



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 022 093 A1** 2008.11.13

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 022 093.8**

(22) Anmeldetag: **11.05.2007**

(43) Offenlegungstag: **13.11.2008**

(51) Int Cl.⁸: **H01L 41/083** (2006.01)
H01L 41/187 (2006.01)

(71) Anmelder:

EPCOS AG, 81669 München, DE

(74) Vertreter:

**Epping Hermann Fischer,
Patentanwalts-gesellschaft mbH, 80339 München**

(72) Erfinder:

**Döllgast, Bernhard, Deutschlandsberg, AT;
Glazunov, Alexander, Dr., Deutschlandsberg, AT;
Dernovsek, Oliver, Dr., Graz, AT**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 197 32 513 C2

GB 23 92 550 A

US 70 70 674 B2

US 65 12 323 B2

EP 12 63 060 A2

WO 2007/1 38 346 A1

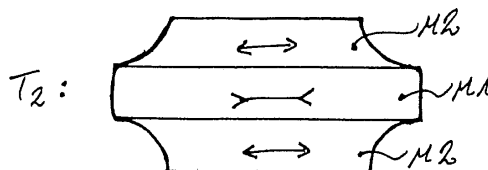
WO 2006/0 97 522 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Piezoelektrisches Vielschichtbauelement**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein piezoelektrisches Vielschichtbauelement (1) angegeben, welches einen Grundkörper (2) mit einem Stapel von abwechselnd übereinander angeordneten piezokeramischen Schichten (3) und Elektroden-schichten (4) aufweist, wobei benachbarte Schichten (3, 4) des Stapels gegeneinander verspannt sind und die Spannungen senkrecht zur Stapelrichtung verlaufen.



Beschreibung

[0001] Es wird ein piezoelektrisches Vielschichtbauelement angegeben, welches unter mechanischer Belastung einen kontrollierten Riss bildet.

[0002] Aus DE 10 2004 031 404 A1 ist ein piezoelektrisches Bauteil mit einem Aktorkörper bekannt, wobei der Aktorkörper eine Sollbruchstelle aufweist, die derart ausgestaltet ist, dass ein durch die Sollbruchstelle erlaubter Riss den Aktorkörper in zumindest zwei Teilstapel unterteilt.

[0003] Eine zu lösende Aufgabe besteht darin, ein piezoelektrisches Vielschichtbauelement anzugeben, welches bei dauerhafter mechanischer Belastung funktionstüchtig bleibt.

[0004] Es wird ein piezoelektrisches Vielschichtbauelement mit einem Stapel von abwechselnd übereinander angeordneten piezokeramischen Schichten und Elektrodenschichten angegeben, wobei benachbarte Schichten des Stapels unter gegenseitiger, in laterale Richtung geneigter mechanischer Spannung stehen. Die Schichten des Stapels sind dementsprechend gegeneinander verspannt, wobei die Spannungen bzw. die Spannkraft senkrecht zur Stapelrichtung verlaufen.

[0005] Es wird bevorzugt, dass die gegenseitige Verspannung zwischen benachbarten piezokeramischen Schichten vorhanden ist. Sie kann jedoch auch zwischen benachbarten piezokeramischen Schichten und Elektrodenschichten entstehen.

[0006] Mittels der mechanischen Spannung zwischen den benachbarten Schichten kann das Vielschichtbauelement unter bestimmten mechanischen Belastungen während seines Betriebs Risse bilden, die im Wesentlichen parallel zu den Schichten verlaufen. Mit anderen Worten kann der Stapel teilweise in lateraler Richtung geteilt werden oder er zerspringt in lateraler Richtung aufgrund der vorhandenen mechanischen Spannungen entlang zumindest einer Ebene zwischen den benachbarten Schichten. Wenn sich benachbarte Schichten voneinander lösen bzw. beginnen, sich voneinander zu lösen, rutschen sie in im Wesentlichen in lateraler Richtung voneinander weg.

[0007] Ein solches piezoelektrisches Vielschichtbauelement ist mit einer verminderten Gefahr behaftet, dass Risse bzw. Spalten unkontrolliert und senkrecht zu den Schichten verlaufen und somit beispielsweise Kurzschlüsse zwischen Elektrodenschichten des Vielschichtbauelements entstehen. Dadurch kann das Vielschichtbauelement über einen längeren Zeitraum unter Dauerbelastung funktionstüchtig bleiben.

[0008] Folgende bevorzugte Wege erlauben die ge-

wünschte laterale mechanische Spannung zwischen benachbarten Schichten zu erreichen.

[0009] Gemäß einer Ausführungsform des Vielschichtbauelements weisen benachbarte Schichten des Stapels beispielsweise unterschiedliche Sinterschwundeigenschaften auf. Beim Versintern des Vielschichtbauelements entsteht aufgrund der unterschiedlichen Sinterschwundeigenschaften der Schichten die gewünschte mechanische Spannung zwischen den Schichten.

[0010] Gemäß einer Ausführungsform des piezoelektrischen Vielschichtbauelements weisen unterschiedliche Schichten des Stapels unterschiedliche Sinterschwundeigenschaften auf. Beispielsweise könnte eine erste Schicht einen höheren Sinterschwund bei einer ersten Temperatur aufweisen, als die benachbarte Schicht bei derselben Temperatur. Als Sinterschwund ist dabei die Änderung der Abmessungen einer Schicht im Verhältnis zum Zeitverlauf zu verstehen. Das bedeutet, dass innerhalb eines Zeitfensters bei einer bestimmten Temperatur, wobei das Zeitfenster sehr klein sein kann, eine Schicht sich mehr zusammenzieht, als eine andere Schicht. Wenn sich die Abmessungen einer Schicht durch den Sinterschwund verändern, kann es sich dabei um eine Volumenänderung der Schicht handeln.

[0011] Gemäß einer Ausführungsform des Vielschichtbauelements können benachbarte piezokeramische Schichten unterschiedliche Sinterschwundeigenschaften aufweisen. Auch können benachbarte Elektrodenschichten und piezokeramische Schichten untereinander verspannt sein, in dem beispielsweise die Elektrodenschichten neben einem elektrisch leitenden Elektrodenmaterial zusätzlich ein Material enthalten, welches unterschiedliche Sinterschwundeigenschaften aufweist, als die benachbarte piezokeramische Schicht. Dabei könnte es sich um ein keramisches, insbesondere um ein piezokeramisches Material handeln, wobei die Menge dieses Materials für jede Elektrodenschicht im Vergleich zum metallischen Material der Elektrodenschicht verhältnismäßig klein ist.

[0012] Vorzugsweise weisen die benachbarten Schichten unterschiedliche laterale Sinterschwundeigenschaften auf. Dabei ziehen sie sich während des Sintervorgangs lateral unterschiedlich zusammen. Eine Kombination aus vertikalen und lateralen Sinterschwundeigenschaften ermöglicht ebenfalls das Erreichen der gewünschten mechanischen Spannung.

[0013] Es wurde experimentell festgestellt, dass auch unterschiedliche Korngrößenverteilungen innerhalb der Schichten bzw. unterschiedliche Verteilungen der Größen der in den Schichten enthaltenen Körner den gewünschten Effekt unterstützen bzw.

hervorrufen. Dabei handelt es sich um keramische Körner, wobei diese nicht nur in piezokeramischen Schichten enthalten sein können, sondern auch in Elektroden-schichten.

[0014] Gemäß einer Ausführungsform des piezoelektrischen Vielschichtbauelements weisen die Materialien benachbarter Schichten des Stapels verschiedene Kalzinationstemperaturen auf. Es wurde festgestellt, dass diese Eigenschaft das Erreichen der gewünschten mechanischen Spannung unterstützt. Es wurde insbesondere beobachtet, dass verschiedene Kalzinationstemperaturen der Materialien benachbarter Schichten deren jeweiligen Sinterschwund beeinflussen.

[0015] Die benachbarten Schichten enthalten gemäß einer Ausführungsform unterschiedliche Dotierstoffe, die das Erreichen der gewünschten mechanischen Spannung zwischen ihnen unterstützen. Es wurde insbesondere beobachtet, dass unterschiedliche Dotierstoffe ihre jeweiligen Sinterschwundeigenschaften beeinflussen. Darüber hinaus können benachbarte Schichten unterschiedliche Sinterhilfsmittel enthalten. Beispielsweise könnte eine Schicht, die in der beschriebenen Art gegen eine benachbarte Schicht verspannt ist, als Sinterhilfsmittel bzw. als Dotierung ein Material umfassend PbO oder SnO enthalten. Auch könnte die Schicht beispielsweise ein Material umfassend PbO oder SnO sowie beispielsweise SiO_2 bzw. eine erstarrbare Flüssigphase eines dieser Materialien bzw. Materialkombinationen enthalten.

[0016] Es wird außerdem ein Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Vielschichtbauelements angegeben, wobei unterschiedliche Keramikmischungen, welche vorzugsweise jeweils eine PZT Keramik enthalten, vorbereitet werden. Die Keramikmischungen werden mit Keramikkörnern unterschiedlicher Größen vorbereitet. Die Korngrößen bzw. die Durchmesser der Körner unterscheiden sich dabei untereinander vorzugsweise um das Mehrfache. Somit werden Keramikmischungen geschaffen, welche unterschiedliche Korngrößenverteilungen aufweisen.

[0017] Die Keramikmischungen können zur vereinfachten Formgebung in Folien organische Bindemittel enthalten, die später in einem Entbinderungsprozess entfernt werden können. Den Keramikmischungen können des Weiteren unterschiedliche Dotierstoffe bzw. Dotierstoffkonzentrationen beigemischt werden, wodurch die Sinterschwundeigenschaften der Keramikmischungen weiter beeinflussbar werden.

[0018] Die Keramikmischungen werden zu Grünfolien verarbeitet. Diese werden mit Elektroden-schichten bedruckt. Ein bevorzugtes Elektrodenmaterial ist Kupfer; Silber und Palladium bzw. eine Legierung we-

nigstens zwei dieser Materialien lässt sich als Elektrodenmaterial ebenfalls einsetzen. Die Grünfolien werden anschließend zurechtgeschnitten und übereinander gestapelt, sodass benachbarte Schichten des Stapels unterschiedliche Korngrößenverteilungen aufweisen.

[0019] Ein so angefertigtes, noch grünes Vielschichtbauelement wird anschließend entbindert, wobei in den Grünfolien noch vorhandenes Bindemittel verflüchtigt bzw. die Grünfolien entkohlt werden. Anschließend kann das Vielschichtbauelement zu einem monolithischen Bauelement gesintert werden.

[0020] Während des Sintervorgangs weisen die Schichten des Vielschichtbauelements unterschiedliche Sinterschwundeigenschaften auf. Somit ziehen sie sich während des Sintervorgangs in unterschiedlichem Maße zusammen. Das bedeutet, dass über einen Sinterzeitraum ST , bei der beispielsweise eine konstante Temperatur $Temp0$ eingehalten wird, sich die Schichten unterschiedlich schnell zusammenziehen, sodass bereits hierdurch mechanische Spannungen entstehen können. Wird dagegen über einen Sinterzeitraum ST die Temperatur verändert, kann dieser Prozess noch weiter moduliert werden.

[0021] Beispielsweise könnte bei einer Temperatur $Temp1$ in einem Zeitfenster $ST_{t1+\delta t}$ innerhalb des Zeitfensters ST eine erste Schicht $x\%$ ihres Vorsintervolumens verlieren, dagegen eine zweite benachbarte Schicht $y\%$ ihres Vorsintervolumens. Innerhalb eines späteren Zeitraums $ST_{t2+\delta t}$ könnte bei einer anderen Temperatur $Temp2$ die erste Schicht $u\%$ ihres Vorsintervolumens verlieren, die zweite benachbarte Schicht dagegen $w\%$ ihres Vorsintervolumens.

[0022] Insgesamt werden die Temperaturen, denen das Vielschichtbauelement ausgesetzt ist, derart über einen Sinterzeitraum gesteuert, dass vorzugsweise jede Schicht im gesinterten und abgekühlten Zustand des Vielschichtbauelements in ihre gewünschte Form gelangt ist, unabhängig davon, auf welchem Wege sie dieses erreicht. Insbesondere sind die Formen bzw. lateralen Ausmaße der Schichten des Stapels im Endzustand derart miteinander vergleichbar, dass ein Vielschichtbauelement entsteht, welches möglichst ebene Außenflächen aufweist. Im Falle von rechteckigen Schichten sollte dabei beispielsweise ein quaderförmiger Stapel mit ebenen Seitenflächen entstehen.

[0023] Die beschriebenen Gegenstände werden anhand der folgenden Figuren und Ausführungsbeispiele näher erläutert. Dabei zeigt bzw. zeigen:

[0024] [Fig. 1](#) ein piezoelektrisches Vielschichtbauelement,

[0025] [Fig. 2](#) den Sinterschwund unterschiedlicher

Keramikmischungen in Abhängigkeit von Temperatur,

[0026] [Fig. 3](#) das geometrische Verhältnis benachbarter Schichten bei einer ersten Temperatur,

[0027] [Fig. 4](#) das geometrische Verhältnis und das unterschiedliche Sinterschwundverhalten benachbarter Schichten bei einer zweiten Temperatur,

[0028] [Fig. 5](#) das geometrische Verhältnis und das unterschiedliche Sinterschwundverhalten benachbarter Schichten bei einer zweiten Temperatur.

[0029] [Fig. 1](#) zeigt ein piezoelektrisches Vielschichtbauelement **1** mit einem Grundkörper **2**, der einen Stapel von übereinander angeordneten piezokeramischen Schichten **3** und Elektrodenschichten **4** umfasst. An zwei Außenflächen des Grundkörpers **2** sind sich in Längsrichtung erstreckende elektrische Außenkontakte **5** und **6** aufgebracht, welche der elektrischen Kontaktierung des Bauelements dienen. Die Elektrodenschichten **3** können Kupfer, Palladium und/oder Silber bzw. eine Legierung aus mehreren dieser Materialien enthalten.

[0030] Benachbarte piezokeramische Schichten **3** weisen mittels unterschiedlicher Materialzusammensetzungen M1 und M2 unterschiedliche Sinterschwundeigenschaften auf. Es sind piezokeramische Schichten **3** abwechselnd, d. h. in der Reihenfolge M1, M2, M1, M2, mit unterschiedlichen Materialzusammensetzungen übereinander gestapelt. Es hat sich beispielsweise als günstig herausgestellt, wenn die Materialzusammensetzungen benachbarter piezokeramischer Schichten derart gewählt werden, dass deren Kalzinationstemperaturen sich um zwischen 120 bis 80°C, insbesondere um etwa 100°C, unterscheiden. Zusätzlich oder alternativ könnten sich die Korngrößen bzw. Durchmesser der piezokeramischen Körner benachbarter Schichten um zwischen 1,1 bis 1,6 µm unterscheiden, wobei dennoch jede Schicht eine eigene Korngrößenverteilung mit einer Varianz von wenigen Zehntel µm aufweisen könnte. Beispielsweise könnten die Körner einer Schicht M1 Durchmesser zwischen 0,4 und 0,6 µm aufweisen und die Körner einer benachbarten Schicht M2 Durchmesser zwischen 1,5 und 2,2 µm aufweisen. Eine Schicht M2 kann eine Korngrößenverteilung mit größeren Körnern aufweisen, als eine ihr benachbarte Schicht M1.

[0031] [Fig. 2](#) zeigt eine Grafik mit zwei Kurven m1 und m2, welche jeweils die temperaturabhängige Sinterschwundeigenschaft von piezokeramischen Schichten **3** mit einer Materialzusammensetzung M1 bzw. M2 darstellt. Die Kurve m1 zeigt wie die laterale Abmessung **1** einer piezokeramischen Schicht **3** mit Materialzusammensetzung M1 in Abhängigkeit zunehmender Temperatur abnimmt. Bei einer Tempera-

tur T_1 beginnt der Sinterschwundprozess und es wird ein maximaler Sinterschwund der piezokeramischen Schicht **3** mit der Materialzusammensetzung M1 bei Temperatur T_{s2} erreicht. Bei dieser Temperatur erreicht die Änderung der lateralen Abmessung **1** im Verhältnis zum Temperatur ihren Höhepunkt. Danach verringert sich die laterale Abmessung der piezokeramischen Schicht weiter, bis bei einer Temperatur T_3 fast keine Änderung der lateralen Abmessung mehr zu verzeichnen ist.

[0032] Die Kurve m2 zeigt wie die laterale Abmessung **1** einer piezokeramischen Schicht **3** mit Materialzusammensetzung M2 in Abhängigkeit zunehmender Temperatur abnimmt. Bei Temperatur T_1 beginnt der Sinterschwundprozess und es wird ein maximaler Sinterschwund der piezokeramischen Schicht **3** mit der Materialzusammensetzung M2 bei Temperatur T_{s1} erreicht. Bei der maximalen Sinter-temperatur erreicht die Änderung der lateralen Abmessung **1** im Verhältnis zur Temperatur ihren Höhepunkt. Danach verringert sich die laterale Abmessung der piezokeramischen Schicht zwar weiter, jedoch weniger schnell. Bei einer Temperatur T_3 ist keine oder zumindest fast keine Änderung der lateralen Abmessung mehr zu verzeichnen.

[0033] [Fig. 3](#) zeigt einen Stapel von schematisch dargestellten 3 piezokeramischen Schichten vor einem Sintervorgang. Die oberste Schicht und die unterste Schicht gemäß der Darstellung weisen dieselbe Materialzusammensetzung M2 auf. Eine zwischen diesen Schichten angeordnete piezokeramische Schicht weist eine andere Materialzusammensetzung M1 auf, die sich in ihren Sinterschwundeigenschaften von derjenigen der benachbarten Schichten unterscheidet. Die Darstellung gibt den Zustand der Schichten an, wenn sie nicht einer zu einem Sinterschwund führenden Temperatur T_1 ausgesetzt sind.

[0034] [Fig. 4](#) zeigt den Stapel von [Fig. 3](#) bei einer anderen Temperatur T_2 (siehe hierzu auch [Fig. 2](#)), wobei die Schichten mit den Materialzusammensetzungen M2 einen höheren Sinterschwund aufweisen, als die zwischen ihnen liegende Schicht mit der Materialzusammensetzung M1. Daher werden die Schichten M2 mit einer geringeren lateralen Abmessung gezeigt, als bei der Schicht M1. Die in den Schichten jeweils gezeigten Pfeile deuten auf Zug- bzw. Druckbelastungen. Aufgrund des langsameren Sinterschwunds der mittleren Schicht M1 im Vergleich zu ihren angrenzenden Schichten wirkt eine Zugkraft auf die angrenzenden Schichten mit Materialzusammensetzung M2. Diese wird mit nach außen zeigenden Pfeilen gezeigt. Das Gegenteil gilt für die mittlere Schicht: aufgrund des höheren Sinterschwunds ihrer angrenzenden Schichten wird die mittlere Schicht M1 durch sie mitgezogen bzw. es wirkt eine nach Innen wirkende Druckkraft auf die

mittlere Schicht.

[0035] Die durch das unterschiedliche Sinterverhalten benachbarter Schichten verursachten mechanischen Spannungen führen zu mechanisch weniger stabilen Grenzbereichen zwischen den Schichten.

[0036] [Fig. 5](#) zeigt den Stapel von [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) bei einer anderen Temperatur T_3 (siehe hierzu auch [Fig. 2](#)), wobei bis zu diesem Zeitpunkt bereits ein im Vergleich zur [Fig. 4](#) umgekehrter Effekt eingetreten ist. Seit dem Aussetzen des Stapels der vorhergehenden Temperatur T_2 bis einschließlich der Temperatur T_3 weisen die Schichten mit den Materialzusammensetzungen M2 einen geringeren Sinterschwund auf, als die zwischen ihnen liegende Schicht mit der Materialzusammensetzung M1. Aufgrund des schnelleren Sinterschwunds der mittleren Schicht M1 im Vergleich zu ihren angrenzenden Schichten wirkt eine Druckkraft auf die angrenzenden Schichten mit Materialzusammensetzung M2. Diese wird mit nach Innen zeigenden Pfeilen gezeigt. Das Gegenteil gilt für die mittlere Schicht: aufgrund des langsameren Sinterschwunds ihrer angrenzenden Schichten wird die mittlere Schicht M1 in ihr Bestreben, sich nach innen zu ziehen, durch die ihr angrenzenden Schicht gebremst bzw. es wirkt eine nach Außen wirkende Druckkraft auf die mittlere Schicht M1.

[0037] Bis zu einer Temperatur T_3 wie oben erläutert haben die gegenseitigen Auswirkungen der unterschiedlichen lateralen Kontraktionen der Schichten dazu geführt, dass ein von seiner Außenfläche ebener Stapel, d. h. ein Stapel mit einem sich über die Höhe des Stapels erstreckenden, einheitlichen Umriss, geschaffen wird. Bis zu diesem Zeitpunkt sind jedoch materialgeschwächte Grenzflächen bzw. Grenzbereiche zwischen den einzelnen Schichten des Piezoaktors entstanden, die eine kontrollierte, parallel zu den Schichten verlaufende Rissbildung im Falle bestimmter Zugbelastungen eines in Betrieb genommenen Piezoaktors erlauben.

Bezugszeichenliste

1	piezoelektrisches Bauelement
2	Grundkörper
3	piezokeramische Schicht
4	Elektrodenschicht
5	erster Außenkontakt
6	zweiter Außenkontakt
T1 bis T3	unterschiedliche Temperaturen
M1	erste Materialzusammensetzung
M2	zweite Materialzusammensetzung
m1	Sinterschwundverhalten der ersten Materialzusammensetzung
m2	Sinterschwundverhalten der zweiten Materialzusammensetzung

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102004031404 A1 [\[0002\]](#)

Patentansprüche

benachbarte Schichten (3, 4) unterschiedliche Sinterhilfsmittel enthalten.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

1. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement (1), umfassend einen Grundkörper (2) mit einem Stapel von abwechselnd übereinander angeordneten piezokeramischen Schichten (3) und Elektroden-schichten (4), wobei benachbarte Schichten (3, 4) des Stapels gegeneinander verspannt sind und die Spannungen senkrecht zur Stapelrichtung verlaufen.

2. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement nach Anspruch 1, bei dem die benachbarten Schichten (3, 4) unter gegenseitiger Zugspannung stehen.

3. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement nach Anspruch 1, bei dem die benachbarten Schichten (3, 4) unter gegenseitiger Druckspannung stehen.

4. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem benachbarte Schichten (3, 4) des Stapels unterschiedliche Sinterschwundeigenschaften aufweisen.

5. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem benachbarte Schichten (3, 4) unterschiedliche keramische Korngrößenverteilungen aufweisen.

6. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement (1) nach einem der Ansprüche 4 oder 5, bei dem die Sinterschwundeigenschaften benachbarter Schichten (3, 4) die jeweiligen lateralen Sinterschwundeigenschaften umfassen.

7. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Materialien benachbarter piezokeramischer Schichten (3) verschiedene Kalzinationstemperaturen aufweisen.

8. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement nach Anspruch 7, bei dem sich die Kalzinationstemperaturen der Materialien benachbarter piezokeramischer Schichten (3) um zwischen 80 bis 120°C unterscheiden.

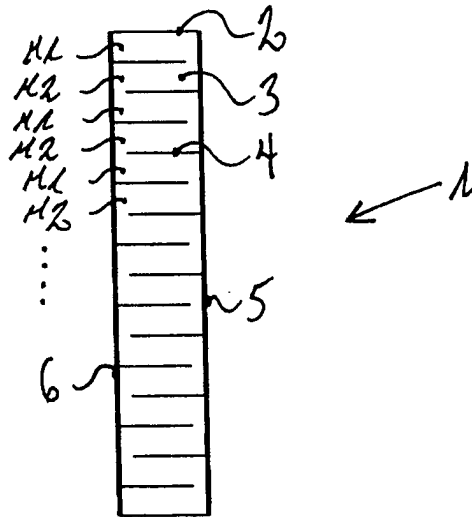
9. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die benachbarten Schichten (3, 4) unterschiedliche Dotierstoffe (3, 4) enthalten, welche die relative mechanische Spannung zwischen ihnen beeinflussen.

10. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement (1) nach einem der Ansprüche 4 bis 9, bei dem die benachbarten Schichten (3, 4) unterschiedliche Dotierstoffe (3, 4) enthalten, welche ihre jeweiligen Sinterschwundeigenschaft beeinflussen.

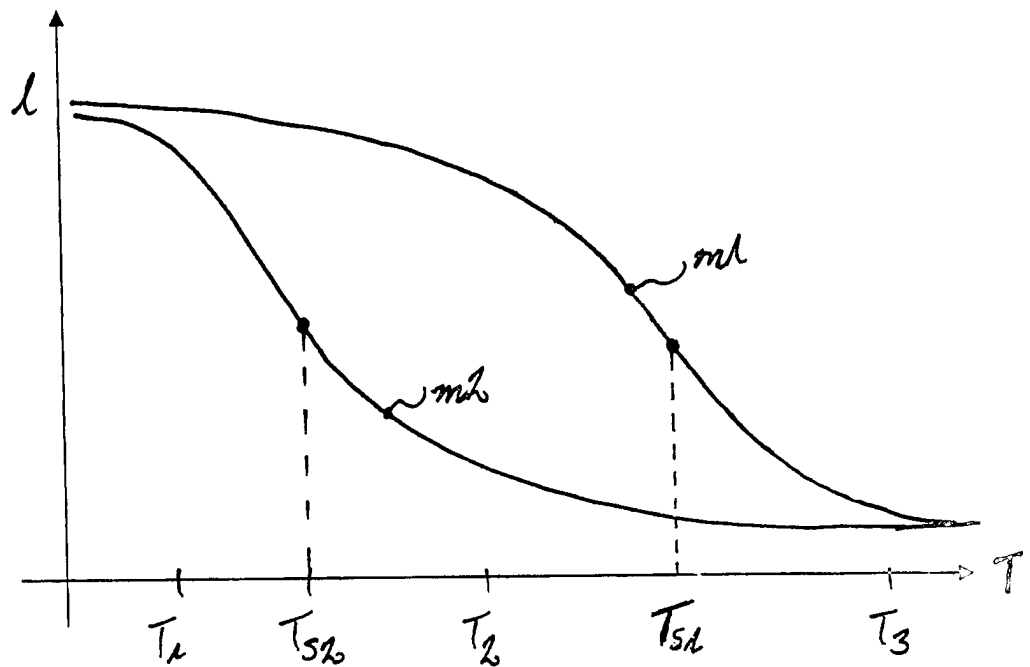
11. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem

Anhängende Zeichnungen

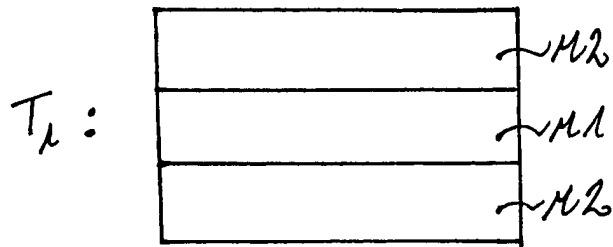
Figur 1



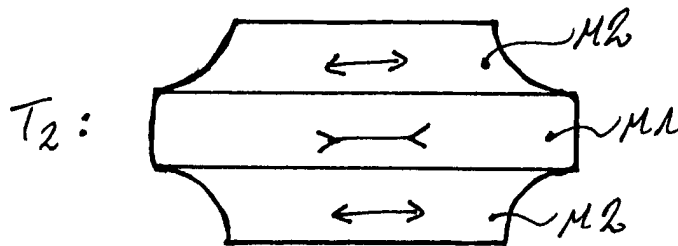
Figur 2



Figur 3



Figur 4



Figur 5

