



CH 689 924 A5



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

11 CH 689 924 A5

51 Int. Cl. 7: G 01 L 001/16
G 01 L 009/08
G 01 L 023/10

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer: 00509/95

22 Anmeldungsdatum: 22.02.1995

30 Priorität: 03.03.1994 AT A461/94

24 Patent erteilt: 31.01.2000

45 Patentschrift
veröffentlicht: 31.01.2000

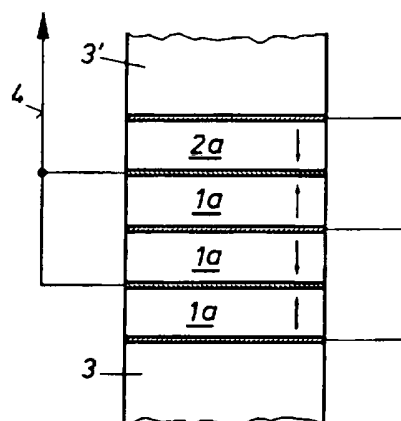
73 Inhaber:
AVL Gesellschaft für
Verbrennungskraftmaschinen und Messtechnik mbH,
Prof. Dr. Dr. h.c. Hans List,
Kleiststrasse 48, Graz (AT)

72 Erfinder:
Krempf, Peter W., Graz (AT)
Selig, Roland, Graz (AT)

74 Vertreter:
Isler & Pedrazzini AG, Patentanwälte,
Stampfenbachstrasse 48, Postfach 6940,
8023 Zürich (CH)

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) physikalisch oder chemisch von den anderen Kristallelementen (2a) unterscheidet, wobei der positive Temperaturkoeffizient eines Piezokoeffizienten zumindest eines piezoelektrischen Kristallelementes (2a) den negativen Temperaturkoeffizienten des bzw. der anderen Kristallelemente (1a) kompensiert, so dass die piezoelektrische Gesamttempefindlichkeit des Messelementes in einem vorgegebenen Temperaturintervall im Wesentlichen konstant bleibt.



CH 689 924 A5

Beschreibung

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-A 319 632 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_{21}' 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-B 389 170 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-PS 278 402 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 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, so dass 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 identisch 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

Fig. 3 bis 6 verschiedene Ausführungsvarianten der erfindungsgemässen Messelemente in schematischer Darstellung.

Dem Koordinatensystem für die in den nachfolgenden Beispielen angeführten Rotationen wird der «IEEE-Standard on Piezoelectricity 176-1978» zugrunde gelegt, 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 Durchmes-

sers, um den das Plättchen gedreht wird, und α die Grösse der Drehung in Grad bezeichnen.

Fig. 1 zeigt ein um den Winkel γ um die z-Achse gedrehtes x-Longitudinalplättchen mit der Rotation XZ γ .

Bei quaderförmigen Kristallelementen, wie sie in Beispiel 4 verwendet werden, wird die Nomenklatur AB α 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.

Fig. 2 zeigt ein um den Winkel α um die x-Achse gedrehtes Transversalelement mit der Rotation XY α .

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°C–400°C eine im Wesentlichen konstante piezoelektrische Gesamtempfindlichkeit von mehr als 8pC/N aufweisen.

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

Quarzelemente mit der hier bevorzugten Rotation YZ20°YX13° verändern in diesem Temperaturintervall ihre Longitudinalempfindlichkeit von 1.84 pC/N um 0.15 pC/N auf 1.69 pC/N. Werden, wie hier zur Erreichung der gewünschten Gesamtempfindlichkeit, drei Quarzkristallelemente 1a verwendet, so sinkt diese entsprechend um 0.45 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°, der bei Raumtemperatur eine Empfindlichkeit von 2.96 pC/N aufweist.

Die Gesamtempfindlichkeit des Messelementes ergibt sich somit zu 8.48 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 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°C–400°C eine im Wesentlichen konstante piezoelektrische Gesamtempfindlichkeit von mehr als 15 pC/N aufweisen.

Als Material mit negativem Temperaturkoeffizien-

ten wird ein Lithiumtantalat-Y-Schnitt (LiTaO₃), 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 pC/N um 0.41 pC/N auf 8.09 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°, der bei Raumtemperatur eine Empfindlichkeit von 11,22 pC/N aufweist.

Die Gesamtempfindlichkeit ergibt sich somit zu 19.72 pC/N, womit alle Forderungen erfüllt sind.

Fig. 4 zeigt den Aufbau und die elektrische Schaltung eines solchen Stapels, der, wegen der Unabhängigkeit der Longitudinalempfindlichkeit von der Plättchendicke, kleiner als 0,5 mm sein kann.

Beispiel 3:

Das Messelement besteht aus zwei chemisch unterschiedlichen Kristallelementen 1c und 2c und soll im Temperaturintervall 20°C–400°C eine im Wesentlichen konstante piezoelektrische Gesamtempfindlichkeit von mehr als 25 pC/N aufweisen.

Als Material mit negativem Temperaturkoeffizienten wird ein Lithiumtantalat-Y-Schnitt (LiTaO₃), als Material mit positivem Temperaturkoeffizienten ein Lithiumniobat-Y-Schnitt (LiNbO₃) verwendet.

Ein Lithiumtantalat-Y-Plättchen (Kristallelemente 1c) verändert in diesem Temperaturintervall seine Empfindlichkeit von 8.5 pC/N um 0.41 pC/N auf 8.09 pC/N. Werden, wie hier zur Erreichung der gewünschten Gesamtempfindlichkeit, zwei Plättchen verwendet, so sinkt diese entsprechend um 0.82 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°, 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.

Fig. 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.

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 un-

terschiedlichen, quaderförmigen Kristallelementen 1d und 2d, und soll im Temperaturintervall 20°C–400°C eine im Wesentlichen konstante piezoelektrische Gesamtempfindlichkeit von mehr als 3.5 pC/N aufweisen.

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 $\text{XYZ}26^\circ$, 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.

Fig. 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.

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) 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, so dass die piezoelektrische Gesamtempfindlichkeit des Messelementes in einem vorgegebenen Temperaturintervall im Wesentlichen konstant bleibt.

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.

4. Messelement nach Anspruch 2, dadurch ge-

kennzeichnet, dass das zumindest eine Kristallelement (1c) mit negativem Temperaturkoeffizienten aus Lithiumtantalat (LiTaO_3) und das zumindest eine Kristallelement (2c) mit positivem Temperaturkoeffizienten aus Lithiumniobat (LiNbO_3) besteht.

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

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.

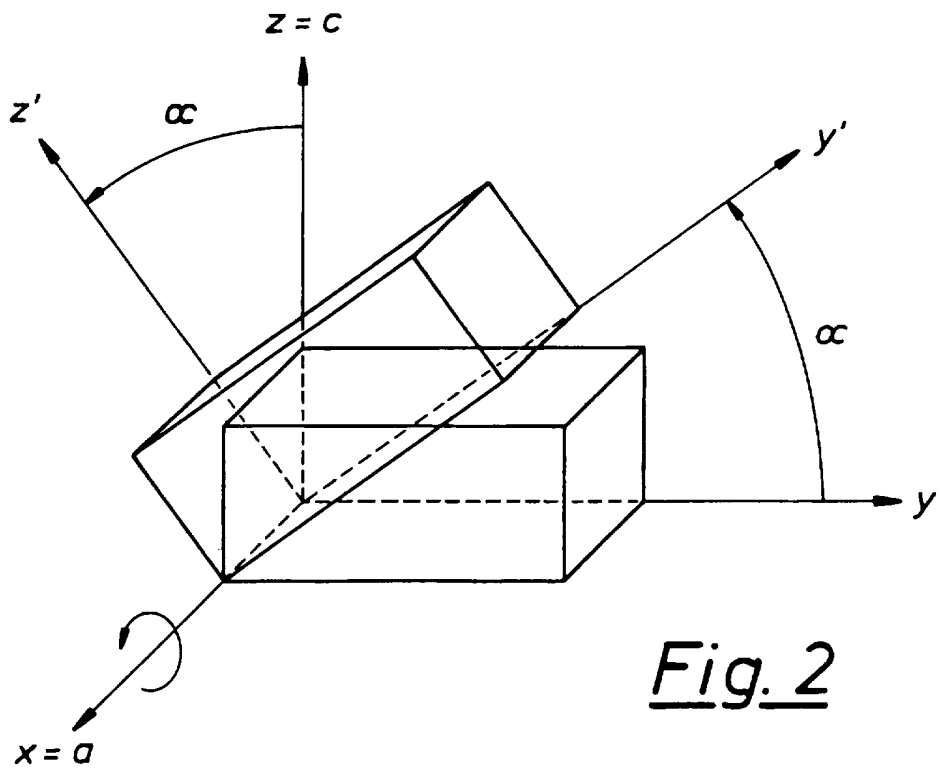
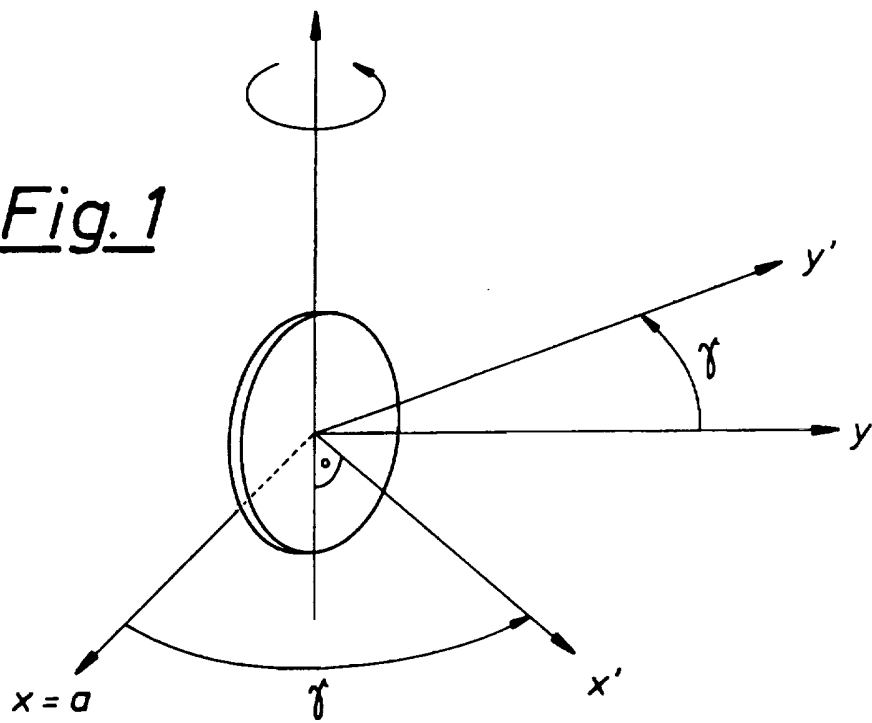
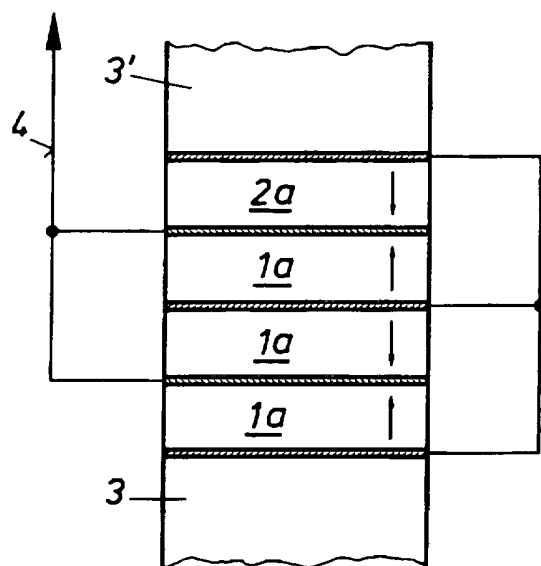
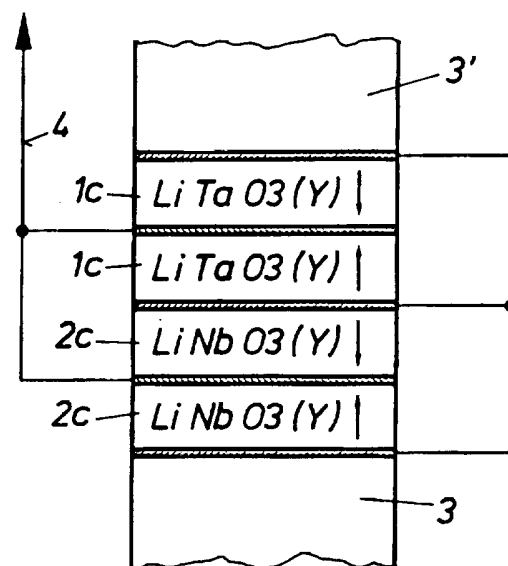
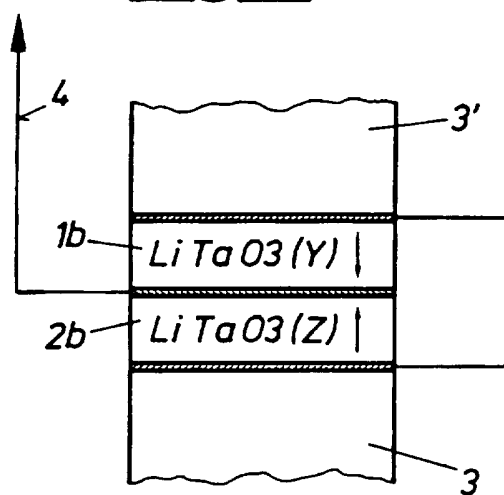
Fig. 1Fig. 2

Fig. 3Fig. 5Fig. 4Fig. 6