

(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
30. Juli 2009 (30.07.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/092583 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H01L 41/083 (2006.01) H01L 41/22 (2006.01)
H01L 41/047 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/000393

(22) Internationales Anmeldedatum:
22. Januar 2009 (22.01.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 005 681.2 23. Januar 2008 (23.01.2008) DE

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

(72) Erfinder; und

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

(74) Anwalt: EPPING HERMANN FISCHER; Patentanwalts-gesellschaft Mbh, Ridlerstrasse 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, ST, 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, MK, 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).

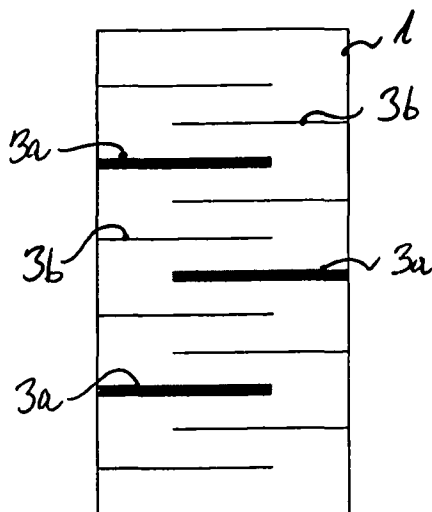
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

(54) Title: PIEZOELECTRIC MULTILAYER COMPONENT

(54) Bezeichnung: PIEZOELEKTRISCHES VIELSCHICHTBAUELEMENT

Fig. 4



(57) Abstract: A piezoelectric multilayer component as intermediate product is disclosed, comprising a stack (1) of superimposed green piezoceramic layers (2), wherein a first electrode layer (3a) is applied to a piezoceramic layer (2) and contains a first metal. A second electrode layer (3b) is applied to a further piezoceramic layer (2) adjacent to the first electrode layer (3a) in the direction of stacking. The second electrode layer (3b) contains the first metal in a higher concentration than the first electrode layer (3a). The invention further relates to a method for producing a piezoelectric multilayer component, wherein the intermediate product is sintered and the first metal diffuses from the second electrode layer (3b) to the first electrode layer (3a) thus mechanically weakening the second electrode layer (3b).

(57) Zusammenfassung: Es wird ein piezoelektrisches Vielschichtbauelement als Zwischenprodukt mit einem Stapel (1) von übereinander angeordneten, grünen piezokeramischen Schichten (2) angegeben, wobei eine erste Elektrodenschicht (3a) auf einer piezokeramischen Schicht (2) aufgebracht ist und ein erstes Metall enthält. Eine zweite Elektrodenschicht (3b) ist auf einer weiteren piezokeramischen Schicht (2) aufgebracht und benachbart die erste Elektrodenschicht (3a) in Stapelrichtung. Die zweite Elektrodenschicht (3b) enthält das erste Metall in einer höheren Konzentration, als die erste Elektrodenschicht (3a). Außerdem wird ein Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Vielschichtbauelements angegeben, wobei das Zwischenprodukt

gesintert wird und das erste Metall von der zweiten Elektrodenschicht (3b) zur ersten Elektrodenschicht (3a) diffundiert und die zweite Elektrodenschicht (3b) dabei mechanisch geschwächt wird.

WO 2009/092583 A1

Piezoelektrisches Vielschichtbauelement

Es wird ein Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Vielschichtbauelements sowie ein durch das Verfahren erzeugbares piezoelektrisches Vielschichtbauelement mit einem Bereich verringerter mechanischer Stabilität angegeben.

Aus DE 10 2006 031 085 A1 ist ein piezoelektrisches Vielschichtbauelement mit Sollbruchschichten bekannt.

Eine zu lösende Aufgabe besteht darin, ein piezoelektrisches Vielschichtbauelement anzugeben, welches über einen möglichst langen Zeitraum stabil betrieben werden kann.

Es wird ein piezoelektrisches Vielschichtbauelement als Zwischenprodukt mit einem Stapel von übereinander angeordneten, grünen piezokeramischen Schichten angegeben, wobei eine erste Elektrodenschicht auf einer piezokeramischen Schicht aufgebracht ist und ein erstes Metall enthält. Eine zweite Elektrodenschicht ist auf einer weiteren piezokeramischen Schicht aufgebracht und benachbart die erste Elektrodenschicht in Stapelrichtung. Die zweite Elektrodenschicht enthält das erste Metall in einer höheren Konzentration, als die erste Elektrodenschicht. Der Begriff „Konzentration“ bezeichnet dabei den Gewichtsanteil des Metalls in der jeweiligen Elektrodenschicht.

Wird das Zwischenprodukt gesintert, diffundiert das erste Metall aus der zweiten Elektrodenschicht teilweise zur ersten Elektrodenschicht und hinterlässt dabei Hohlräume in der zweiten Elektrodenschicht. Der Konzentrationsunterschied des

ersten Metalls ist dabei so gewählt, dass die zweite Elektrodenschicht im Betrieb des Vielschichtbauelements noch als Elektrodenschicht dienen kann, bis das Vielschichtbauelement unter bestimmten mechanischen Belastungen in der zweiten Elektrodenschicht einreißt. Somit dient die zweite Elektrodenschicht auch als Sollbruchschicht.

Das erste Metall in der ersten Elektrodenschicht liegt in einer Konzentration von weniger als 100 % vor. Dabei wird bevorzugt, dass das erste Metall in der ersten Elektrodenschicht in einer Konzentration von bis zu 80 % vorliegt.

Es hat sich herausgestellt, dass als erstes Metall Kupfer besonders günstig ist, da es bei relativ niedrigen Temperaturen erweicht und somit ein schonendes Sintern des piezoelektrischen Vielschichtbauelements möglich ist, bei dem das Kupfer sich gut mit einer piezokeramischen Schicht bindet. Darüber hinaus hat sich herausgestellt, dass Kupfer, im Vergleich zu anderen Metallen, wie zum Beispiel Palladium oder Platin, verhältnismäßig leicht durch eine Piezokeramik diffundiert. Dies begünstigt die Herstellung eines nachfolgend beschriebenen piezoelektrischen Vielschichtbauelements mit einem Hohlräume aufweisenden, mechanischen geschwächten Bereich, der als Sollbruch-Elektrodenschicht dient.

Anstelle von Kupfer als erstes Metall kann ein anderes Metall verwendet werden, wie zum Beispiel Silber oder Nickel.

Gemäß einer Ausführungsform enthält die erste Elektrodenschicht ein zusätzliches, zweites Metall, das sich vom ersten Metall unterscheidet.

Es wird bevorzugt, dass das zweite Metall schlechter durch eine der ersten Elektrodenschicht benachbarte piezokeramische Schicht diffundiert, als das erste Metall. Somit wird die Diffusion von Metall durch das Vielschichtbauelement überwiegend durch das erste Metall, insbesondere durch Kupfer, erreicht.

Das zweite Metall ist vorzugsweise gewählt aus Palladium, Beryllium, Aluminium, Mangan, Zink, Zinn, Wismut, Nickel, Kobalt, Chrom, Molybdän, Niob, Rubidium, je nachdem, welches Metall als erstes Metall in der ersten Elektrodenschicht verwendet wird.

Es ist günstig, wenn in der ersten Elektrodenschicht das erste Metall in einer höheren Konzentration vorliegt, als das zweite Metall. Beispielsweise können das erste Metall in einer Konzentration von 70 % und das zweite Metall in einer Konzentration von 30 % in der ersten Elektrodenschicht vorliegen. Wichtig dabei ist, dass die Konzentration des ersten Metalls in der ersten Elektrodenschicht niedriger ist, als die Konzentration des ersten Metalls in der zweiten Elektrodenschicht, so dass eine Diffusion von der zweiten Elektrodenschicht zur ersten Elektrodenschicht stattfinden kann. Durch die Diffusion des ersten Metalls wird dessen Konzentrationsunterschied zwischen der ersten Elektrodenschicht und der zweiten Elektrodenschicht auf natürliche Weise verringert, d. h. die Konzentration des ersten Metalls in der zweiten Elektrodenschicht nimmt ab.

Gemäß einer Ausführungsform enthält die zweite Elektrodenschicht als Metall ausschließlich das erste Metall. Die zweite Elektrodenschicht kann also beispielsweise als Metall nur Kupfer enthalten. Sie kann jedoch auch eine Mischung von

Kupfer (als erstes Metall) und beispielsweise Nickeloxid oder eine Legierung von Kupfer und Nickel enthalten. Dabei ist die Kupfer-Nickel Legierung als erstes Metall zu verstehen.

Damit die Diffusion bevorzugt in einer Richtung stattfindet, so dass lediglich eine Sorte von Elektrodenschichten an einem Material verarmt und dadurch mechanisch abgeschwächt wird, werden vorzugsweise Metalle in den ersten und in den zweiten Elektrodenschichten verwendet, die unterschiedliche Diffusionsraten im piezoelektrischen Keramikmaterial besitzen.

Vorzugsweise ist der Konzentrationsunterschied des ersten Metalls zwischen der ersten Elektrodenschicht und der zweiten Elektrodenschicht derart eingestellt, dass bei Erwärmung des Vielschichtbauelements eine Diffusion des ersten Metalls aus der zweiten Elektrodenschicht zu einem Materialverlust der zweiten Elektrodenschicht führt. Dabei ist der Konzentrationsunterschied, d. h. die Konzentration des ersten Metalls in der ersten Elektrodenschicht im Vergleich zur Konzentration des ersten Metalls in der zweiten Elektrodenschicht derart eingestellt, dass die zweite Elektrodenschicht nach Abwanderung eines Anteils des ersten Metalls strukturell intakt bleibt. So kann die zweite Elektrodenschicht im Betrieb des Vielschichtbauelements als Elektrodenschicht wirken.

Ein zu hoher Materialverlust der zweiten Elektrodenschicht würde dagegen dazu führen, dass sie zusammen mit einer piezokeramischen Schicht und einer gegenpoligen Elektroden-schicht kein nennenswertes elektrisches Feld mehr aufbauen kann, so dass damit auch keine Ausdehnung einer der zweiten Elektrodenschicht benachbarten Piezokeramik zustande kommen

könnte. Die Leistung des piezoelektrischen Vielschichtbauelements im Betrieb würde somit abfallen.

Insbesondere wird der genannte Konzentrationsunterschied derart eingestellt, dass eine elektrische Verbindung zwischen der zweiten Elektrodenschicht und einem gegebenenfalls auf einer Seite des Stapels aufgebrachtten Außenkontakt besteht bleibt. Die elektrische Verbindung zwischen einem Außenkontakt und einer zweiten Elektrodenschicht soll also aufgrund der Diffusion des ersten Metalls nicht unterbrochen werden.

Es wird bevorzugt, dass die piezokeramischen Schichten des piezoelektrischen Vielschichtbauelements eine PZT (Blei-Zirkonat-Titanat) -Keramik enthalten. Es hat sich herausgestellt, dass Metalle, insbesondere Kupfer, während des Sinterns des piezoelektrischen Vielschichtbauelements mit verhältnismäßig geringem Widerstand durch eine PZT-Keramik diffundieren können. Somit kann der Diffusionsprozess eines Metalls zwischen zwei Bereichen des piezoelektrischen Vielschichtbauelements, in denen das erste Metall in unterschiedlichen Konzentrationen vorliegt, begünstigt werden.

Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Zwischenprodukt eine piezoelektrische Keramik und dazwischen liegende Elektrodenschichten, wobei eine erste Elektrodenschicht ein erstes Metall als Hauptkomponente mit einem Gewichtsanteil größer als 50 % enthält. Die erste Elektrodenschicht enthält ein vom ersten Metall verschiedenes zweites Metall als Nebenkompone-
nente mit einem Gewichtsanteil von kleiner als 50 %, wobei bezüglich der Diffusion der Metalle das erste Metall eine höhere Mobilität im Keramikmaterial aufweist als das zweite

Metall. Die zweite Elektrodenschicht ist der ersten in Stapelrichtung vorzugsweise benachbart, wobei die zweite Elektrodenschicht das erste Metall als Hauptkomponente mit einem Gewichtsanteil enthält, der größer ist, als der entsprechende Gewichtsanteil in der ersten Elektrodenschicht.

Es wird außerdem ein Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Vielschichtbauelements angegeben, bei dem ein hier beschriebenes Zwischenprodukt gesintert wird, wobei das erste Metall teilweise aus der zweiten Elektrodenschicht in die erste Elektrodenschicht diffundiert und dabei Hohlräume in der zweiten Elektrodenschicht hinterlässt, wodurch die zweite Elektrodenschicht mechanisch geschwächt wird.

Im Betrieb des piezoelektrischen Vielschichtbauelements kann die mechanisch geschwächte zweite Elektrodenschicht als Sollbruchschicht dienen, durch die, z. B. bei bestimmten Zugbelastungen des Vielschichtbauelements, ein kontrollierter Riss parallel zu den piezokeramischen Schichten beziehungsweise zu den Elektrodenschichten verlaufen kann.

Benachbarte piezokeramische Schichten können sich beim Sintern in den Bereichen zwischen den Hohlräumen verbinden.

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

Figur 1 einen Längsschnitt eines Piezoaktors,

Figuren 2a und 2b Polungsrisse in einem Piezoaktor,

Figur 3 einen Längsschnitt eines Abschnitts eines Piezoaktors, bei dem eine erste Elektrodenschicht einer zweiten Elektrodenschicht benachbart ist,

Figur 4 einen Längsschnitt eines Abschnitts eines Piezoaktors mit gegenpoligen ersten Elektrodenschichten,

Figur 5 einen Längsschnitt eines Abschnitts eines Piezoaktors mit gleichpoligen ersten Elektrodenschichten.

Figur 1 zeigt einen Längsschnitt eines schematisch dargestellten Piezoaktors, der einen Stapel 1 von piezokeramischen Schichten 2 und dazwischen liegenden Elektrodenschichten 3 aufweist. An zwei Längsseiten des Stapels 1 sind Außenkontakte 4 in Form externer Metallisierungen aufgebracht, die die bis an diese Längsseiten herangeführten Elektrodenschichten 3 elektrisch kontaktieren. Benachbarte Elektrodenschichten unterschiedlicher Polarität überlappen sich in orthogonaler Projektion (welche parallel zur Stapelachse des Piezoaktors verläuft). Im Überlappbereich, der als aktive Zone bezeichnet werden kann, führt ein elektrisches Feld zur Erzeugung einer Auslenkung beziehungsweise Dehnung einer zwischen diesen Elektrodenschichten vorhandenen piezokeramischen Schicht 2. Der Bereich, in denen sich gegenpolige, benachbarte Elektrodenschichten 3 nicht überlappen, wird als inaktive Zone bezeichnet. In diesem Bereich kommt so gut wie keine Auslenkung durch den piezoelektrischen Effekt zustande.

Figur 2a zeigt, wie ein Riss 6 mehrere Elektrodenschichten 3, insbesondere gegenpolige Elektrodenschichten 3 eines Piezoaktors, verbindet.

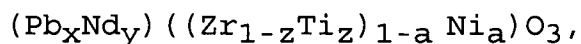
Die Erfinder haben festgestellt, dass die Zuverlässigkeit eines Piezoaktors entscheidend von der Beherrschung eventuell auftretender Risse abhängt. Bei thermischen Prozessen wie zum Beispiel beim Sintern bei Temperaturen zwischen 800 und 1500° C, Metallisieren und Löten sowie bei der Polarisierung des gesinterten Piezoaktors entstehen aufgrund der unterschiedlichen Dehnung in der aktiven und inaktiven Zone mechanische Spannungen, die zu so genannten Entlastungsrissen und/oder Polungsrissen des Piezoaktors führen. Diese laufen in der inaktiven Zone entlang oder in einer Elektrodenschicht 3. Beim Übergang in den aktiven Bereich können diese Risse abknicken. Wenn diese Risse dabei mindestens zwei Elektrodenschichten überbrücken, können Kurzschlüsse entstehen, welches zum Versagen des Piezoaktors führen wird. Risse, die parallel zu den Innenelektroden verlaufen, stellen dagegen nahezu keine Gefahr für Lebensdauer von Piezoaktoren dar.

Figur 3b zeigt einen unschädlichen Verlauf eines Risses 6 im Stapel 1 eines Piezoaktors. Dabei verläuft der Riss im Wesentlichen parallel zu einer Elektrodenschicht 3 beziehungsweise zu einer piezokeramischen Schicht 2, so dass der Riss keine gegenpoligen Elektrodenschichten verbindet und damit auch keine Kurzschlüsse verursacht.

Eine Idee zur Vermeidung von schädlichen Rissen gemäß Figur 2a liegt in der Verwendung von benachbarten metallischen Schichten aus verschiedenen Materialien, um Diffusionsprozesse, die aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzungen dieser metallischen Schichten während des Sintervorgangs

bei höheren Temperaturen stattfinden sollen, anzuregen. Während des Diffusionsprozesses soll eine metallische Schicht, beziehungsweise eine Komponente einer Legierung dieser Schicht, mehr Material verlieren als die andere. Dabei werden in dieser metallischen Schicht Hohlräume entstehen, welche zur mechanischen Abschwächung dieser Schicht führen werden. Polungs- oder andere Risse würden daher bevorzugt in der mechanisch abgeschwächten metallischen Schicht entstehen und sich nur dort fortpflanzen.

Figur 3 zeigt einen Abschnitt eines Stapels 1 eines piezoelektrischen Vielschichtbauelements, bei dem zwischen zwei zweiten Elektrodenschichten 3b eine erste Elektrodenschicht 3a auf einer piezokeramischen Schicht 2 aufgebracht ist, wobei die erste Elektrodenschicht 3a eine geringere Konzentration eines ersten Metalls aufweist, als die benachbarten zweiten Elektrodenschichten. Die piezokeramischen Schichten enthalten beispielsweise eine Keramik mit einer Zusammensetzung gemäß den folgenden Formeln:



wobei

$$0,90 \leq x \leq 1,10;$$
$$0,0001 \leq y \leq 0,06;$$
$$0,35 \leq z \leq 0,60;$$
$$0 \leq a \leq 0,10.$$

Die zweiten Elektrodenschichten 3b enthalten beispielsweise ausschließlich Kupfer. Die ersten Elektrodenschichten 3a enthalten beispielsweise ein Material mit der Zusammensetzung $(1-x) \text{Cu} / x \text{Pd}$, wobei $0 < x < 1$ ist. Dieses Material kann entweder eine Mischung aus Kupfer- und Palladiumpulver sein

oder eine Legierung aus beiden Metallen. Alternativ dazu kann anstelle von Kupfer auch ein anderes Metall, wie z. B. Silber, eingesetzt werden. Die ersten Elektrodenschichten 3a enthalten beispielsweise eine Mischung oder eine Legierung aus Silber und Palladium. Die zweiten Elektrodenschichten 3b enthalten beispielsweise nur Silber.

Der Unterschied in der Zusammensetzung der ersten Elektrodenschicht 3a und der zweiten Elektrodenschicht 3b wird bei höheren Temperaturen Diffusionsprozesse anregen. Es hat sich gezeigt, dass das Kupfer eine höhere Mobilität in piezoelektrischen Keramiken auf Basis von PZT zeigt als Palladium. Dies führt dazu, dass die Diffusion nur in eine Richtung stattfindet, nämlich aus der zweiten Elektrodenschicht 3b aus reinem Kupfer in die erste Elektrodenschicht 3a enthaltend Kupfer und Palladium. Die Kupfer und Palladium enthaltende erste Elektrodenschicht 3a spielt somit die Rolle einer Kupfersenke. Der Materialverlust in der zweiten Elektrodenschicht 3b in direkter Nachbarschaft zur ersten Kupfer-Palladium-Elektrodenschicht 3a führt zur Bildung von Hohlräumen in der zweiten Elektrodenschicht 3b beziehungsweise an der Grenze zwischen der zweiten Elektrodenschicht 3b und einer umliegenden beziehungsweise benachbarten piezokeramischen Schicht 2. Somit werden Bedingungen geschaffen für Bildung und Fortpflanzung von kontrollierten Rissen, die im Wesentlichen parallel zu piezokeramischen Schichten 2 verlaufen.

Der Anteil von Hohlräumen in der zweiten Elektrodenschicht 3b kann durch die Zusammensetzung der ersten Elektrodenschichten, die Dicke der ersten und der zweiten Elektrodenschicht sowie durch Partikelgrößen von Metallteilchen in den Elektrodenschichten gesteuert werden.

Nur eine bestimmte Anzahl von Elektrodenschichten muss dabei eine besondere Materialzusammensetzung aufweisen, um Diffusionsprozesse anzuregen. Das vereinfacht die Herstellung des Piezoaktors.

Die zweiten Elektrodenschichten 3b werden während des Sinterprozesses des Piezoaktors einen bestimmten Anteil ihres Materials verlieren und so mechanisch geschwächt. Vorzugsweise wird dabei der Anteil von Hohlräumen in den abgeschwächten zweiten Elektrodenschichten nicht zu groß, so dass diese zweiten Elektrodenschichten im Betrieb elektrisch aktiv bleiben, d. h. zum Aufbau elektrischer Felder eingesetzt werden können. So wird bevorzugt, dass die Zusammensetzung der beiden Sorten von Elektrodenschichten so eingestellt ist, dass ein Kompromiss erzielt wird zwischen (a) ausreichend viele Hohlräume, um eine genügende Abschwächung der zweiten Elektrodenschichten zu erreichen, (b) nicht zu viele Hohlräume in den zweiten Elektrodenschichten, damit kein Verlust an Performance des Piezoaktors im Betrieb stattfindet. Wird dieser Kompromiss erreicht, führt das zu einem weiteren Vorteil des beschriebenen Piezoaktors: das gesamte Volumen des Piezoaktors kann elektrisch aktiv bleiben.

Die zweiten Elektrodenschichten 3b im Piezoaktor können anstelle von Kupfer auch andere Materialien enthalten, wie zum Beispiel eine Legierung aus Kupfer und einem anderen Metall oder eine Mischung aus Kupferpulver mit einem anderen anorganischen Material, zum Beispiel Metall oder ein Oxid.

Beispielsweise können zweite Elektrodenschichten aus einer Mischung oder Legierung von Kupfer und Nickel bestehen oder auch aus einer Mischung von Kupfer und Nickeloxid bestehen.

Es folgt eine genauere Beschreibung einer bevorzugten Zusammensetzung einer ersten Elektrodenschicht. Kupfer ist zu einem Gewichtsanteil von 99,9 % bis 70 %, besonders bevorzugt zu einem Anteil von 97 % bis 75 %, vorhanden. Der Rest der ersten Elektrodenschicht enthält als Metall Palladium. Dabei wird entweder eine Legierung aus Kupfer und Palladium oder eine Mischung aus Kupferpulver und Palladiumpulver verwendet.

Kupferpartikel in der ersten Elektrodenschicht 3a und/oder in der zweiten Elektrodenschicht 3b weisen Durchmesser von 0,1 bis 10 μm , vorzugsweise 0,4 bis 1,5 μm , auf.

Palladiumpartikel in der ersten Elektrodenschicht weisen ebenfalls Durchmesser von 0,1 bis 10 μm , vorzugsweise 0,4 bis 1,5 μm auf. Andere Metallpartikel, beispielsweise auch Partikel aus Metalllegierungen, können ebenfalls diese Größen aufweisen.

Vorzugsweise werden die ersten Elektrodenschichten 3a und die zweiten Elektrodenschichten 3b mittels Siebdruck, Sputtern oder Sprühen auf piezokeramische Schichten aufgebracht.

Die Dicken beider Sorten von Elektrodenschichten 3a, 3b im nicht gesinterten Zustand des Piezoaktors liegen vorzugsweise zwischen 0,1 und 20 μm , vorzugsweise 1,0 und 10 μm .

Es wird bevorzugt, dass mindestens eine Elektrodenschicht 3a der ersten Sorte im Piezoaktor eingebaut ist. Es können auch alle Elektrodenschichten 3 des Piezoaktors, bis auf eine, als

erste Elektrodenschichten 3a und die restliche Elektroden-
schicht als zweite Elektrodenschicht 3b ausgeführt sein.
Somit wird zumindest eine Sollbruch-Elektrodenschicht beim
Sintern erzeugt. Vorzugsweise betragen die ersten
Elektrodenschichten 3a jedoch 5 bis 20 % der Gesamtzahl der
im Piezoaktor vorhandenen Elektrodenschichten 3.

Figur 4 zeigt einen Längsschnitt eines Abschnitts eines
Stapels 1 eines Piezoaktors, bei dem erste
Elektrodenschichten 3a abwechselnd an verschiedene
Längsseiten des Stapels 2 herangeführt sind. Die Polaritäten
der ersten Elektrodenschichten 3a wechseln somit entlang der
Stapelrichtung ab, da die ersten Elektrodenschichten 3a
abwechseln mit zwei verschiedenen Außenkontakten (nicht
gezeigt, siehe hierzu jedoch Figur 1) kontaktiert sind.

Figur 5 zeigt einen Längsschnitt eines Abschnitts eines
Stapels 1 eines Piezoaktors, bei dem entlang der
Stapelrichtung erste Elektrodenschichten 3a immer an dieselbe
Längsseite des Stapels herangeführt sind. Die ersten
Elektrodenschichten 3a sind somit als gleichpolig zu
verstehen, da sie denselben Außenkontakt (nicht gezeigt,
siehe hierzu jedoch Figur 1) kontaktieren.

Bezugszeichenliste

- 1 Stapel aus piezokeramischen Schichten und Elektrodenschichten
- 2 piezokeramische Schicht
- 3 Elektrodenschicht
- 3a erste Elektrodenschicht
- 3b zweite Elektrodenschicht
- 4 Außenkontakt
- 5 Riss

Patentansprüche

1. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement als Zwischenprodukt, aufweisend:
 - einen Stapel (1) von übereinander angeordneten, grünen piezokeramischen Schichten (2), wobei
 - eine erste Elektrodenschicht (3a) auf einer piezokeramischen Schicht (2) aufgebracht ist und ein erstes Metall enthält, wobei
 - eine zweite Elektrodenschicht (3b) auf einer weiteren piezokeramischen Schicht aufgebracht ist und der ersten Elektrodenschicht in Stapelrichtung benachbart ist, wobei
 - die zweite Elektrodenschicht (3b) das erste Metall in einer höheren Konzentration enthält, als die erste Elektrodenschicht.
2. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement nach Anspruch 1, bei dem das erste Metall in der ersten Elektrodenschicht (3) in einer Konzentration von bis zu 80 % vorliegt.
3. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das erste Metall Kupfer umfasst.
4. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement nach einem der Ansprüche 1 oder 2, bei dem das erste Metall Silber umfasst.
5. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement nach Anspruch 3, bei dem das erste Metall in Partikeln mit Durchmessern zwischen 0,1 und 10 µm vorliegt.

6. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei dem die erste Elektrodenschicht (3a) ein zusätzliches, zweites Metall enthält, das sich vom ersten Metall unterscheidet.
7. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement nach Anspruch 6,
bei dem das zweite Metall schlechter durch eine der ersten Elektrodenschicht (3a) benachbarten piezokeramischen Schicht (2) diffundieren kann, als das erste Metall.
8. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement nach einem der Ansprüche 6 oder 7,
bei dem zweite Metall ausgewählt ist aus: Palladium, Beryllium, Aluminium, Mangan, Zink, Zinn, Wismut, Nickel, Kobalt, Chrom, Molybdän, Niob, Rubidium.
9. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement nach einem der Ansprüche 6 bis 8,
bei dem in der ersten Elektrodenschicht (3) das erste Metall in einer höheren Konzentration vorliegt, als das zweite Metall.
10. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei dem die zweite Elektrodenschicht (3b) als Metall ausschließlich das erste Metall enthält.
11. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei dem der Konzentrationsunterschied des ersten Metalls zwischen der ersten Elektrodenschicht (3a) und der

zweiten Elektrodenschicht (3b) derart eingestellt ist, dass bei Erwärmung des Vielschichtbauelements eine Diffusion des ersten Metalls aus der zweiten Elektrodenschicht (3b) zu einem Materialverlust der zweiten Elektrodenschicht (3b) führt, wobei die zweite Elektrodenschicht (3b) strukturell intakt bleibt, um im Betrieb des Vielschichtbauelements als Elektrodenschicht wirken zu können.

12. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die piezokeramischen Schichten (2) eine PZT-Keramik enthalten.
13. Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Vielschichtbauelements, bei dem ein als Zwischenprodukt hergestelltes piezoelektrisches Vielschichtbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche gesintert wird, wobei das erste Metall teilweise aus der zweiten Elektrodenschicht (3b) in die erste Elektrodenschicht (3a) diffundiert und dabei Hohlräume (7) in der zweiten Elektrodenschicht (3b) hinterlässt, wodurch die zweite Elektrodenschicht mechanisch geschwächt wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem sich benachbarte piezokeramische Schichten (2) beim Sintern zwischen den Hohlräumen (7) verbinden.
15. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement, das unmittelbar nach einem Verfahren der vorhergehenden Ansprüche erzeugbar ist.

Fig. 1

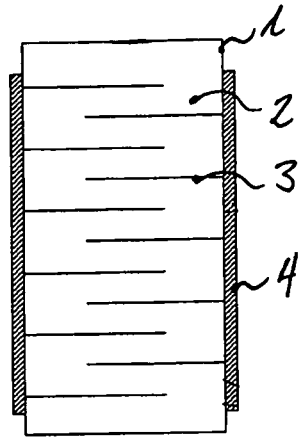


Fig. 2

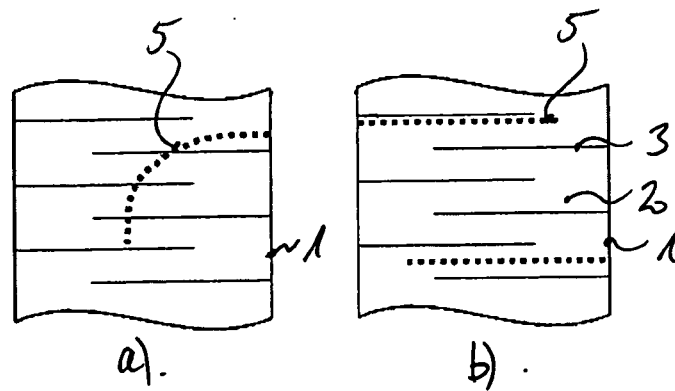


Fig. 3

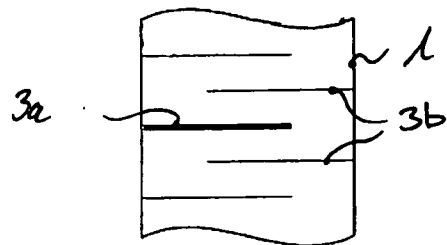


Fig. 4

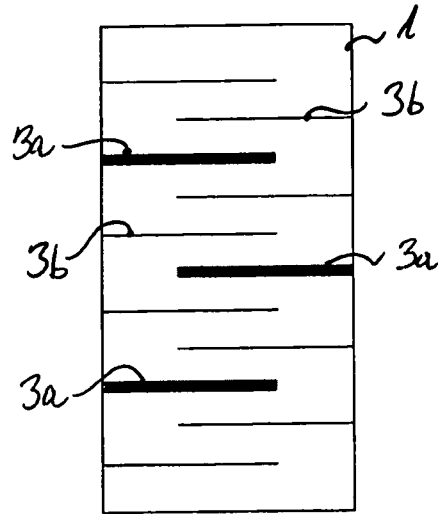
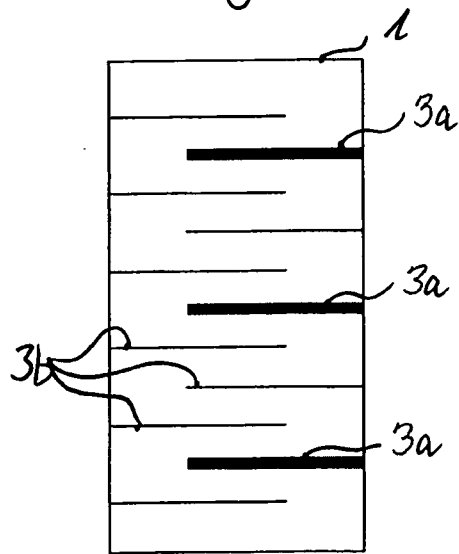


Fig. 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2009/000393

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. H01L41/083 H01L41/047 H01L41/22

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 H02N

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, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2007/102369 A (KYOCERA CORP [JP]) 13 September 2007 (2007-09-13)	1-4,6-15
Y	figures 5a-5c,19,21; table 4	3,5
P,X	& EP 2 003 706 A (KYOCERA CORP [JP]) 17 December 2008 (2008-12-17)	1-4,6-15
P,Y	paragraphs [0025], [0026], [0064] - [0068], [0115], [0138] - [0143], [0167]	3,5
X	DE 10 2004 031402 A1 (SIEMENS AG [DE]) 9 February 2006 (2006-02-09) paragraphs [0007], [0010], [0011], [0020]; figure 2A	1,4,6-8, 12
Y	WO 2006/135013 A (KYOCERA CORP [JP]) 21 December 2006 (2006-12-21) figure 14	3,5
P,Y	& EP 1 898 476 A (KYOCERA CORP [JP]) 12 March 2008 (2008-03-12) paragraphs [0068], [0074], [0076]	3,5

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

<p>*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>*E* earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>*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)</p> <p>*O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>*P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>*I* 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</p> <p>*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</p> <p>*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.</p> <p>*G* document member of the same patent family</p>
--	--

Date of the actual completion of the international search 17 April 2009	Date of mailing of the international search report 06/05/2009
---	---

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Meul, Hans
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2009/000393

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2007102369 A	13-09-2007	EP 2003706 A1	17-12-2008
EP 2003706 A	17-12-2008	WO 2007102369 A1	13-09-2007
DE 102004031402 A1	09-02-2006	CN 1774822 A	17-05-2006
		EP 1636859 A1	22-03-2006
		WO 2006000479 A1	05-01-2006
		JP 2006517729 T	27-07-2006
		US 2006181178 A1	17-08-2006
WO 2006135013 A	21-12-2006	EP 1898476 A1	12-03-2008
EP 1898476 A	12-03-2008	WO 2006135013 A1	21-12-2006

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2009/000393

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H01L41/083 H01L41/047 H01L41/22		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) H01L H02N		
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, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2007/102369 A (KYOCERA CORP [JP]) 13. September 2007 (2007-09-13)	1-4,6-15
Y	Abbildungen 5a-5c,19,21; Tabelle 4	3,5
P,X	& EP 2 003 706 A (KYOCERA CORP [JP]) 17. Dezember 2008 (2008-12-17)	1-4,6-15
P,Y	Absätze [0025], [0026], [0064] - [0068], [0115], [0138] - [0143], [0167]	3,5
X	DE 10 2004 031402 A1 (SIEMENS AG [DE]) 9. Februar 2006 (2006-02-09)	1,4,6-8, 12
	Absätze [0007], [0010], [0011], [0020]; Abbildung 2A	
Y	WO 2006/135013 A (KYOCERA CORP [JP]) 21. Dezember 2006 (2006-12-21)	3,5
	Abbildung 14	
P,Y	& EP 1 898 476 A (KYOCERA CORP [JP]) 12. März 2008 (2008-03-12)	3,5
	Absätze [0068], [0074], [0076]	
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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 17. April 2009		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts 06/05/2009
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Meul, Hans

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2009/000393

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2007102369	A	13-09-2007	EP 2003706 A1	17-12-2008
EP 2003706	A	17-12-2008	WO 2007102369 A1	13-09-2007
DE 102004031402	A1	09-02-2006	CN 1774822 A	17-05-2006
			EP 1636859 A1	22-03-2006
			WO 2006000479 A1	05-01-2006
			JP 2006517729 T	27-07-2006
			US 2006181178 A1	17-08-2006
WO 2006135013	A	21-12-2006	EP 1898476 A1	12-03-2008
EP 1898476	A	12-03-2008	WO 2006135013 A1	21-12-2006