(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
12. April 2012 (12.04.2012)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/045867 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 41/107 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/067570

(22) Internationales Anmeldedatum:
7. Oktober 2011 (07.10.2011)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2010 047 721.4
7. Oktober 2010 (07.10.2010) 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)*: **KARTASHEV, Igor** [UA/AT]; Poststrasse 7/3, A-8530 Deutschlandsberg (AT).

(74) Anwalt: **EPPING HERMANN FISCHER PATENTANWALTSGESELLSCHAFT 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, CL, 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, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, 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,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: PIEZOELECTRIC MULTI-LAYER COMPONENT

(54) Bezeichnung : PIEZOELEKTRISCHES VIELSCHICHTBAUELEMENT

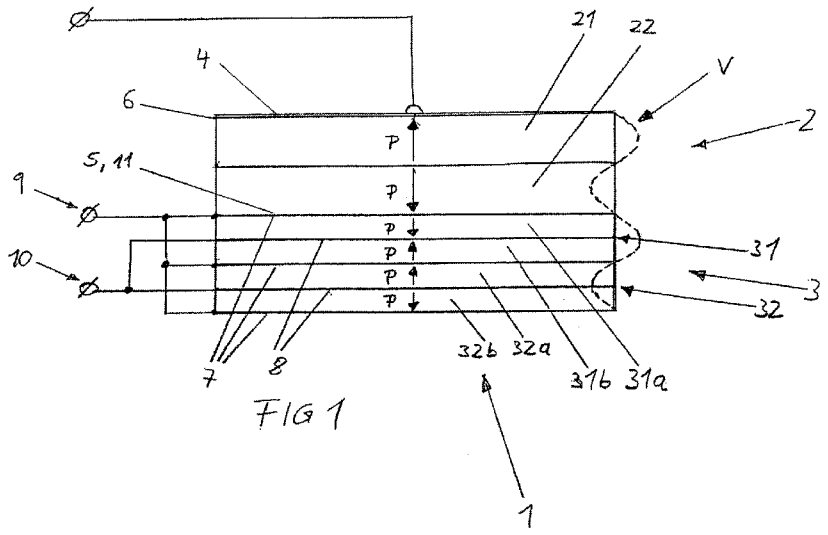


FIG 1

(57) Abstract: The invention relates to a piezoelectric multi-layer component, comprising a piezoelectric main body (1), which has an inlet area (2) and an outlet area (3), wherein in the outlet area (3) or in the inlet area (2) at least two adjacent layers (21, 22; 31a, 31b; 32a, 32b) are polarized antiparallel to each other and at least two adjacent layers (31b, 32a) are polarized parallel to each other.

(57) Zusammenfassung: Piezoelektrisches Vielschichtbauelement mit einem piezoelektrischen Grundkörper (1), der einen Eingangsbereich (2) und einen Ausgangsbereich (3) aufweist, wobei im Ausgangsbereich (3) oder im Eingangsbereich (2) zumindest zwei benachbarte Lagen (21, 22; 31a, 31b; 32a, 32b) antiparallel zueinander polarisiert sind und zumindest zwei benachbarte Lagen (31b, 32a) parallel zueinander polarisiert sind.

WO 2012/045867 A1

RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Beschreibung

Piezoelektrisches Vielschichtbauelement

Die Erfindung betrifft ein piezoelektrisches Vielschichtbauelement, insbesondere einen Transformator.

Für Hochfrequenzanwendungen eignen sich insbesondere piezoelektrische Bauelemente, die mit Dickenschwingungen arbeiten. Solche piezoelektrischen Bauelemente weisen Arbeitsfrequenzen von mehr als 500 kHz auf, die eine weitere Miniaturisierung der elektronischen Bauelemente ermöglichen.

Eine Ausgestaltung für ein im Hochfrequenzbereich arbeitendes piezoelektrisches Bauelement ist aus der Druckschrift US 6,707,235 bekannt. Bei piezoelektrischen Transformatoren, die mit Dickenschwingungen arbeiten, beeinträchtigt die Anregung von parasitären Schwingungsmoden, insbesondere der horizontalen Schwingungsmoden, den Wirkungsgrad der Anordnung. In der Druckschrift US 6,707,235 wird vorgeschlagen, dieses Problem durch einen ringförmig gestalteten piezoelektrischen Grundkörper zu lösen. Diese spezielle ringförmige Ausgestaltung des piezoelektrischen Grundkörpers erfordert jedoch den Einsatz aufwendiger Technologien bei der Herstellung dieses Bauelements, welche nicht kompatibel zu der bereits eingesetzten Vielschichttechnologie sind, die üblicherweise bei der Herstellung piezoelektrischer Bauelemente zum Einsatz kommt. Dadurch ist die Herstellung eines solchen Bauelements nach dem vorgeschlagenen Prinzip aufwendig und kostenintensiv.

Folglich besteht das Bedürfnis nach einem piezoelektrischen Bauelement, das unter Anwendung der Vielschichttechnologie

hergestellt werden kann und das wirksam die Anregung von parasitären Schwingungsmoden unterdrückt.

Dazu wird gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ein piezoelektrisches Vielschichtbauelement vorgeschlagen, das einen Grundkörper aus piezoelektrischem Material, der einen Eingangsbereich und einen Ausgangsbereich aufweist, umfasst, wobei der Ausgangsbereich oder der Eingangsbereich zumindest zwei benachbarte Lagen aufweist, die antiparallel zueinander polarisiert sind und zumindest zwei benachbarte Lagen aufweist, die parallel zueinander polarisiert sind.

Der Begriff „Lagen" bezeichnet vorliegend Abschnitte des Vielschichtbauelements. Vorzugsweise ist eine Lage ein Abschnitt, der zwischen zwei benachbarten Elektroden angeordnet ist. Vorzugsweise weisen die Lagen ein piezoelektrisches Material auf. Vorzugsweise weist das piezoelektrische Material in der Lage eine einheitliche Polarisationsrichtung auf. Eine Lage im Eingangsbereich wird im folgenden auch als „Schicht" bezeichnet. Eine Lage im Ausgangsbereich wird im folgenden auch als „Teilschicht" bezeichnet.

Der Begriff „Schicht" wird vorliegend vorzugsweise für einzelne Abschnitte des Vielschichtbauelements verwendet, die alle die gleiche Dicke aufweisen, die vorzugsweise eine halbe Wellenlänge einer Oberschwingung des Grundkörpers beträgt. Eine Schicht kann mehrere „Teilschichten" aufweisen. Weist eine Schicht mehrere Teilschichten auf, so ist jede der Teilschichten dünner als die Schicht.

Durch die spezielle Art der Polarisierung der Lagen, insbesondere von Teilschichten des Ausgangsbereichs, wird die Anregung von parasitären Schwingungsmoden wirksam gedämpft. Das piezoelektrische Bauelement kann nach der bewährten Viel-

schichttechnologie und damit kostengünstig hergestellt werden. Die Dämpfung der parasitären Schwingungsmoden führt zu einem erhöhten Wirkungsgrad des piezoelektrischen Bauelements. Weiterbildungen und Ausgestaltungen sind jeweils Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

In einer Ausführungsform umfasst der Eingangsbereich zumindest zwei übereinander liegende Lagen, die eine entgegen gerichtete Polarisierung im Wesentlichen senkrecht zu der Oberseite des Grundkörpers aufweisen.

In einer Ausführungsform weisen die Lagen im Ausgangsbereich eine geringere Dicke auf als die Lagen im Eingangsbereich.

In einer Ausführungsform weist das piezoelektrische Vielschichtbauelement eine erste primäre Elektrode, die oberhalb des Eingangsbereichs parallel zu einer Oberseite des Grundkörpers angeordnet ist, eine zweite primäre Elektrode, die unterhalb des Eingangsbereichs parallel zu der ersten primären Elektrode ausgebildet ist, und erste und zweite sekundäre Elektroden, die zumindest teilweise im Inneren des Ausgangsbereichs des Grundkörpers parallel zu der ersten primären Elektrode angeordnet sind, auf.

Das piezoelektrische Vielschichtbauelement nutzt sowohl den direkten als auch den inversen piezoelektrischen Effekt.

Es wird unter dem inversen piezoelektrischen Effekt verstanden, dass die piezoelektrische Keramik bei Anlegen eines elektrischen Feldes parallel oder antiparallel oder auch in einem Winkel zur Polarisierungsrichtung eine Verformung erfährt.

Unter dem direkten piezoelektrischen Effekt wird verstanden, dass in dem Grundkörper bei Auftreten von Verformungen eine Spannung abfällt.

Der Eingangsbereich und der Ausgangsbereich des piezoelektrischen Bauelements sind mechanisch über die verschiedenen Schichten des piezoelektrischen Grundkörpers miteinander gekoppelt. Ein elektrisches Eingangssignal wird im Eingangsbereich des piezoelektrischen Vielschichtbauelements vorzugsweise in mechanische Dickenschwingungen des Grundkörpers umgewandelt. Aufgrund der mechanischen Kopplung des Eingangsbereichs und des Ausgangsbereichs sind beide Teile von der mechanischen Dickenschwingung betroffen. Die Umwandlung der elektrischen Energie in die mechanische Energie erfolgt aufgrund des inversen piezoelektrischen Effekts. Im Ausgangsbereich werden die mechanischen Dickenschwingungen vorzugsweise aufgrund des direkten piezoelektrischen Effekts zurück in ein elektrisches Signal verwandelt.

Durch Anlegen einer Spannung an die erste und zweite primäre Elektrode wird eine mechanische Verformung des Grundkörpers hervorgerufen. An den ersten und zweiten sekundären Elektroden kann dann als Resultat der Verformung des Grundkörpers eine elektrische Spannung abgegriffen werden.

Beim Anlegen einer Wechselspannung an die erste und zweite primäre Elektrode kann eine periodisch wiederkehrende Deformation des Grundkörpers erzeugt werden. Diese periodisch wiederkehrende Deformation des Grundkörpers kann wiederum in den ersten und zweiten sekundären Elektroden eine sich periodisch ändernde Spannung hervorrufen. Durch geeignete Anordnung der ersten und zweiten primären Elektroden und der ersten und zweiten sekundären Elektroden kann erreicht werden, dass die Ausgangsspannung von der Eingangsspannung verschieden ist. In

diesem Fall erhält man einen Transformator mit einem dem Verhältnis der Spannungen entsprechenden Übersetzungsverhältnis.

Eine Auslenkung des Grundkörpers erfolgt, wenn an den Eingangsbereich des piezoelektrischen Vielschichtbauelements eine Spannung angelegt wird. Unter der Auslenkung versteht man eine Kontraktion oder Dilatation des Grundkörpers. Im Prinzip können dabei Dickenschwingungen, horizontale Schwingungen und Biegeschwingungen auftreten. Bei Dickenschwingungen tritt eine vertikale Auslenkung des Grundkörpers auf.

Das piezoelektrische Vielschichtbauelement ist vorzugsweise für Hochfrequenzanwendungen ausgelegt. Da vorzugsweise die Dicke der Schichten wesentlich kleiner ist als deren Länge, ist die Frequenz der Grundschwingung bei Dickenschwingungen höher als diejenige der Grundschwingung bei horizontalen Schwingungen. Eine höhere Harmonische der horizontalen Grundschwingung kann annähernd bei der Frequenz der nützlichen Dickenschwingung liegen. Diese Harmonische der horizontalen Grundschwingung stellt eine parasitäre Schwingungsmode dar, die durch die angegebene Polarisierung der verschiedenen Schichten im Eingangs- und Ausgangsbereich gedämpft werden kann.

In einer Ausführungsform umfasst das piezoelektrische Vielschichtbauelement einen Grundkörper, der als piezoelektrisches Material eine PZT-Keramik (PZT = Blei-Zirkonat-Titanat) aufweist. Insbesondere können auch bleifreie Materialien verwendet werden.

In einer Weiterbildung weist der Ausgangsbereich zumindest zwei übereinander liegende Schichten auf, die jeweils zumindest zwei übereinander liegende Teilschichten umfassen, wobei die zumindest zwei Teilschichten einer Schicht vorzugsweise

im Wesentlichen senkrecht zu der Oberseite des Grundkörpers polarisiert sind und wobei die zumindest zwei Teilschichten der jeweiligen Schicht vorzugsweise antiparallel zueinander polarisiert sind.

In dieser Weiterbildung können benachbarte Teilschichten von benachbarten Schichten jeweils parallel zueinander polarisiert sein. Durch die alternierende Folge von parallel und antiparallel polarisierten Teilschichten können parasitäre Schwingungsmoden wirksam gedämpft werden.

In einer weiteren Ausführungsform umfasst das piezoelektrische Vielschichtbauelement außerdem einen ersten und einen zweiten elektrischen Kontakt. Der erste elektrische Kontakt ist mit den ersten sekundären Elektroden und der zweite elektrische Kontakt mit den zweiten sekundären Elektroden elektrisch gekoppelt. Mit Hilfe dieser spezifischen Kopplung der sekundären Elektroden im Ausgangsbereich können eventuell noch vorhandene parasitäre Schwingungsmoden, die durch die spezifische Polarisierung der Teilschichten nicht komplett unterdrückt wurden, zusätzlich elektrisch kompensiert werden. In einer Ausführungsform sind einige der ersten und zweiten sekundären Elektroden abwechselnd zwischen den einzelnen Teilschichten angeordnet. Ein Teil der ersten und zweiten sekundären Elektroden kann auch oberhalb oder unterhalb des Ausgangsbereichs angeordnet sein.

Eine Dicke einer Schicht im Eingangsbereich und/oder im Ausgangsbereich kann eine halbe Wellenlänge einer Oberschwingung des Grundkörpers betragen.

Die Teilschichten der zumindest zwei übereinander liegenden Schichten im Ausgangsbereich können eine einheitliche Dicke aufweisen.

In einem Ausführungsbeispiel bilden die zweiten primären Elektroden und eine der ersten sekundären Elektroden eine gemeinsame Elektrode. Die gemeinsame Elektrode ist zwischen dem Eingangsbereich und dem Ausgangsbereich parallel zu der ersten primären Elektrode angeordnet und koppelt damit auch mechanisch die beiden Bereiche. Eine Eingangsspannung wird in diesem Ausführungsbeispiel an die erste primäre Elektrode und an die gemeinsame Elektrode angelegt. Die durch die Eingangsspannung verursachten Dickenschwingungen werden mechanisch in den Ausgangsbereich übertragen und erzeugen aufgrund des direkten piezoelektrischen Effekts einen Spannungsabfall zwischen der gemeinsamen Elektrode und dem zweiten elektrischen Kontakt.

In einer alternativen Ausführungsform ist zwischen dem Eingangsbereich und dem Ausgangsbereich eine Isolationsschicht angeordnet. Diese Isolationsschicht erstreckt sich parallel zu der Oberseite des Grundkörpers und kann insbesondere organisches oder anorganisches Material umfassen. Der Eingangsbereich und der Ausgangsbereich sind durch die Isolationsschicht mechanisch miteinander verbunden und galvanisch voneinander getrennt.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst ein piezoelektrisches Vielschichtbauelement, insbesondere ein Transformator:

- einen Grundkörper aus piezoelektrischem Material, der einen Eingangsbereich und einen Ausgangsbereich aufweist, wobei der Eingangsbereich oberhalb des Ausgangsbereichs angeordnet ist,
- eine erste primäre Elektrode, die oberhalb des Eingangsbereichs parallel zu einer Oberseite des Grundkörpers angeordnet ist,

- eine zweite primäre Elektrode, die unterhalb des Eingangsbereichs parallel zu der ersten primären Elektrode ausgebildet ist,
- erste und zweite sekundäre Elektroden, die zumindest teilweise im Inneren des Ausgangsbereichs des Grundkörpers parallel zu der ersten primären Elektrode angeordnet sind,
wobei der Eingangsbereich zumindest zwei übereinander liegende Schichten umfasst, die eine entgegen gerichtete Polarisierung im Wesentlichen senkrecht zu der Oberseite des Grundkörpers aufweisen,
wobei der Ausgangsbereich zumindest zwei übereinander liegende Schichten aufweist, die jeweils zumindest zwei übereinander liegende Teilschichten umfassen,
wobei die zumindest zwei Teilschichten einer Schicht im Wesentlichen senkrecht zu der Oberseite des Grundkörpers polarisiert sind,
wobei die zumindest zwei Teilschichten der jeweiligen Schicht antiparallel zueinander polarisiert sind.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst ein piezoelektrisches Vielschichtbauelement einen Grundkörper aus piezoelektrischem Material, eine erste und eine zweite primäre Elektrode und erste und zweite sekundäre Elektroden. Der Grundkörper weist einen Eingangsbereich und einen Ausgangsbereich auf, wobei der Eingangsbereich oberhalb des Ausgangsbereichs angeordnet ist. Der Eingangsbereich umfasst zumindest zwei übereinander liegende Schichten, die entgegen gerichtet und im Wesentlichen senkrecht zu einer Oberseite des Grundkörpers polarisiert sind. Der Ausgangsbereich weist zumindest zwei übereinander liegende Schichten auf, die jeweils zumindest zwei übereinander liegende Teilschichten umfassen. Die zumindest zwei Teilschichten der jeweiligen Schicht sind antiparallel zueinander und im Wesentlichen senkrecht zu der Oberseite des Grundkörpers polarisiert.

Ein anderer Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines piezoelektrischen Vielschichtbauelements nach wenigstens einem der oben beschriebenen Ausführungsbeispiele.

Dieses Verfahren umfasst den Betrieb des piezoelektrischen Vielschichtbauelements auf einer Frequenz, die einer harmonischen Oberschwingung, insbesondere einer vierten harmonischen Oberschwingung, der Grundschwingung des Grundkörpers entspricht. In Verbindung mit den oben beschriebenen spezifischen Dimensionen der Schichten und Teilschichten des Grundkörpers wird das piezoelektrische Vielschichtbauelement damit auf einer Frequenz betrieben, bei der sich eine stehende Welle einer Dickenschwingung ausbildet. Durch die in den oberen Ausführungsbeispielen beschriebene antiparallele und parallele Polarisierung der Schichten bzw. Teilschichten und durch die beschriebene Kopplung der ersten und zweiten sekundären Elektroden können auftretende parasitäre Schwingungsmoden, insbesondere horizontale Schwingungen und Biegeschwingungen, wirksam gedämpft werden. Der Wirkungsgrad des piezoelektrischen Vielschichtbauelements wird dadurch vergrößert.

Die Erfindung wird nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel anhand der Figur 1 näher erläutert.

Es zeigt:

Figur 1 eine Ausführungsform der piezoelektrischen Vielschichtbauelements.

Das Ausführungsbeispiel ist in der Figur 1 schematisch dargestellt, wobei einzelne Elemente aus Übersichtsgründen weggelassen sind. Es versteht sich, dass ein Fachmann einzelne Aspekte ergänzen kann.

In der Figur 1 ist ein mit Dickenschwingungen arbeitendes piezoelektrisches Vielschichtbauelement mit einem Grundkörper 1 in einem Querschnitt gezeigt.

Der Grundkörper 1 aus piezoelektrischem Material umfasst einen Eingangsbereich 2 und einen Ausgangsbereich 3, der unterhalb des Eingangsbereichs 2 angeordnet ist. Eine erste primäre Elektrode 4 ist oberhalb des Eingangsbereichs 2 parallel zu einer Oberseite 6 des Grundkörpers 1 aufgebracht. Unterhalb des Eingangsbereichs 2 befindet sich eine zweite primäre Elektrode 5, die parallel zu der ersten primären Elektrode 4 ausgebildet ist. Desweiteren umfasst das piezoelektrische Vielschichtbauelement erste und sekundäre Elektroden 7, die zumindest teilweise im Inneren des Ausgangsbereichs 3 des Grundkörpers 1 parallel zu der ersten primären Elektrode 4 angeordnet sind. Eine der ersten sekundären Elektroden 7 ist in dem in Figur 1 gezeigten Ausführungsbeispiel mit der zweiten primären Elektrode 5 elektrisch gekoppelt und bildet eine gemeinsame Elektrode 11.

In einem nicht gezeigten Ausführungsbeispiel können die zweite primäre Elektrode 5 und eine der ersten sekundären Elektroden 7 separat, d.h. ohne elektrische Kopplung, ausgelegt sein. Zwischen dem Eingangsbereich 2 und dem Ausgangsbereich 3 kann in diesem Ausführungsbeispiel eine Isolationsschicht, insbesondere aus organischem oder anorganischem Material, angeordnet sein. Die Isolationsschicht kann eine Passivierungsschicht aus einem beliebigen dielektrischen Material wie zum Beispiel Glas, Siliziumdioxid, organische Beschichtung oder Keramik sein. Durch die Isolationsschicht wird der Eingangsbereich 2 galvanisch von dem Ausgangsbereich 3 getrennt.

Das Ausführungsbeispiel aus Figur 1 weist weiterhin zweite sekundäre Elektroden 8 auf, die sich im Inneren des Ausgangs-

bereichs 3 des Grundkörpers 1 parallel zu der ersten primären Elektrode 4 befinden.

Der Eingangsbereich 2 des piezoelektrischen Vielschichtbauelements ist aus zwei übereinander liegenden Schichten 21, 22 aufgebaut, die eine entgegen gerichtete Polarisierung P im Wesentlichen senkrecht zu der Oberseite 6 des Grundkörpers 1 aufweisen. Die Schichten 21, 22 des Eingangsbereichs werden auch als Lagen bezeichnet. Zwischen den Schichten 21, 22 kann eine sogenannte „floating" Elektrode angeordnet sein.

Der Ausgangsbereich 3 umfasst zwei übereinander liegende Schichten 31, 32. Die Schicht 31 im Ausgangsbereich 3 ist aus zwei übereinander liegenden Teilschichten 31a, 31b aufgebaut. Die Teilschichten 31a, 31b des Ausgangsbereichs werden auch als Lagen bezeichnet. Die Schicht 32 umfasst die zwei übereinander liegenden Teilschichten 32a, 32b. Die Teilschichten 32a, 32b des Ausgangsbereichs werden auch als Lagen bezeichnet. Alle Teilschichten sind senkrecht zu der Oberseite 6 des Grundkörpers 1 polarisiert. Erfindungsgemäß sind die zwei Teilschichten 31a und 31b der Schicht 31 antiparallel zueinander polarisiert. Das Gleiche gilt für die Teilschichten 32a und 32b der Schicht 32. Des weiteren weisen die benachbarten Teilschichten 31b und 32a der benachbarten Schichten 31 und 32 eine parallele Polarisierung auf.

Die ersten und zweiten sekundären Elektroden 7, 8 sind abwechselnd im Ausgangsbereich 3 des piezoelektrischen Vielschichtbauelements, teilweise zwischen den einzelnen Teilschichten 31a, 31b, 32a, 32b angeordnet. Ein erster elektrischer Kontakt 9 ist mit den ersten sekundären Elektroden und mit der gemeinsamen Elektrode 11 bzw. der zweiten primären Elektrode 5 elektrisch gekoppelt. Ein zweiter elektrischer

Kontakt 10 verbindet elektrisch die zweiten sekundären Elektroden 8.

Beim Anlegen einer Eingangsspannung an die erste primäre Elektrode 4 und die gemeinsame Elektrode 9, die in diesem Ausführungsbeispiel als Masse wirkt, bildet sich in dem piezoelektrischen Grundkörper 1 eine vierte harmonische Oberschwingung der Grundschwingung des Grundkörpers 1 aus. Als Resultat kann dann infolge des direkten piezoelektrischen Effekts zwischen dem ersten elektrischen Kontakt 9 und dem zweiten elektrischen Kontakt 10 eine Ausgangsspannung abgegriffen werden.

In der Figur 1 ist mit der gestrichelten Linie V die Verteilung von Wellenknoten und -bäuchen für die vierte Harmonische der Grundschwingung angedeutet, wobei als erste Harmonische die Grundschwingung bezeichnet wird. Die Anzahl der Halbwellenlängen innerhalb des Grundkörpers 1 entsprechen der Ordnung der Harmonischen.

Der Figur 1 ist zu entnehmen, dass die Dicke einer Schicht 21, 22, 31, 32 im Eingangsbereich 2 oder Ausgangsbereich 3 jeweils eine halbe Wellenlänge der vierten harmonischen Oberschwingung des Grundkörpers 1 beträgt. Durch die einheitliche Dicke der Teilschichten 31a, 31b, 32a, 32b befinden sich die zweiten sekundären Elektroden 8 genau im Bereich der Wellenbäuche der vierten harmonischen Oberschwingung.

Die Ausbreitung von parasitären Schwingungsmoden wird zum einen gedämpft durch die entgegen gerichtete Polarisierung der Schichten 21, 22 im Eingangsbereich 2. Beim Anlegen einer Eingangsspannung an die erste primäre Elektrode 4 und die gemeinsame Elektrode 11 werden die Schichten 21 und 22 aufgrund ihrer unterschiedlichen Polarisierung entgegengesetzt defor-

miert. Dies wiederum führt zu einer Dämpfung der parasitären Schwingungsmoden. Das Gleiche gilt für die Schichten 31 und 32 im Ausgangsbereich 3 des piezoelektrischen Vielschichtbauelements.

Zum anderen werden parasitäre Schwingungsmoden im Ausgangsbereich 3 zusätzlich durch die oben geschilderte Verschaltung der ersten und zweiten sekundären Elektroden 7, 8 elektrisch kompensiert.

Die in dem Ausführungsbeispiel geschilderte Polarisierung der Schichten bzw. Teilschichten und die geschilderte elektrische Kopplung der ersten und zweiten sekundären Elektroden dämpft wirksam die Ausbreitung von parasitären Schwingungsmoden, insbesondere von horizontalen Schwingungen und Biegeschwingungen. Der Wirkungsgrad des piezoelektrischen Vielschichtbauelements wird damit erhöht. Die Herstellung des Bauelements ist durch den Einsatz der Vielschichttechnologie kostengünstig.

Die Polarisierung des piezoelektrischen Vielschichtbauelements ist nicht auf die in Figur 1 gezeigten Polarisierungen der Schichten bzw. Teilschichten begrenzt. Insbesondere können verschiedene Polarisierungen im Eingangsbereich 2 mit beliebigen Polarisierungen im Ausgangsbereich 3 kombiniert werden. So kann zum Beispiel die Polarisierung der Schichten 21 und 22 gedreht werden und mit den gezeigten Polarisierungen aus dem Ausgangsbereich 3 kombiniert werden. Ebenfalls kann die Polarisierung der Teilschicht 31a zur Oberseite und die Polarisierung der Teilschicht 31b zur Unterseite des piezoelektrischen Vielschichtbauelements gerichtet sein. Dem Fachmann erschließen sich aus den obigen Schilderungen die geeigneten Variationen der Polarisierung der Schichten bzw. der Teilschichten.

Gemäß dem angegebenen Verfahren wird das piezoelektrische Vielschichtbauelement auf einer Frequenz betrieben, die einer vierten harmonischen Oberschwingung der Grundschwingung des Grundkörpers entspricht.

Durch Ändern der Struktur des piezoelektrischen Vielschichtbauelements, insbesondere durch das Anordnen zusätzlicher Schichten im Eingangsbereich 2 bzw. im Ausgangsbereich 3 kann das Bauelement auch mit anderen beliebigen harmonischen Oberschwingungen betrieben werden. Alternativ kann auch die Dicke der Schichten variiert werden, um das Bauelement mit anderen Harmonischen bzw. anderen Frequenzen zu betreiben. Im Allgemeinen entspricht die Dicke einer Schicht der halben Wellenlänge der angeregten Dickenschwingung.

Bezugszeichenliste

1	Grundkörper
2	Eingangsbereich
3	Ausgangsbereich
4	erste primäre Elektrode
5	zweite primäre Elektrode
6	Oberseite des Grundkörpers
7, 8	erste und zweite sekundäre Elektroden
9	erster elektrischer Kontakt
10	zweiter elektrischer Kontakt
11	gemeinsame Elektrode
21, 22	zwei übereinander liegende Schichten im Eingangsbereich
31, 32	zwei übereinander liegende Schichten im Ausgangsbereich
31a, 31b	zwei übereinander liegende Teilschichten im Ausgangsbereich
32a, 32b	zwei übereinander liegende Teilschichten im Ausgangsbereich
P	Polarisierung
V	Verteilung von Wellenknoten und -bäuchen

Patentansprüche

1. Ein piezoelektrisches Vielschichtbauelement, insbesondere ein Transformator, umfassend:
- einen Grundkörper (1) aus piezoelektrischem Material, der einen Eingangsbereich (2) und einen Ausgangsbereich (3) aufweist,
wobei der Ausgangsbereich (3) oder der Eingangsbereich (2) zumindest zwei benachbarte Lagen (21, 22; 31a, 31b; 32a, 32b), die antiparallel zueinander polarisiert sind, und zumindest zwei benachbarte Lagen (31b, 32a), die parallel zueinander polarisiert sind, aufweist.

2. Das piezoelektrische Vielschichtbauelement nach Anspruch 1,
wobei der Eingangsbereich (2) zumindest zwei übereinander liegende Lagen (21, 22) umfasst, die eine entgegen gerichtete Polarisierung (P) im Wesentlichen senkrecht zu der Oberseite (6) des Grundkörpers (1) aufweisen.

3. Das piezoelektrische Vielschichtbauelement nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei die Lagen (31a, 31b; 32a, 32b) im Ausgangsbereich (3) eine geringere Dicke aufweisen als die Lagen (21, 22) im Eingangsbereich (2).

4. Das piezoelektrische Vielschichtbauelement nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche,
aufweisend
- eine erste primäre Elektrode (4), die oberhalb des Eingangsbereichs (2) parallel zu einer Oberseite (6) des Grundkörpers (1) angeordnet ist,

- eine zweite primäre Elektrode (5), die unterhalb des Eingangsbereichs (2) parallel zu der ersten primären Elektrode ausgebildet (4) ist,
- erste und zweite sekundäre Elektroden (7, 8), die zumindest teilweise im Inneren des Ausgangsbereichs (3) des Grundkörpers (1) parallel zu der ersten primären Elektrode (4) angeordnet sind.

5. Das piezoelektrische Vielschichtbauelement nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, weiter umfassend:
- einen ersten elektrischen Kontakt (9), der mit den ersten sekundären Elektroden (7) elektrisch gekoppelt ist, und
- einen zweiten elektrischen Kontakt (10), der mit den zweiten sekundären Elektroden (8) elektrisch gekoppelt ist.

6. Das piezoelektrische Vielschichtbauelement nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei dem einige der ersten und zweiten sekundären Elektroden (7, 8) abwechselnd zwischen den einzelnen Lagen (31a, 31b, 32a, 32b) angeordnet sind.

7. Das piezoelektrische Vielschichtbauelement nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei dem eine Dicke einer Lage (21, 22) im Eingangsbereich (2) eine halbe Wellenlänge einer Oberschwingung des Grundkörpers (1) beträgt.

8. Das piezoelektrische Vielschichtbauelement nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche,

bei dem eine Dicke einer Lage (31, 32) im Ausgangsbereich (3) eine viertel Wellenlänge einer Oberschwingung des Grundkörpers (1) beträgt.

9. Das piezoelektrische Vielschichtbauelement nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei dem die Lagen (31a, 31b, 32a, 32b) im Ausgangsbereich (3) eine einheitliche Dicke aufweisen.

10. Das piezoelektrische Vielschichtbauelement nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei dem die zweite primäre Elektrode (5) und eine der ersten sekundären Elektroden (7) eine gemeinsame Elektrode (11) bilden, die zwischen dem Eingangsbereich (2) und dem Ausgangsbereich (3) parallel zu der ersten primären Elektrode (4) ausgebildet ist.

11. Das piezoelektrische Vielschichtbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
bei dem zwischen dem Eingangsbereich (2) und dem Ausgangsbereich (3) eine Isolationsschicht, insbesondere aus organischem oder anorganischem Material, angeordnet ist.

12. Ein Verfahren zum Betrieb eines piezoelektrischen Vielschichtbauelements nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche,
bei dem das piezoelektrische Vielschichtbauelement auf einer Frequenz betrieben wird, die einer harmonischen Oberschwingung, insbesondere einer 4. harmonischen Oberschwingung, der Grundschwingung des Grundkörpers (1) entspricht.

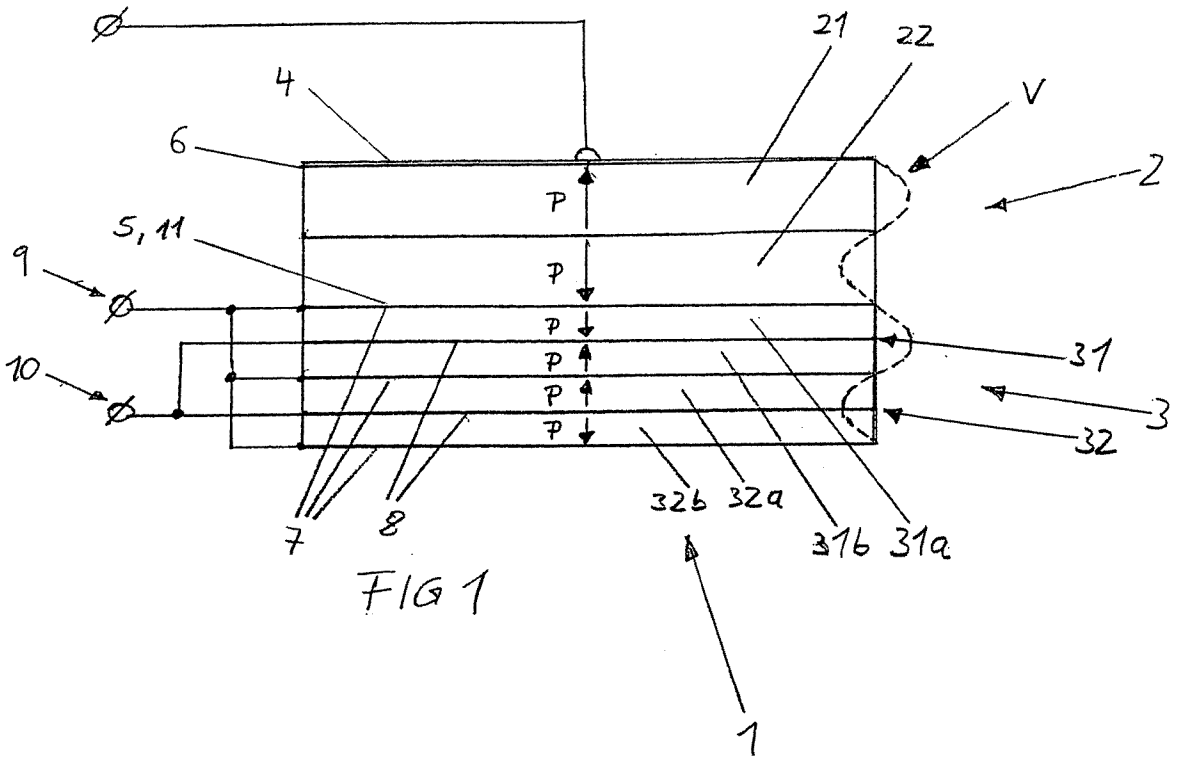


FIG 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/067570

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L41/107
ADD.

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 H03H

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	US 6 278 625 B1 (BOYD CLARK DAVIS [US]) 21 August 2001 (2001-08-21)	1,2,11
Y	column 12, line 6 - column 13, line 24; figures 3,9	10

X	US 6 577 044 B1 (LI HONGYI [CN]) 10 June 2003 (2003-06-10)	1,2,9,11
Y	figure 9	7,8,12

X	JP 2004 259947 A (TAIHEIYO CEMENT CORP) 16 September 2004 (2004-09-16)	1-4,6
Y	figure 1	5

X	JP 11 317554 A (MITSUI CHEMICALS INC) 16 November 1999 (1999-11-16)	1,2
Y	figure 4D	5

	-/--	

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] 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	Date of mailing of the international search report
21 December 2011	06/01/2012

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

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/067570

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	OHNISHI O ET AL: "Piezoelectric Ceramic Transformer for Power Supply Operating in Thickness Extensional Vibration Mode", IEICE TRANSACTIONS ON FUNDAMENTALS OF ELECTRONICS,COMMUNICATIONS AND COMPUTER SCIENCES, ENGINEERING SCIENCES SOCIETY, TOKYO, JP, vol. E77-A, no. 12, 1 December 1994 (1994-12-01), pages 2098-2105, XP000497870, ISSN: 0916-8508 page 2099, column 1, paragraph 3; figures 2,3b	7,12
Y	US 3 590 287 A (BERLINCOURT DON A ET AL) 29 June 1971 (1971-06-29) column 10, line 66 - column 12, line 20	8,10,12
Y	DE 10 2007 009230 A1 (EPCOS AG [DE]) 28 August 2008 (2008-08-28) paragraph [0017]	12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2011/067570

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6278625 B1	21-08-2001	AU 7199701 A	30-01-2002
		US 6278625 B1	21-08-2001
		WO 0207294 A1	24-01-2002
US 6577044 B1	10-06-2003	AT 329373 T	15-06-2006
		AU 4740800 A	18-12-2000
		CA 2373613 A1	07-12-2000
		CN 1275781 A	06-12-2000
		EP 1220338 A1	03-07-2002
		JP 2003501810 A	14-01-2003
		US 6577044 B1	10-06-2003
		WO 0074152 A1	07-12-2000
JP 2004259947 A	16-09-2004	JP 4309152 B2	05-08-2009
		JP 2004259947 A	16-09-2004
JP 11317554 A	16-11-1999	NONE	
US 3590287 A	29-06-1971	DE 1591073 A1	06-05-1970
		GB 1207974 A	07-10-1970
		US 3590287 A	29-06-1971
DE 102007009230 A1	28-08-2008	DE 102007009230 A1	28-08-2008
		EP 2130238 A1	09-12-2009
		JP 2010519752 A	03-06-2010
		US 2010026435 A1	04-02-2010
		WO 2008104489 A1	04-09-2008

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2011/067570

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H01L41/107
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H01L H03H

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	US 6 278 625 B1 (BOYD CLARK DAVIS [US]) 21. August 2001 (2001-08-21)	1,2,11
Y	Spalte 12, Zeile 6 - Spalte 13, Zeile 24; Abbildungen 3,9	10

X	US 6 577 044 B1 (LI HONGYI [CN]) 10. Juni 2003 (2003-06-10)	1,2,9,11
Y	Abbildung 9	7,8,12

X	JP 2004 259947 A (TAIHEIYO CEMENT CORP) 16. September 2004 (2004-09-16)	1-4,6
Y	Abbildung 1	5

X	JP 11 317554 A (MITSUI CHEMICALS INC) 16. November 1999 (1999-11-16)	1,2
Y	Abbildung 4D	5

	-/--	

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] 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

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
21. Dezember 2011	06/01/2012

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Meul, Hans

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2011/067570

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	OHNISHI O ET AL: "Piezoelectric Ceramic Transformer for Power Supply Operating in Thickness Extensional Vibration Mode", IEICE TRANSACTIONS ON FUNDAMENTALS OF ELECTRONICS,COMMUNICATIONS AND COMPUTER SCIENCES, ENGINEERING SCIENCES SOCIETY, TOKYO, JP, Bd. E77-A, Nr. 12, 1. Dezember 1994 (1994-12-01), Seiten 2098-2105, XP000497870, ISSN: 0916-8508 Seite 2099, Spalte 1, Absatz 3; Abbildungen 2,3b	7,12
Y	US 3 590 287 A (BERLINCOURT DON A ET AL) 29. Juni 1971 (1971-06-29) Spalte 10, Zeile 66 - Spalte 12, Zeile 20	8,10,12
Y	DE 10 2007 009230 A1 (EPCOS AG [DE]) 28. August 2008 (2008-08-28) Absatz [0017]	12

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2011/067570

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6278625 B1	21-08-2001	AU 7199701 A	30-01-2002
		US 6278625 B1	21-08-2001
		WO 0207294 A1	24-01-2002
US 6577044 B1	10-06-2003	AT 329373 T	15-06-2006
		AU 4740800 A	18-12-2000
		CA 2373613 A1	07-12-2000
		CN 1275781 A	06-12-2000
		EP 1220338 A1	03-07-2002
		JP 2003501810 A	14-01-2003
		US 6577044 B1	10-06-2003
		WO 0074152 A1	07-12-2000
JP 2004259947 A	16-09-2004	JP 4309152 B2	05-08-2009
		JP 2004259947 A	16-09-2004
JP 11317554 A	16-11-1999	KEINE	
US 3590287 A	29-06-1971	DE 1591073 A1	06-05-1970
		GB 1207974 A	07-10-1970
		US 3590287 A	29-06-1971
DE 102007009230 A1	28-08-2008	DE 102007009230 A1	28-08-2008
		EP 2130238 A1	09-12-2009
		JP 2010519752 A	03-06-2010
		US 2010026435 A1	04-02-2010
		WO 2008104489 A1	04-09-2008