

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
20. November 2008 (20.11.2008)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/138906 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 41/083 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/055783

(22) Internationales Anmeldedatum:
9. Mai 2008 (09.05.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2007 022 093.8 11. Mai 2007 (11.05.2007) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **EPCOS AG** [DE/DE]; St.-Martin-Str. 53, 81669
München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **DÖLLGAST, Bern-
hard** [DE/AT]; Flurweg 51, A-8530 Deutschlandsberg
(AT). **GLAZUNOV, Alexander** [RU/AT]; Hauptplatz 2,
A-8530 Deutschlandsberg (AT). **DERNOVSEK, Oliver**
[DE/AT]; Heinrichstr. 7/1, A-8010 Graz (AT).

(74) Anwalt: **EPPING HERMANN FISCHER PATENTAN-
WALTSGESELLSCHAFT MBH**; Ridlerstr. 55, 80339
München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ,
LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK,
MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG,
PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM,
SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,
VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,
BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,
TD, TG).

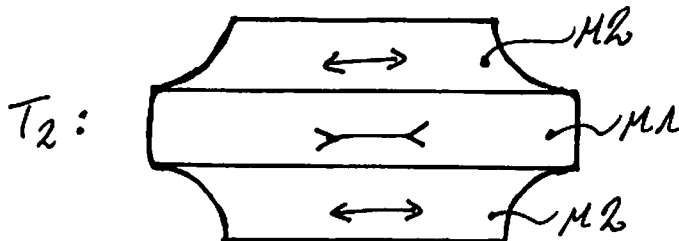
Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen
eintreffen

(54) Title: PIEZOELECTRIC MULTI-LAYER COMPONENT

(54) Bezeichnung: PIEZOELEKTRISCHES VIELSCHICHTBAUELEMENT

Figur 4



(57) Abstract: The invention relates to a piezoelectric multi-layer component (1) with a base body (2) that has a stack of alternating piezoceramic layers (3) and electrode layers (4), neighbouring layers (3, 4) of the stack being stressed against one another and the stresses running perpendicularly to the stack direction.

(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.

WO 2008/138906 A1

Beschreibung

Piezoelektrisches Vielschichtbauelement

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

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.

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

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 Spannkkräfte senkrecht zur Stapelrichtung verlaufen.

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

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.

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.

Folgende bevorzugte Wege erlauben die gewünschte laterale mechanische Spannung zwischen benachbarten Schichten zu erreichen.

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.

Gemäß einer Ausführungsform des piezoelektrischen Vielschichtbauelements weisen unterschiedliche Schichten des Sta-

pels 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.

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.

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.

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 Elektrodenschichten.

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.

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 SiO₂ bzw. eine erstarrbare Flüssigphase eines dieser Materialien bzw. Materialkombinationen enthalten.

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.

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.

Die Keramikmischungen werden zu Grünfolien verarbeitet. Diese werden mit Elektrodenmischungen bedruckt. Ein bevorzugtes Elektrodenmaterial ist Kupfer; Silber und Palladium bzw. eine Legierung wenigstens 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.

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.

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.

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.

Ingesamt 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.

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

Figur 1 ein piezoelektrisches Vielschichtbauelement,

Figur 2 den Sinterschwund unterschiedlicher Keramikmischungen in Abhängigkeit von Temperatur,

Figur 3 das geometrische Verhältnis benachbarter Schichten bei einer ersten Temperatur,

Figur 4 das geometrische Verhältnis und das unterschiedliche Sinterschwundverhalten benachbarter Schichten bei einer zweiten Temperatur,

Figur 5 das geometrische Verhältnis und das unterschiedliche Sinterschwundverhalten benachbarter Schichten bei einer zweiten Temperatur.

Figur 1 zeigt ein piezoelektrisches Vielschichtbauelement 1 mit einem Grundkörper 2, der einen Stapel von übereinander angeordneten piezokeramischen Schichten 3 und Elektroden-schichten 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 Elektroden-schichten 3 können Kupfer, Palladium und / oder Silber bzw. eine Legierung aus mehreren dieser Materialien enthalten.

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 benachbarten Schicht M1.

Figur 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 l einer piezokeramischen Schicht 3 mit Materialzusammensetzung M1 in Abhängigkeit zunehmender Temperatur abnimmt. Bei einer Temperatur 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 l 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.

Die Kurve m2 zeigt wie die laterale Abmessung l 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 Sintertemperatur erreicht die Änderung der lateralen Abmessung l 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.

Figur 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 Materialzusammensetzungen 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.

Figur 4 zeigt den Stapel von Figur 3 bei einer anderen Temperatur T_2 (siehe hierzu auch Figur 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

ihrer 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.

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

Figur 5 zeigt den Stapel von Figuren 3 und 4 bei einer anderen Temperatur T_3 (siehe hierzu auch Figur 2), wobei bis zu diesem Zeitpunkt bereits ein im Vergleich zur Figur 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.

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 Elektroden-schicht
- 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

Patentansprüche

1. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement (1), umfassend einen Grundkörper (2) mit einem Stapel von abwechselnd übereinander angeordneten piezokeramischen Schichten (3) und Elektrodenschichten (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.

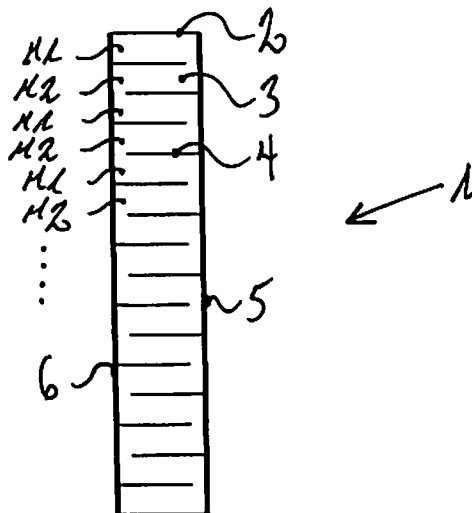
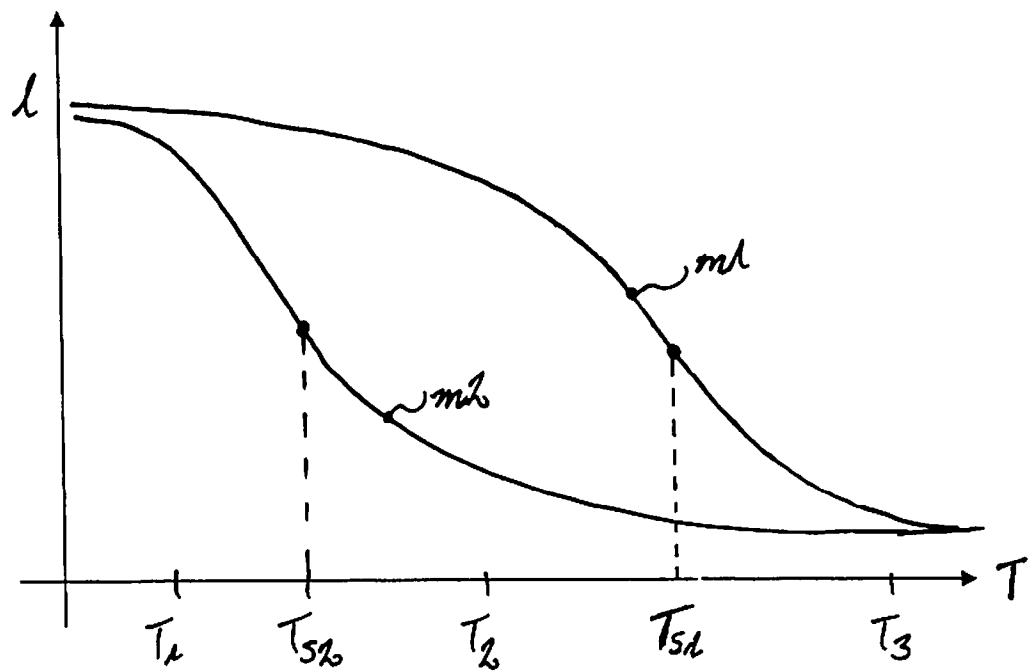
7. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Materialien benachbarter piezokeramischer Schichten (3) verschiedene Kalzinationstemperaturen aufweisen.
8. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement nach Anspruch 7, bei dem sich die Kalzinationstemperaturen 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 benachbarte Schichten (3, 4) unterschiedliche Sinterhilfsmittel enthalten.
12. Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Vielschichtbauelements, bei dem
 - unterschiedliche piezokeramische Mischungen mit Keramikkörnern unterschiedlicher Größen bereitgestellt werden,
 - den unterschiedlichen piezokeramischen Mischungen jeweils Bindemittel beigegeben wird,

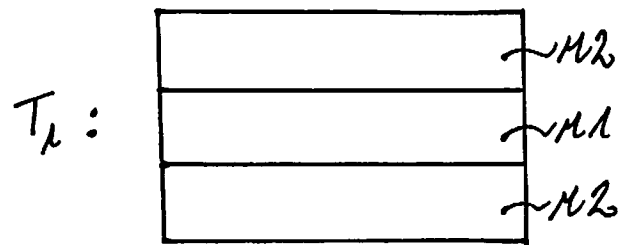
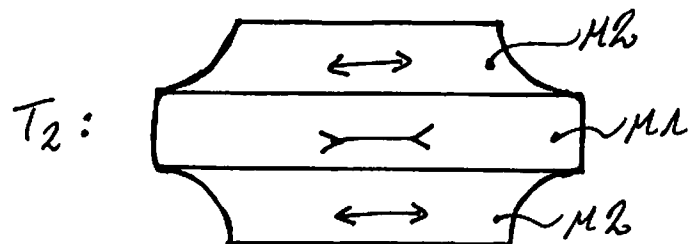
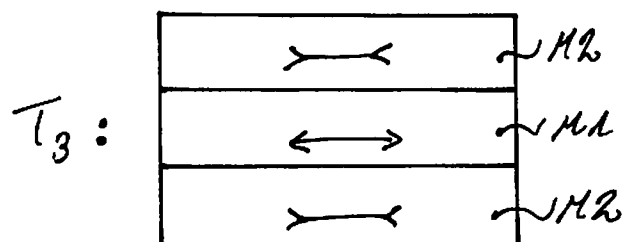
- die unterschiedlichen piezokeramischen Mischungen zu unterschiedlichen Grünfolien verarbeitet werden,
- die Grünfolien mit Elektrodenschichten bedruckt werden,
- die mit Elektrodenschichten bedruckten Grünfolien zu-
rechtgeschnitten und derart zu einem Stapel übereinander
gestapelt werden, dass benachbarte Schichten des Stapels
unterschiedliche Korngrößenverteilungen aufweisen,
- der Stapel entbindert und anschließend zu einem monolit-
hischen Bauelement gesintert wird, wobei
- während des Sinterns die Schichten des Stapels unter-
schiedliche Sinterschwünde erfahren.

13. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem die Temperaturen, denen der Stapel während des Sinterns ausgesetzt ist, derart über einen Sinterzeitraum gesteuert werden, dass jede Schicht im gesinterten und abgekühlten Zustand des Stapels in eine Form gelangt ist, sodass die lateralen Maße der Schichten derart vergleichbar sind, dass ein Stapel entsteht, der möglichst ebene Außenflächen aufweist.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 oder 13, bei dem die Materialzusammensetzungen benachbarter piezokeramischer Schichten derart gewählt werden, dass sich deren Kalzinationstemperaturen zwischen 80 und 120 °C unterscheiden.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, bei dem piezokeramische Mischungen derart bereitgestellt werden, dass sich die Korngrößen benachbarter piezokeramischer Schichten um zwischen 1,1 und 1,6 µm unterscheiden.

Figur 1Figur 2

Figur 3Figur 4Figur 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2008/055783

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. H01L41/083

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2005 052686 A1 (SIEMENS AG [DE]) 15 February 2007 (2007-02-15) paragraph [0007]	1-4, 6
A	DE 102 01 641 A1 (EPCOS AG [DE]) 7 August 2003 (2003-08-07)	1-15
A	US 2004/222719 A1 (SASAKI SATOSHI [JP] ET AL) 11 November 2004 (2004-11-11)	1-15

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

* & * document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 September 2008

Date of mailing of the international search report

08/10/2008

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Koskinen, Timo

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2008/055783

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102005052686 A1	15-02-2007	NONE	
DE 10201641 A1	07-08-2003	CN 1615550 A WO 03061022 A2 EP 1468459 A2 JP 2005515641 T US 2005035686 A1	11-05-2005 24-07-2003 20-10-2004 26-05-2005 17-02-2005
US 2004222719 A1	11-11-2004	EP 1547989 A1 WO 2004026789 A1 KR 20050057323 A TW 281464 B	29-06-2005 01-04-2004 16-06-2005 21-05-2007

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen:

PCT/EP2008/055783

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. H01L41/083

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H01L

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2005 052686 A1 (SIEMENS AG [DE]) 15. Februar 2007 (2007-02-15) Absatz [0007]	1-4,6
A	DE 102 01 641 A1 (EPCOS AG [DE]) 7. August 2003 (2003-08-07)	1-15
A	US 2004/222719 A1 (SASAKI SATOSHI [JP] ET AL) 11. November 2004 (2004-11-11)	1-15

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

26. September 2008

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

08/10/2008

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Koskinen, Timo

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2008/055783

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102005052686 A1	15-02-2007	KEINE	
DE 10201641 A1	07-08-2003	CN 1615550 A	11-05-2005
		WO 03061022 A2	24-07-2003
		EP 1468459 A2	20-10-2004
		JP 2005515641 T	26-05-2005
		US 2005035686 A1	17-02-2005
US 2004222719 A1	11-11-2004	EP 1547989 A1	29-06-2005
		WO 2004026789 A1	01-04-2004
		KR 20050057323 A	16-06-2005
		TW 281464 B	21-05-2007