

(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  
25. Januar 2007 (25.01.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2007/009908 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H01L 41/24 (2006.01) H01L 41/083 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2006/064077

(22) Internationales Anmeldedatum:

11. Juli 2006 (11.07.2006)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2005 033 463.6 18. Juli 2005 (18.07.2005) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): LUBITZ, Karl [DE/DE]; Röntgenstr. 20, 85521 Ottobrunn (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, 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, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

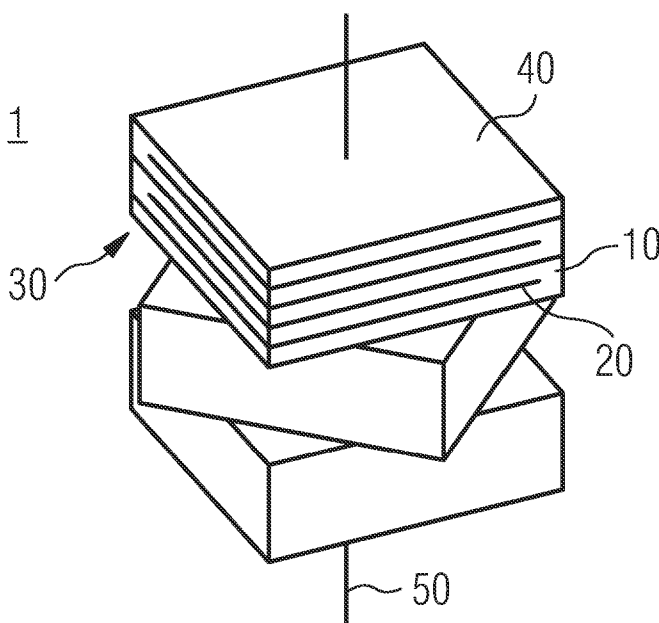
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: PIEZOELECTRIC ACTUATOR

(54) Bezeichnung: PIEZOAKTOR



(57) Abstract: The invention relates to a piezoelectric actuator (1) and to a method for its production. Said piezoelectric actuator (1) consists of several stacks (30) with a non-circular cross-sectional area (40), which are positioned on top of one other in such a way that neighbouring stacks (30) are offset in relation to one another.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung beschreibt einen Piezoaktor 1 und ein Verfahren zu seiner Herstellung. Der Piezoaktor 1 besteht aus einer Mehrzahl von Stapeln 30 mit jeweils einer nicht-runden Querschnittsfläche 40, die derart übereinander angeordnet sind, dass benachbarte Stapel 30 versetzt zueinander ausgerichtet sind.

WO 2007/009908 A1

Beschreibung

Piezoaktor

5 Die vorliegende Erfindung betrifft einen Piezoaktor in Vielschicht-Bauweise und ein Verfahren zu seiner Herstellung.

Piezoelektrische Vielschicht-Stapelaktoren sind im Stand der Technik bekannt und schematisch in Fig. 1 dargestellt. Sie  
10 besitzen zum Anlegen der elektrischen Spannung zwei Kontaktzonen 2. In diesen Kontaktzonen 2 treten jeweils von Schicht zu Schicht wechselnd nur die Hälfte der Innenelektroden 3 an die Oberfläche. Diese Kontaktzonen 2 sind piezoelektrisch inaktiv. Wird der Stapelaktor, der auch als Stack oder Piezoaktor  
15 bezeichnet wird, mit elektrischer Spannung versorgt, geraten die Kontaktzonen 2 unter mechanische Zugspannungen. Diese Zugspannungen können in Abhängigkeit von der angelegten elektrischen Spannung und der Höhe des Piezoaktors in ihrer Stärke variieren und zu Rissen 4 innerhalb des Piezoaktors  
20 führen. Zudem erzeugen diese Zugspannungen Delamination von Innenelektroden und Keramik. Die Risse 4 beeinträchtigen die Zuverlässigkeit des Piezoaktors und verkürzen dessen Lebensdauer. Für einen dauerhaften Einsatz von Piezoaktoren ist daher eine risstolerante Außen- und Weiterkontaktierung erforderlich.  
25

Aus Japan ist die Konstruktion eines Piezoaktors ohne inaktive Kontaktzonen bekannt, wie es schematisch in Fig. 2 dargestellt ist. Bei dieser Konstruktion werden auf gegenüberliegenden  
30 Seiten des Piezoaktors die Elektroden 3 jeweils einer Polarität elektrophoretisch mit einer Glasisolierung 5 abgedeckt. Eine darüber gezogene Kontaktbahn oder Außenmetallisierung 6 verbindet danach alle Innenelektroden 3 der jeweiligen Polarität. Die Glasisolierungen 5 mit typischerweise  
35 25µm Durchmesser können nicht porenfrei hergestellt werden. Daher sind diese Bauteile für Elektromigration und Ausfall

durch Kurzschluss anfällig und können nur in gekapselter Schutzgasatmosphäre betrieben werden.

5 Eine andere Konstruktion für einen Piezoaktor besteht aus 1 bis 2 mm hohen Vielschicht-Stapeln 7 mit inaktiven Kontaktzonen 2 (vgl. Fig. 3). Diese Vielschicht-Stapel 7 werden in beliebiger Höhe aufeinander geklebt, wie durch die schraffiert gezeichnete Klebeschicht 8 angedeutet ist. Bei Polung und Betrieb dieser Vielschicht-Stapel entstehen keine Risse, da die  
10 mechanischen Zugspannungen in niedrigen Vielschicht-Stapeln noch nicht die kritische Größe zur Risserzeugung in der Keramik erreichen. Die auf diese Weise hergestellten Piezoaktoren haben aber wegen der zwischenliegenden Kleberschicht 8 eine für die meisten Anwendungen unzureichende Steifigkeit und  
15 Temperaturstabilität.

Des Weiteren sind Konstruktionen von Piezoaktoren bekannt, die mit monolithischen Vielschicht-Aktoren und inaktiven Kontaktzonen arbeiten. Um den schädlichen Einfluss von Rissen zu  
20 minimieren, werden gezielt Entlastungsschlitzte eingebracht. Um diese Konstruktionen zu realisieren, sind jedoch aufwändige Modifikationen des Herstellungsverfahrens für Vielschicht-Aktoren erforderlich. Zudem müssen riss- und schlitztolerante Vielfach-Weiterkontaktierungen eingesetzt werden.

25 Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Piezoaktor und ein Verfahren zu seiner Herstellung bereitzustellen, der die Gefahr der Verkürzung der Lebensdauer durch Rissbildung weiter minimiert.

30 Die obige Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß dem unabhängigen Anspruch 1 sowie durch einen Vielschicht-Piezoaktor gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 6 gelöst. Weitere bevorzugte Ausführungsformen und vorteilhafte Ausgestaltungen der  
35 vorliegenden Erfindung gehen aus der folgenden Beschreibung und den anhängenden Ansprüchen hervor.

Die vorliegende Erfindung beschreibt einen Piezoaktor, der keine inaktiven Kontaktzonen aufweist, und ein Verfahren zu seiner Herstellung. Basierend auf dieser Konstruktion wird das Entstehen von Rissen bei Polung und Betrieb des Piezoaktors minimiert oder sogar vollständig verhindert.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines Piezoaktors in Vielschicht-Bauweise umfasst die folgenden Schritte: Herstellen einer Mehrzahl von piezokeramischen Grünfolien mit Elektrodenflächen und Laminieren von piezokeramischen Grünfolien zu einer Platte, Vereinzeln der Platte in eine Mehrzahl von Stapeln, die eine nicht-runde Querschnittsfläche aufweisen, Anordnen der Stapel übereinander mit gegenüberliegenden Querschnittsflächen derart, dass benachbarte Stapel versetzt zueinander angeordnet sind, und Verbinden der versetzt angeordneten Stapel durch Sintern.

Basierend auf dem versetzten Anordnen von Stapeln, die aus piezokeramischen Grünfolien mit Elektrodenflächen hergestellt worden sind, entsteht ein Piezoaktor, der in seiner Bewegung nicht durch inaktive Kontaktzonen gehemmt wird. Durch das nach außen Verlegen dieser inaktiven Kontaktzonen aus dem aktiven Bereich des Aktors heraus entstehen weder während der Polung noch während des Betriebs des Piezoaktors Risse oder Delaminationen, die die Lebensdauer und Zuverlässigkeit des Piezoaktors negativ beeinflussen. Da die Stapel eine nicht-runde Querschnittsfläche aufweisen, führt ein versetztes Anordnen der Stapel durch Drehung um ihre Längsachse zu freiliegenden Bereichen der Stapel, die nicht durch den Querschnitt des darüberliegenden Stapels abgedeckt sind. Diese freiliegenden Bereiche, die bevorzugt der Kontaktierung dienen, haben aufgrund ihrer Position keinen negativen Einfluss auf die mechanischen Spannungs- und Dehnungsverhältnisse innerhalb des Piezoaktors. Zudem werden innerhalb der freiliegenden inaktiven Kontaktbereiche keine rissbildenden Zugspannungen erzeugt.

Gemäß bevorzugter Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind die Querschnittsflächen der Stapel als Quadrat, Dreieck oder Sechseck ausgebildet.

5 Um des Weiteren die Herstellung derartiger Piezoaktoren bestehend aus mehreren versetzt zueinander angeordneten Stapeln zu vereinfachen, werden diese Stapel übereinander in einer Hilfsform angeordnet, die die Position der einzelnen Stapel zueinander unterstützt.

10

Die vorliegende Erfindung offenbart ebenfalls einen Vielschicht-Piezoaktor, der die folgenden Merkmale aufweist: eine Mehrzahl von Stapeln mit jeweils einer nicht-runden Querschnittsfläche bestehend aus laminierten piezokeramischen  
15 Dünnschichten, die derart übereinander angeordnet sind, dass benachbarte Stapel versetzt zueinander ausgerichtet sind.

Im Weiteren werden bevorzugte Ausführungsformen und Vorteile der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die begleitende  
20 Zeichnung näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 bis 3 verschiedene Ausgestaltungen von Piezoaktoren, die aus dem Stand der Technik bekannt sind,

25 Fig. 4 eine perspektivische schematische Darstellung eines Piezoaktors gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,

Fig. 5 eine Draufsicht auf den Piezoaktor gemäß Fig. 4 und  
30

Fig. 6 eine Draufsicht auf eine Ausführungsform eines rundernten Bauteils mit Mehrfachkontakierung.

Die vorliegende Erfindung beruht zum Einen auf der Erkenntnis,  
35 nis, dass Piezoaktoren in Vielschicht-Bauweise mit geringer Höhe in ihren inaktiven Kontaktzonen bei Polung und Betrieb keine Risse bilden. Modellrechnungen dazu zeigen, dass die

mechanischen Zugspannungen innerhalb des Vielschicht-Piezoaktors unter den kritischen Werten zur Rissbildung bleiben. Außerdem ist aus der EP-A-0 894 340 bekannt, dass dünne Grünteile aus Vielschicht-Piezokeramik zu einem monolithischen Stapel oder Stack beliebiger Höhe zusammengefügt werden können, indem sie übereinander gelegt und unter geringer Last zusammengesintert werden. Diese Last bewegt sich typischerweise in einem Intervall zwischen 10 und 100 kPa.

10 Gemäß der vorliegenden Erfindung wird zunächst zur Herstellung eines Piezoaktors 1 (vgl. Fig. 4) in Vielschicht-Bauweise eine Mehrzahl von piezokeramischen Grünfolien 10 mit oder ohne Elektrodenflächen 20 hergestellt. Diese Grünfolien 10 werden nachfolgend zu einer Platte laminiert, die durch  
15 standardmäßiges Stanzen in Stapel 30 vereinzelt wird. Die Dicke der aus piezokeramischen Grünfolien 10 bestehenden Platte liegt typischerweise bei 2 bis 3 mm und ist durch die Stanzbarkeit der Platte nach oben beschränkt. Aus der Platte werden bevorzugt Stapel 30 vereinzelt, die eine nicht-runde  
20 Querschnittsfläche 40 aufweisen. Gemäß bevorzugter Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung weist die Querschnittsfläche 40 eines gestanzten Stapels 30 die Form eines Dreiecks, eines gleichseitigen Dreiecks, eines Vierecks, eines Quadrats oder eines gleichseitigen Sechsecks auf.

25 Die aus piezokeramischen Grünfolien 10 hergestellten Stapel 30 weisen an ihren Ecken Kontaktzonen 60 auf (vgl. Fig. 5), die nach abgeschlossener Fertigung des Piezoaktors 1 piezoelektrisch inaktiv bleiben. Innerhalb dieser Kontaktzonen 60  
30 treten jeweils nur Innenelektroden einer Polarität an die Oberfläche des Piezoaktors 1.

Die oben genannten Stapel 30 werden bevorzugt aus mit Elektrodenflächen 20 bedruckten und unbedruckten piezokeramischen Grünfolien hergestellt. Mit Drucken meint man in diesem Zusammenhang das Aufbringen einer Elektrodenfläche 20 bestimmter Form auf die piezokeramische Grünfolie. Bevor die piezo-

keramischen Grünfolien 10 zu einer Platte laminiert werden, wird zunächst sichergestellt, dass an Ober- und Unterseite der Platte mindestens eine reine Keramikfolie ohne Elektroden angeordnet ist. Basierend auf dieser Konstruktion liegen alle  
5 Innenelektroden im Inneren des Verbundes aus piezokeramischen Grünfolien, der später die Mehrzahl von Stapeln 30 bildet. Auf diese Weise wird eine Beschädigung der Elektroden während der weiteren Aktorherstellung verhindert. Als Elektroden kommen sämtliche für Vielschicht-Bauelemente gebräuchliche Mate-  
10 rialien in Frage, insbesondere die Metalle Platin, Silber, Silberpalladium (AgPd), Nickel und Kupfer.

Die aus piezokeramischen Grünfolien 10 bestehenden Stapel 30 werden nun derart übereinander angeordnet, dass die inaktiven  
15 Kontaktzonen im Freien liegen. Diese Anordnung wird dadurch ermöglicht, dass die Stapel 30 eine nicht-runde Querschnittsfläche 40 aufweisen. Basierend auf dieser nicht-runden Querschnittsfläche 40 können die Stapel 30 versetzt zueinander angeordnet werden, so dass sich gegenüberliegende Quer-  
20 schnittsflächen 40 aneinander angrenzender Stapel 30 nicht vollständig abdecken. Zur Illustration ist in Fig. 4 ein Stapel 30 mit quadratischer Querschnittsfläche 40 gezeigt. Wie man erkennen kann, liegen nach dem Übereinanderstapeln der Stapel 30 die inaktiven Kontaktzonen 60 derart im Freien,  
25 dass Elektroden einer Polarität übereinander ausgerichtet sind. Stapel 30 mit quadratischer Querschnittsfläche 40 werden beim Stapeln bevorzugt jeweils um  $45^\circ$  gedreht. Die Drehung erfolgt hier um die Längsachse 50 der Stapel 30, die senkrecht auf der Querschnittsfläche 40 steht. Stapel 30 mit  
30 dreieckiger Querschnittsfläche werden bevorzugt um  $60^\circ$  und Stapel 30 mit sechseckiger Querschnittsfläche werden bevorzugt um  $30^\circ$  gedreht. Es ist ebenfalls denkbar, den Stapeln 30 andere als die oben beschriebenen Querschnittsflächen 40 zuzuordnen, sofern diese freiliegende Kontaktzonen 60 durch  
35 versetztes Anordnen der Stapel 30 im Verhältnis zueinander zulassen.

Die Stapel 30 werden anschließend unter geringer Last zu einem monolithischen Block zusammengesintert. Die im Freien liegenden Kontaktzonen 60 werden z. B. durch Schleifen oder Rondieren freigelegt. Nachfolgend führt man eine standardmäßige Außenmetallisierung, beispielsweise mit Siebdruck, Tam-  
5 poprint oder Pinselauftrag, durch. Abschließend werden die einzelnen Stapel 30 durch eine zusammenfassende Weiterkontak-  
tierung zusammengeschlossen.

10 Das Anordnen der Stapel 30 vor dem Sintern erfolgt bevorzugt in einer Hilfsform (nicht gezeigt). Innerhalb dieser Hilfsform, die die Positionierung der einzelnen Stapel 30 im Verhältnis zueinander unterstützt, werden die lose übereinandergelegten Stapel 30 bevorzugt durch organischen Kleber aneinander  
15 ander fixiert. Der organische Kleber brennt beispielsweise bei der Entbinderung aus. Es sind insbesondere auch Hilfsformen denkbar, die sowohl zum Anordnen der Stapel 30 als auch zur folgenden Entbinderung und Sinterung eingesetzt werden können. Neben der Positionierung und dem Stützen der Stapel  
20 30 können derartige Hilfsformen ebenfalls eingesetzt werden, um die vertikale Führung einer Sinterlast zu übernehmen. Im einfachsten Fall wird zur Unterstützung und Positionierung der Stapel 30 und zur Führung der Sinterlast ein einseitig geschlossener Hohlzylinder aus Sinterhilfsmittel-Material  
25 eingesetzt. Bevorzugte Materialien dieser Hilfsform sind  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oder  $\text{MgO}$ .

Beim Sintern bildet sich zwischen den übereinander versetzt angeordneten Stapeln 30 eine aktive Piezokeramikschi-  
30 chte mit einer Dicke entsprechend der Dicke der Dünnschichten 10 in den Stapeln 30. Dies muss bei Piezoaktoren 1, die aus Stapeln 30 von drei und mehr unbedruckten/bedruckten Dünnschichten 10 zusammengesetzt sind, durch entsprechende Stapelung am Beginn und am Ende der Stapelung der Nutzenplatten in geeigneter  
35 Weise berücksichtigt werden.

In Bezug auf den oberen und unteren Bereich des Piezoaktors 1 ist dem Fachmann bekannt, dass diese in anderer Weise gestapelt werden müssen als der Mittelteil des Piezoaktors 1, so dass größere piezoelektrisch inaktive Aktor-Endbereiche entstehen.

Zur Weiterkontaktierung sind alle gebräuchlichen und bekannten Verfahren einsetzbar, insbesondere Klebe- oder Lotverbindungen mit Einzeldrähten, Metallkämmen, Metallwolle, Metallgittern oder ähnlichem. Die einzeln aus dem Sinterverbund herausstehenden Kontaktzonen 60 können aber auch mit einer Litze oder einem Draht verbunden werden, was deshalb vorteilhaft ist, weil sich die freistehenden Kontaktzonen 60 bei der Sinterung unter ihrer Eigenlast etwas nach unten verbiegen.

Basierend auf dem oben beschriebenen Verfahren wird ein Vielschicht-Piezoaktor 1 hergestellt, der aus einer Mehrzahl von Stapeln 30 mit jeweils einer nicht-runden Querschnittsfläche 40 bestehend aus laminierten piezokeramischen Dünnschichten 10 aufgebaut ist, die derart übereinander angeordnet sind, dass benachbarte Stapel 30 versetzt zueinander ausgerichtet sind. Der oben genannte Versatz benachbarter Stapel 30 wird bevorzugt durch Drehung um die Längsachse 50 der Stapel 30 erzielt.

Der erfindungsgemäße Vielschicht-Piezoaktor 1 zeichnet sich im Vergleich zum Stand der Technik durch vergrößerten Hub und höhere Steifigkeit aus, da das gesamte zusammengesinterte Volumen piezoelektrisch aktiv ist und in seiner Bewegung nicht durch inaktive Kontaktzonen 60 gehemmt wird. Zudem entstehen in dem Piezoaktor 1 weder während der Polung noch während des Betriebs Risse oder Delaminationen. Auf diese Weise verbessern sich die Lebensdauer und die Zuverlässigkeit des vorliegenden Piezoaktors 1.

Des Weiteren ist das Verfahren deutlich kostengünstiger als die heute gebräuchlichen Verfahren zur Herstellung hoher Pie-

zoaktoren 1. Dabei sind die einfache Herstellung dünner Vielschicht-Platten, das voll automatisierte Stanzen von Einzelteilen bzw. Stapeln 30, das Stapeln verhältnismäßig weniger und gut handhabbarer Einzelelemente bzw. Stapel 30, der Wegfall zahlreicher Schleif- und Polierprozesse und schließlich die vereinfachte Weiterkontaktierung ausschlaggebend. Zudem können in einfacher Weise Piezoaktoren fast beliebiger Höhe im Baukastensystem hergestellt werden. Somit ist gerade dieses Verfahren für höhere Piezoaktoren 1 besonders geeignet.

10

Ein ernstes Problem für Lebensdauer und Zuverlässigkeit bei Ansteuerung mit niederfrequenten Pulsen oder Gleichspannung stellen Kurzschlüsse durch Silberwanderung bei silberhaltigen Innenelektroden dar. Mikrorisse an der Oberfläche in Verbindung mit Feuchtigkeit spielen hier eine wichtige Rolle. In der erfindungsgemäßen Konstruktion bleiben alle Oberflächen, wo sich Elektroden unterschiedlicher Polarität gegenüberstehen, mechanisch unbehandelt. Mikrorisse sind nach der Sinterung nicht vorhanden. Darüber hinaus ist die auf diese Weise erhalten bleibende Sinterhaut ein idealer Haftgrund für Versiegelungen aller Art (Araldite, Silikone) zur weiteren Verhinderung von Silberwanderung. Auch für Gleichspannungs- und Niederfrequenzanwendungen wird daher die Lebensdauer und Zuverlässigkeit des vorliegenden Piezoaktors 1 deutlich verbessert.

25

Des Weiteren vorteilhaft ist die Möglichkeit der einfachen Weiterkontaktierung des Piezoaktors 1 beispielsweise durch eine aufgelötete Litze. Wenn gemäß einer weiteren Ausführungsform als Weiterkontaktierung eine Metallfolie 70 verwendet wird (vgl. Fig. 6), können mehrere Kontaktzonen 60 gleicher Polarität zusammengefasst werden. Man erhält für eine Innenelektrode jeweils eine Mehrfachkontaktierung, wodurch die Stromdichte im Kontaktzonenbereich 60 deutlich reduziert wird. Damit ist der Piezoaktor 1 besonders auch für schnelle Ansteuerungen für Mehrfachimpulsbetrieb geeignet.

35

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Piezoaktors (1) in Vielschichtbauweise mit den folgenden Schritten:
  - 5 a. Herstellen einer Mehrzahl von piezokeramischen Grünfolien (10) mit Elektrodenflächen (20) und Laminieren der Mehrzahl von piezokeramischen Grünfolien (10) zu einer Platte,
  - 10 b. Vereinzeln der Platte in eine Mehrzahl von Stapeln (30), die eine nicht-runde Querschnittsfläche (40) aufweisen,
  - c. Anordnen der Stapel (30) übereinander mit gegenüberliegenden Querschnittsflächen (40) derart, dass benachbarte Stapel (30) versetzt zueinander angeordnet sind, und
  - 15 d. Verbinden der versetzt angeordneten Stapel (30) durch Sintern.
  
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, in dem die benachbarten Stapel (30) durch Drehung um ihre Längsachse (50) versetzt zueinander angeordnet sind.
  
3. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, in dem die nicht-runde Querschnittsfläche (40) ein Quadrat, ein Dreieck oder ein Sechseck ist.
  
4. Verfahren gemäß Anspruch 3, in dem benachbarte quadratische Stapel (30) um  $45^\circ$ , dreieckige Stapel um  $60^\circ$  und sechseckige Stapel um  $30^\circ$  versetzt zueinander angeordnet sind.
  
5. Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, mit dem weiteren Schritt:  
Anordnen der Stapel (30) übereinander in einer Hilfsform, die die Position der einzelnen Stapel (30) zueinander unterstützt.

6. Vielschicht-Piezoaktor (1), der die folgenden Merkmale aufweist:
- a. eine Mehrzahl von Stapeln (30) mit jeweils einer nicht-runden Querschnittsfläche (40) bestehend aus laminierten piezokeramischen Dünnschichten (10),
  - b. die derart übereinander angeordnet sind, dass benachbarte Stapel (30) versetzt zueinander ausgerichtet sind.
- 10 7. Vielschicht-Piezoaktor (1) gemäß Anspruch 6, dessen benachbarte Stapel (30) durch Drehung um ihre Längsachse (50) versetzt zueinander ausgerichtet sind.
- 15 8. Vielschicht-Piezoaktor (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 6 oder 7, in dem die nicht-runde Querschnittsfläche (40) ein Quadrat, ein Dreieck oder ein Sechseck ist.
- 20 9. Vielschicht-Piezoaktor (1) gemäß Anspruch 8, in dem benachbarte quadratische Stapel (30) um  $45^\circ$ , dreieckige Stapel um  $60^\circ$  und sechseckige Stapel um  $30^\circ$  versetzt zueinander angeordnet sind.

FIG 1 Stand der Technik

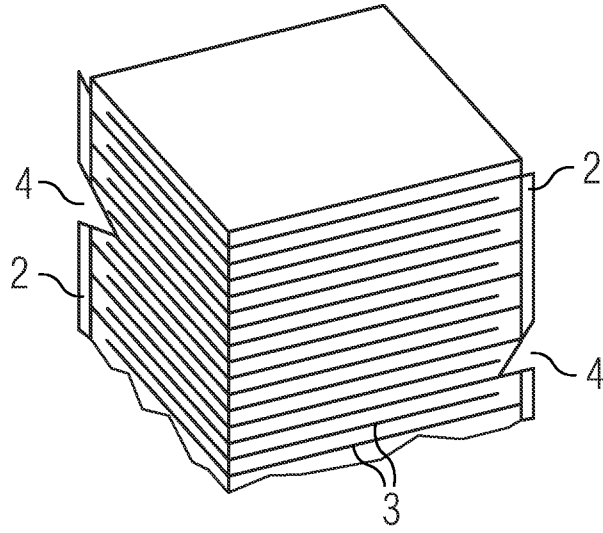


FIG 2

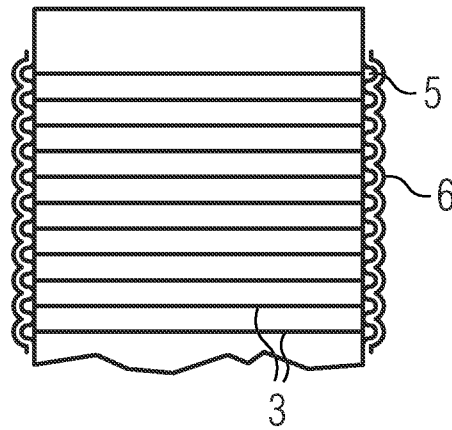


FIG 3

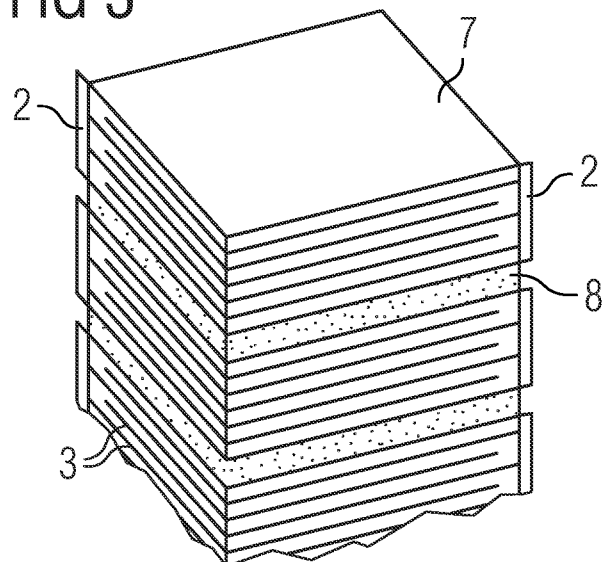


FIG 4

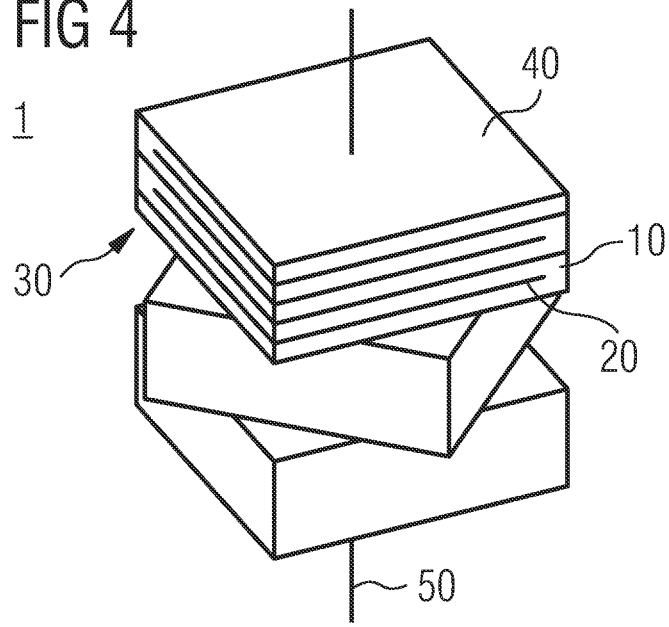


FIG 5

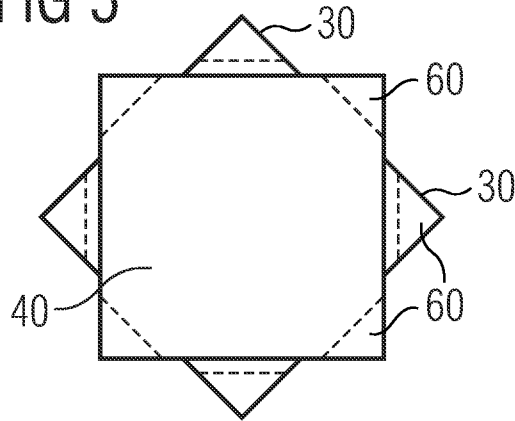
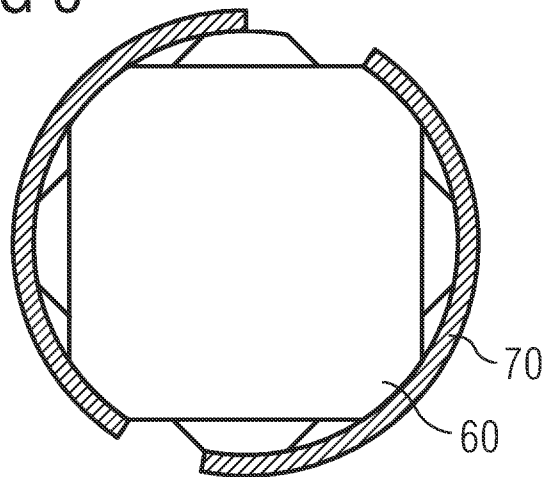


FIG 6



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2006/064077A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. H01L41/24 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, WPI Data, PAJ, INSPEC

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 061 591 A (DENSO CORPORATION) 20 December 2000 (2000-12-20)	6-8
Y	paragraphs [0074] - [0082]; figures 1-6	1-3,5
A	paragraphs [0083] - [0088]	4,9
Y	DE 102 58 444 A1 (NIPPON SOKEN, INC; DENSO CORP., KARIYA) 24 July 2003 (2003-07-24) paragraphs [0069] - [0071]	1-3,5
X	DE 198 17 802 A1 (MARCO SYSTEMANALYSE UND ENTWICKLUNG GMBH) 28 October 1999 (1999-10-28) column 2, line 25 - column 3, line 9; figures 1,2	6,7
A	DE 10 2004 007999 A1 (DENSO CORP., KARIYA) 23 September 2004 (2004-09-23) abstract	1-9
	-/--	

 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

5 September 2006

Date of mailing of the international search report

15/09/2006

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

Gröger, A

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2006/064077

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 198 14 697 C1 (LUPASCO, DORU CONSTANTIN) 21 October 1999 (1999-10-21) abstract -----	1-9

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2006/064077

Patent document cited in search report	Publication date	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1061591	A	20-12-2000	WO 0038252 A1 US 6452312 B1	29-06-2000 17-09-2002
DE 10258444	A1	24-07-2003	JP 2003243742 A US 7063813 B1	29-08-2003 20-06-2006
DE 19817802	A1	28-10-1999	NONE	
DE 102004007999	A1	23-09-2004	JP 2004274029 A	30-09-2004
DE 19814697	C1	21-10-1999	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H01L41/24 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, WPI Data, PAJ, INSPEC		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 061 591 A (DENSO CORPORATION) 20. Dezember 2000 (2000-12-20)	6-8
Y	Absätze [0074] - [0082]; Abbildungen 1-6	1-3,5
A	Absätze [0083] - [0088] -----	4,9
Y	DE 102 58 444 A1 (NIPPON SOKEN, INC; DENSO CORP., KARIYA) 24. Juli 2003 (2003-07-24) Absätze [0069] - [0071] -----	1-3,5
X	DE 198 17 802 A1 (MARCO SYSTEMANALYSE UND ENTWICKLUNG GMBH) 28. Oktober 1999 (1999-10-28) Spalte 2, Zeile 25 - Spalte 3, Zeile 9; Abbildungen 1,2 -----	6,7
A	DE 10 2004 007999 A1 (DENSO CORP., KARIYA) 23. September 2004 (2004-09-23) Zusammenfassung -----	1-9
-/--		
<input checked="" 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		"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
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist		"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"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)		"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
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht		"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
5. September 2006		15/09/2006
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  Gröger, A

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 198 14 697 C1 (LUPASCO, DORU CONSTANTIN) 21. Oktober 1999 (1999-10-21) Zusammenfassung -----	1-9

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/064077

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 1061591	A	20-12-2000	WO	0038252 A1		29-06-2000
			US	6452312 B1		17-09-2002
DE 10258444	A1	24-07-2003	JP	2003243742 A		29-08-2003
			US	7063813 B1		20-06-2006
DE 19817802	A1	28-10-1999	KEINE			
DE 102004007999	A1	23-09-2004	JP	2004274029 A		30-09-2004
DE 19814697	C1	21-10-1999	KEINE			