(12)

# PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 461/94

(51) Int.Cl.<sup>6</sup> : **G01L 9/08**  
G01L 1/16

(22) Anmeldetag: 3. 3.1994

(42) Beginn der Patentdauer: 15.11.1995

(45) Ausgabetag: 25. 7.1996

(56) Entgegenhaltungen:

AT 278402B AT 319632B AT 389170B

(73) Patentinhaber:

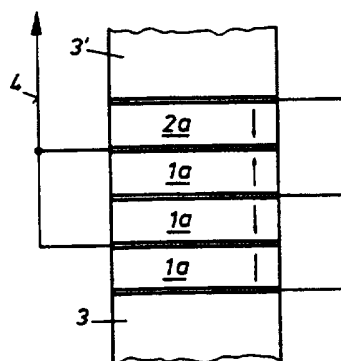
AVL GESELLSCHAFT FÜR VERBRENNUNGSKRAFTMASCHINEN  
UND MESSTECHNIK MBH. PROF.DR.DR.H.C. HANS LIST  
A-8020 GRAZ, STEIERMARK (AT).

(72) Erfinder:

KREML PETER WALTER DR.  
GRAZ/RAGNITZ, STEIERMARK (AT).  
SELIC ROLAND DIPL.ING.  
GRAZ, STEIERMARK (AT).

## (54) PIEZOELEKTRISCHES MESSELEMENT

(57) Zur besseren Temperaturkompensation eines piezoelektrischen Meßelementes zur Messung mechanischer Größen, insbesondere Druck, Kraft und Beschleunigung, mit zumindest zwei piezoelektrischen Kristallelementen wird vorgeschlagen, daß sich zumindest eines der Kristallelemente (1a; 1b; 1c; 1d) in an sich bekannter Weise physikalisch oder chemisch von den anderen Kristallelementen (2a; 2b; 2c; 2d) unterscheidet, wobei der positive Temperaturkoeffizient eines Piezokoeffizienten zumindest eines piezoelektrischen Kristallelementes (2a; 2b; 2c; 2d) den negativen Temperaturkoeffizienten des bzw. der anderen Kristallelemente (1a; 1b; 1c; 1d) kompensiert, sodaß die piezoelektrische Gesamtempfindlichkeit des Meßelementes in einem vorgegebenen Temperaturintervall im wesentlichen konstant bleibt.



Gegenstand der Erfindung ist ein piezoelektrisches Meßelement zur Messung mechanischer Größen, insbesondere Druck, Kraft und Beschleunigung, mit zumindest zwei piezoelektrischen Kristallelementen.

Mit fortschreitender Entwicklung hochtemperaturfester Materialien in vielen Bereichen der Technik ist es auch für die Meßtechnik bezüglich der Messung physikalischer Größen mittels piezoelektrischer Meßelemente notwendig geworden, auch bei hohen Temperaturen ein stabiles Meßverhalten zu zeigen.

Sehr gute Eigenschaften, wie hoher thermischer Einsatzbereich und stabiles Meßverhalten zeigt Galliumorthophosphat, welches der Symmetrieklasse 32 zugehört. Nachteilig dabei ist, daß dessen Zucht sich als sehr kompliziert darstellt und ausreichende Verfügbarkeit deshalb nicht gegeben ist. Das Material ist außerdem sehr teuer.

Zur Erreichung eines stabilen Meßverhaltens ist im Zusammenhang mit Quarz ein Kompensationsverfahren bekannt geworden, wie es beispielsweise in der AT 319 632 B beschrieben wird. Dort wird der positive Temperaturkoeffizient des Piezokoeffizienten  $d_{14}$  zur Kompensation des negativen Temperaturkoeffizienten des Piezokoeffizienten  $d_{11}$  genutzt und damit eine minimale Temperaturabhängigkeit des Transversalkoeffizienten  $d_{12}'$  erreicht. Um jedoch meßtechnisch vernünftige Signale zu erhalten, kann für das Kristallelement nur eine längliche Bauform gewählt werden, was die mechanische Belastbarkeit begrenzt.

Weiters ist es aus der AT 389 170 B bekannt, bei einem piezoelektrischen Meßelement mit zumindest zwei Kristallelementen, zur Vermeidung von Scherspannungen Kristallelemente aus Kristallen der Punktsymmetrieklasse 32 zu verwenden, bei welchen entgegengesetzte Enantiomorphie-Typen I und r existieren. Weiters ist aus der AT 278 402 B ein piezoelektrischer Meßwandler bekannt, bei welchem sich die einzelnen Kristallelemente physikalisch durch Verwendung unterschiedlicher Schnittrichtungen unterscheiden, was unterschiedliche Piezokoeffizienten zur Folge hat.

Ziel der Erfindung ist es, ein temperaturstabiles, piezoelektrisches Meßelement zur Verfügung zu haben, welches neben länglichen auch kompakte, hoch belastbare Bauformen zuläßt, und zusätzlich kostengünstig und leicht verfügbar ist.

Erfindungsgemäß werden diese Anforderungen dadurch erfüllt, daß sich zumindest eines der Kristallelemente in an sich bekannter Weise physikalisch oder chemisch von den anderen Kristallelementen unterscheidet, wobei der positive Temperaturkoeffizient eines Piezokoeffizienten zumindest eines piezoelektrischen Kristallelementes den negativen Temperaturkoeffizienten des bzw. der anderen Kristallelemente kompensiert, sodaß die piezoelektrische Gesamtempfindlichkeit des Meßelementes in einem vorgegebenen Temperaturintervall im wesentlichen konstant bleibt. Das Meßelement besteht aus mindestens zwei, kann aber auch aus mehreren Kristallplättchen bestehen. Wieviele Plättchen von welchem Material verwendet werden müssen, wird von den absoluten Größen der wirksamen piezoelektrischen Koeffizienten, sowie von den absoluten Größen der zugehörigen Temperaturkoeffizienten und von der gewünschten Gesamtempfindlichkeit bestimmt.

Bei der Ausnützung des longitudinalen Piezoeffektes werden die zumindest zwei Kristallelemente seriell, d.h. als Stapel mit der zu messenden Größe beaufschlagt, bei der Ausnützung des transversalen Piezoeffektes erfolgt eine parallele Beaufschlagung der Kristallelemente.

In einer ersten Ausführungsvariante wird vorgeschlagen, daß die Kristallelemente chemisch unterschiedlich sind, wobei zumindest ein Kristallelement mit negativem Temperaturkoeffizienten und zumindest ein Kristallelement mit positiven Temperaturkoeffizienten vorliegt, wobei die Schnittwinkel und die Anzahl der Kristallelemente so gewählt werden, daß sich im vorgegebenen Temperaturintervall eine im wesentlichen konstante Gesamtempfindlichkeit ergibt. Dabei ist beispielsweise vorgesehen daß das zumindest eine Kristallelement mit negativem Temperaturkoeffizienten aus Quarz und das zumindest eine Kristallelement mit positiven Temperaturkoeffizienten aus Langasit besteht.

In einer zweiten Ausführungsvariante wird vorgeschlagen, daß die Kristallelemente chemisch ident sind, wobei zumindest ein Kristallelement in einer ersten kristallographischen Orientierung mit negativem Temperaturkoeffizienten und zumindest ein Kristallelement in einer zweiten kristallographischen Orientierung mit positiven Temperaturkoeffizienten vorliegt, wobei die Schnittwinkel und die Anzahl der Kristallelemente so gewählt werden, daß sich im vorgegebenen Temperaturintervall eine im wesentlichen konstante Gesamtempfindlichkeit ergibt.

Dabei ist beispielsweise vorgesehen, daß die Kristallelemente aus Lithiumtantalat bestehen, wobei das Kristallelement mit negativen Temperaturkoeffizienten ein Y-Schnitt und das Kristallelement mit positiven Temperaturkoeffizienten ein Z-Schnitt ist.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von Zeichnungen und Beispielen näher erläutert. Es zeigen Fig. 1 ein Kristallelement in Form eines Kristallplättchens, Fig. 2 ein quaderförmiges Kristallelement und die Fig. 3 bis 6 verschiedene Ausführungsvarianten der erfindungsgemäßen Meßelementes in schematischer Darstellung.

Dem Koordinatensystem für die in den nachfolgenden Beispielen angeführten Rotationen wird der "IEEE-Standard on Piezoelectricity 176-1978" zugrundegelegt, wobei die x-Achse mit einer kristallographischen a-Achse und die z-Achse mit der optischen c-Achse zusammenfällt.

Positive Drehungen sind bei Achsendraufsicht als Drehung gegen den Uhrzeigersinn zu verstehen. Rotationen werden bei Kristallelementen in Form von Kreisplatten in der Nomenklatur  $AB\alpha$  angegeben, wobei A die Richtung der Plättchendicke in der Ausgangslage, B die Achse entlang des Durchmessers, um den das Plättchen gedreht wird, und  $\alpha$  die Größe der Drehung in Grad bezeichnen.

Abbildung 1 zeigt ein um den Winkel  $\gamma$  um die z-Achse gedrehtes x-Longitudinalplättchen mit der Rotation  $XZ\gamma$ .

Bei quaderförmigen Kristallelementen, wie sie in Beispiel 4 verwendet werden, wird die Nomenklatur  $AB\alpha$  verwendet. Die ersten zwei Buchstaben geben der Reihe nach die Richtungen der Dicke und Länge des Quaders in der Ausgangslage an. Es folgt die Angabe der Kantenrichtung und des Winkels, um den das Kristallelement um diese Kante gedreht wird.

Abbildung 2 zeigt ein um den Winkel  $\alpha$  um die x-Achse gedrehtes Transversalelement mit der Rotation  $XY\alpha$ .

Nachfolgende Drehungen beziehen sich auf die Lage der Achsen, die sie durch die vorhergehenden Drehungen eingenommen haben.

**Beispiel 1:** Das Meßelement gemäß Fig. 3 besteht aus chemisch unterschiedlichen Kristallelementen 1a und 2a und soll im Temperaturintervall  $20^\circ\text{C} - 400^\circ\text{C}$  eine im wesentlichen konstante piezoelektrische Gesamtempfindlichkeit von mehr als  $8\text{pC/N}$  aufweisen.

Verwendet wird als Material mit negativem Temperaturkoeffizienten Quarz, als Material mit positivem Temperaturkoeffizienten Langasit.

Quarzelemente mit der hier bevorzugten Rotation  $YZ20^\circ YX13^\circ$  verändern in diesem Temperaturintervall ihre Longitudinalempfindlichkeit von  $1.84\text{ pC/N}$  um  $0.15\text{ pC/N}$  auf  $1.69\text{ pC/N}$ . Werden, wie hier zur Erreichung der gewünschten Gesamtempfindlichkeit, drei Quarzkristallelemente 1a verwendet, so sinkt diese entsprechend um  $0.45\text{ pC/N}$ . Die Empfindlichkeit des vierten, aus Langasit bestehenden Kristallelementes 2a muß sich daher um den gleichen Wert erhöhen. Dies gelingt durch die Verwendung eines um die y-Achse gedrehten Schnittes, mit der Rotation  $XY38^\circ$ , der bei Raumtemperatur eine Empfindlichkeit von  $2.96\text{ pC/N}$  aufweist.

Die Gesamtempfindlichkeit des Meßelementes ergibt sich somit zu  $8.48\text{ pC/N}$ , womit alle Forderungen erfüllt sind.

Fig. 3 zeigt den schematischen Aufbau und die elektrische Schaltung eines solchen Stapels, der in einem Gehäuse 3, 3' eingespannt ist. Wegen der Unabhängigkeit der Longitudinalempfindlichkeit von der Plättchendicke kann dieser kleiner als  $1\text{ mm}$  sein. Mit den Pfeilen in den einzelnen Kristallelementen 1a und 2a ist die Polarisationsrichtung angedeutet, bei 4 erfolgt die Ladungsabnahme.

**Beispiel 2:** Das Meßelement gemäß Fig. 4 besteht aus zwei chemisch gleichen, jedoch unterschiedlich geschnittenen Kristallelementen 1b und 2b und soll im Temperaturintervall  $20^\circ\text{C} - 400^\circ\text{C}$  eine im wesentlichen konstante piezoelektrische Gesamtempfindlichkeit von mehr als  $15\text{ pC/N}$  aufweisen.

Als Material mit negativem Temperaturkoeffizienten wird ein Lithiumtantalat-Y-Schnitt ( $\text{LiTaO}_3$ ), als Material mit positivem Temperaturkoeffizienten ein Lithiumtantalat-Z-Schnitt verwendet.

Das Lithiumtantalat-Y-Plättchen (Kristallelement 1b) verändert in diesem Temperaturintervall seine Empfindlichkeit von  $8.5\text{ pC/N}$  um  $0.41\text{ pC/N}$  auf  $8.09\text{ pC/N}$ . Die Empfindlichkeit des Lithiumtantalat-Z-Plättchens (Kristallelemente 2b) muß sich daher um den gleichen Betrag erhöhen. Dies gelingt durch die Verwendung eines um die x-Achse gedrehten Z-Schnittes mit der Rotation  $ZX-25^\circ$ , der bei Raumtemperatur eine Empfindlichkeit von  $11.22\text{ pC/N}$  aufweist.

Die Gesamtempfindlichkeit ergibt sich somit zu  $19.72\text{ pC/N}$ , womit alle Forderungen erfüllt sind.

Abbildung 4 zeigt den Aufbau und die elektrische Schaltung eines solchen Stapels, der, wegen der Unabhängigkeit der Longitudinalempfindlichkeit von der Plättchendicke, kleiner als  $0.5\text{ mm}$  sein kann.

**Beispiel 3:** Das Meßelement besteht aus zwei chemisch unterschiedlichen Kristallelementen 1c und 2c und soll im Temperaturintervall  $20^\circ\text{C} - 400^\circ\text{C}$  eine im wesentlichen konstante piezoelektrische Gesamtempfindlichkeit von mehr als  $25\text{ pC/N}$  aufweisen.

Als Material mit negativem Temperaturkoeffizienten wird ein Lithiumtantalat-Y-Schnitt ( $\text{LiTaO}_3$ ), als Material mit positivem Temperaturkoeffizienten ein Lithiumniobat-Y-Schnitt ( $\text{LiNbO}_3$ ) verwendet.

Ein Lithiumtantalat-Y-Plättchen (Kristallelemente 1c) verändert in diesem Temperaturintervall seine Empfindlichkeit von  $8.5\text{ pC/N}$  um  $0.41\text{ pC/N}$  auf  $8.09\text{ pC/N}$ . Werden, wie hier zur Erreichung der gewünschten Gesamtempfindlichkeit, zwei Plättchen verwendet, so sinkt diese entsprechend um  $0.82\text{ pC/N}$ . Die Empfindlichkeit der beiden anderen, aus Lithiumniobat bestehenden Plättchen (Kristallelemente 2c) muß sich daher um den gleichen Wert erhöhen. Dies gelingt durch die Verwendung eines um die

z-Achse gedrehten Schnittes, mit der Rotation  $YZ25.5^\circ$ , der bei Raumtemperatur eine Empfindlichkeit von 4.83 pC/N aufweist.

Die Gesamtempfindlichkeit des Stapels ergibt sich somit zu 26.66 pC/N, womit alle Forderungen erfüllt sind.

5 Abbildung 5 zeigt den Aufbau und die elektrische Schaltung eines solchen Stapels, welcher ebenfalls kleiner als 1 mm sein kann.

Die Kombination der in Beispiel 3 angeführten Schnitte hat noch den zusätzlichen Vorteil, daß der pyroelektrische Effekt von Lithiumniobat und -tantalat nicht störend in Erscheinung tritt, da dieser nur in z-Richtung wirksam ist.

10 In manchen Anwendungsfällen (bei geringer mechanischer Belastung) ist es möglich, daß die Bauhöhe des Meßelementes keine Rolle spielt. In diesen Fällen läßt sich das beschriebene Kompensationsverfahren auch bei Ausnutzung des Transversaleffektes anwenden.

Beispiel 4: Das Meßelement besteht aus zwei chemisch unterschiedlichen, quaderförmigen Kristallelementen 1d und 2d, und soll im Temperaturintervall  $20^\circ\text{C} - 400^\circ\text{C}$  eine im wesentlichen konstante piezoelektrische Gesamtempfindlichkeit von mehr als 3.5 pC/N aufweisen.

15 Verwendet wird als Material mit negativem Temperaturkoeffizienten Quarz, als Material mit positivem Temperaturkoeffizienten Langasit (Lanthan-Gallium-Silikat:  $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ), wobei die Belastung in Y-Richtung und die Ladungsabnahme an den X-Flächen erfolgt. Quarzelemente 1d verändern in diesem Temperaturintervall ihre Transversalempfindlichkeit von 2.3 pC/N um 0.19 pC/N auf 2.11 pC/N. Die Empfindlichkeit des aus Langasit bestehenden Elementes 2d muß sich daher um den gleichen Wert erhöhen. Dies gelingt durch die Verwendung eines um die z-Achse gedrehten Schnittes, mit der Rotation  $XYz26^\circ$ , der bei Raumtemperatur eine Empfindlichkeit von 1.25 pC/N aufweist.

Die Gesamtempfindlichkeit ergibt sich somit zu 3.55 pC/N, womit alle Forderungen erfüllt sind.

25 Abbildung 6 zeigt den Aufbau und die elektrische Schaltung eines solchen, aus zwei Teilen bestehenden Meßelementes.

Die Kristallelemente 1d und 2d weisen eine elektrisch leitende Schicht 5 auf. Zwischen dem Gehäuseoberteil 3' und einer die Kristallelemente kontaktierenden Elektrode 6 ist ein Isolator 7 angeordnet. Die Ladungsabnahme ist wie in den voranstehenden Beispielen mit 4 bezeichnet.

### 30 Patentansprüche

1. Piezoelektrisches Meßelement zur Messung mechanischer Größen, insbesondere Druck, Kraft und Beschleunigung, mit zumindest zwei piezoelektrischen Kristallelementen, **dadurch gekennzeichnet**, daß sich zumindest eines der Kristallelemente (1a; 1b; 1c; 1d) in an sich bekannter Weise physikalisch oder chemisch von den anderen Kristallelementen (2a; 2b; 2c; 2d) unterscheidet, wobei der positive Temperaturkoeffizient eines Piezokoeffizienten zumindest eines piezoelektrischen Kristallelementes (2a; 2b; 2c; 2d) den negativen Temperaturkoeffizienten des bzw. der anderen Kristallelemente (1a; 1b; 1c; 1d) kompensiert, sodaß die piezoelektrische Gesamtempfindlichkeit des Meßelementes in einem vorgegebenen Temperaturintervall im wesentlichen konstant bleibt.

40 2. Meßelement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Kristallelemente chemisch unterschiedlich sind, wobei zumindest ein Kristallelement (1a; 1c; 1d) mit negativem Temperaturkoeffizienten und zumindest ein Kristallelement (2a; 2c; 2d) mit positiven Temperaturkoeffizienten vorliegt, wobei die Schnittwinkel und die Anzahl der Kristallelemente so gewählt werden, daß sich im vorgegebenen Temperaturintervall eine im wesentlichen konstante Gesamtempfindlichkeit ergibt.

3. Meßelement nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß das zumindest eine Kristallelement (1a) mit negativem Temperaturkoeffizienten aus Quarz und das zumindest eine Kristallelement (2a) mit positivem Temperaturkoeffizienten aus Langasit ( $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ ) besteht.

50 4. Meßelement nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß das zumindest eine Kristallelement (1c) mit negativem Temperaturkoeffizienten aus Lithiumtantalat ( $\text{LiTaO}_3$ ) und das zumindest eine Kristallelement (2c) mit positivem Temperaturkoeffizienten aus Lithiumniobat ( $\text{LiNbO}_3$ ) besteht.

55 5. Meßelement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Kristallelemente (1b, 2b) chemisch ident sind, wobei zumindest ein Kristallelement (1b) in einer ersten kristallographischen Orientierung mit negativem Temperaturkoeffizienten und zumindest ein Kristallelement (2b) in einer zweiten kristallographischen Orientierung mit positiven Temperaturkoeffizienten vorliegt, wobei die Schnittwinkel und die

## AT 401 201 B

Anzahl der Kristallelemente so gewählt werden, daß sich im vorgegebenen Temperaturintervall eine im wesentlichen konstante Gesamtempfindlichkeit ergibt.

- 5 6. Meßelement nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Kristallelemente (1b, 2b) aus Lithiumtantalat bestehen, wobei das Kristallelement (1b) mit negativen Temperaturkoeffizienten ein Y-Schnitt und das Kristallelement (2b) mit positiven Temperaturkoeffizienten ein Z-Schnitt ist.

Hiezu 2 Blatt Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

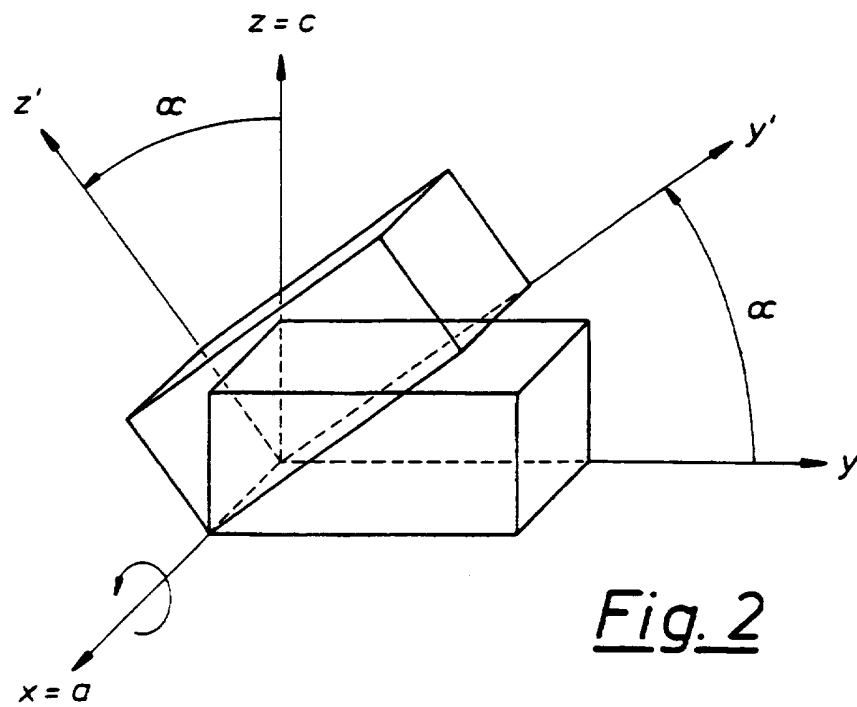
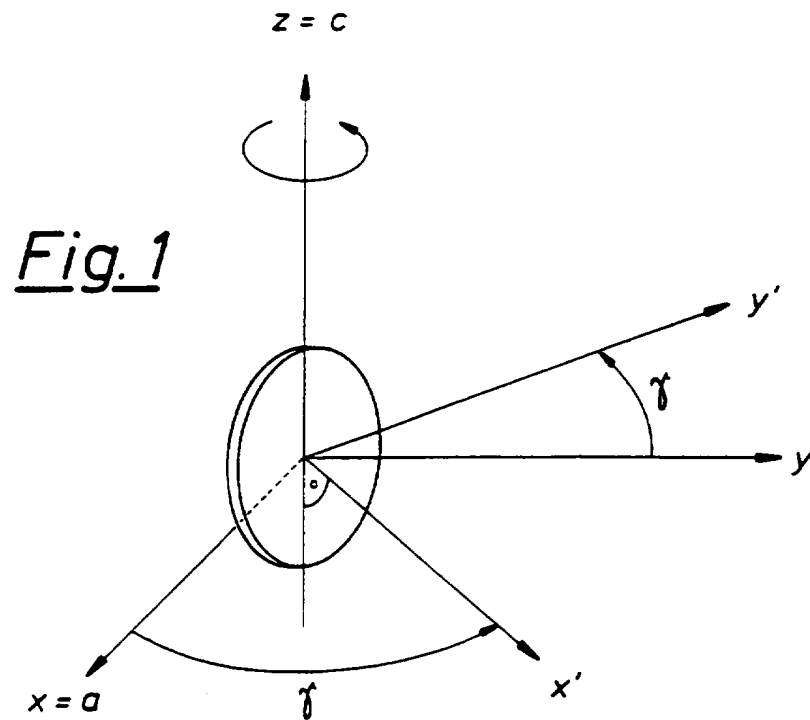


Fig. 3

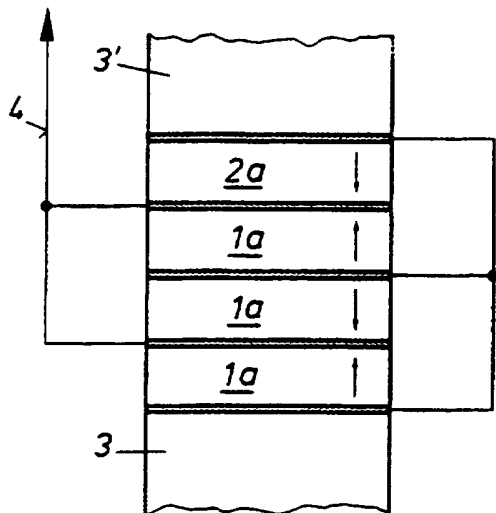


Fig. 5

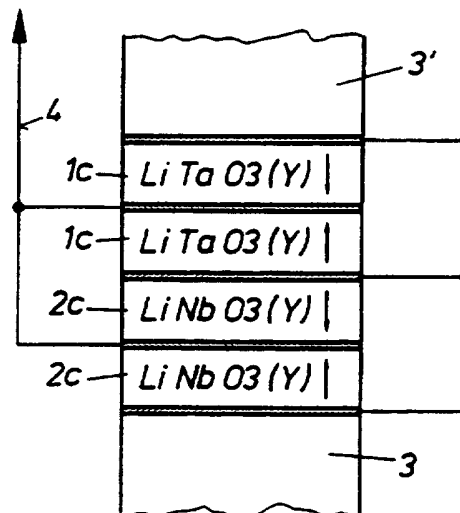


Fig. 4

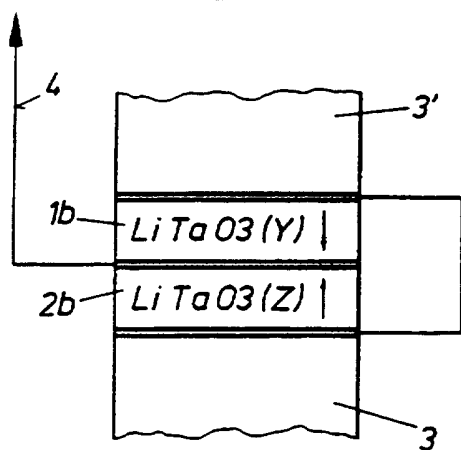


Fig. 6

