



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 10 2007 011 652 B4 2008.12.11**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 011 652.9**

(22) Anmeldetag: **09.03.2007**

(43) Offenlegungstag: **28.08.2008**

(45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **11.12.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01L 41/047 (2006.01)**

**H01L 41/083 (2006.01)**

**H02N 2/04 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(66) Innere Priorität:

**10 2007 009 033.3 23.02.2007**

(73) Patentinhaber:

**PI Ceramic GmbH Keramische Technologien und Bauelemente, 07589 Lederhose, DE**

(74) Vertreter:

**Meissner, Bolte & Partner GbR, 80538 München**

(72) Erfinder:

**Pertsch, Patrick, Dr., 07629 Hermsdorf, DE;**  
**Krämer, Norbert, 07546 Gera, DE; Ludwig,**  
**Andreas, 07552 Gera, DE**

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

**DE 196 46 676 C1**

**DE 102 34 787 C1**

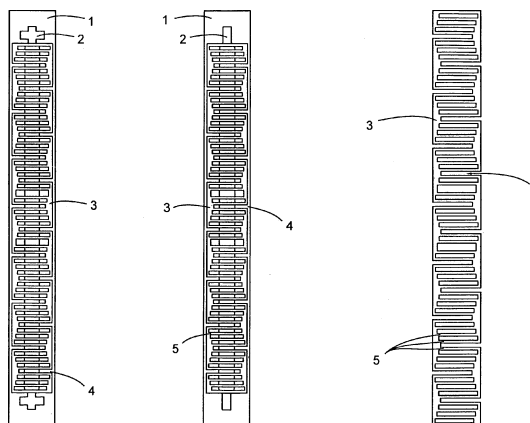
**DE10 2005 015405 B3**

**DE10 2005 028495 A1**

**DE 196 48 545 A1**

(54) Bezeichnung: **Anordnung zur elektrischen Kontaktierung von piezoelektrischen Vielschichtaktoren**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur elektrischen Kontaktierung von piezoelektrischen Vielschichtaktoren, umfassend innere Elektrodenschichten, welche alternierend in elektrischer Verbindung mit seitlichen, äußeren Kontaktierungsstreifen stehen, sowie jeweils mindestens ein auf dem Kontaktierungsstreifen angeordnetes leiterartig strukturiertes Formteil mit Lötstützpunkt für ein Anschlussmittel, wobei das Formteil entlang seiner überwiegenden oder gesamten Längsachsenlinie stoffschlüssig mit dem Kontaktierungsstreifen verbunden ist. Erfindungsgemäß weisen die seitlichen Holme des leiterartig strukturierten Formteils wechselseitig Unterbrechungsstellen derart auf, dass eine Mäanderstruktur entsteht. Jeder Mäanderabschnitt umfasst mehrere Leitersprossen, wobei die Unterbrechungsstellen entweder am Formteil bereits vorgegeben sind oder an vorgeformten Sollbruchstellen gezielt durch thermomechanischen Stress oder bei Dauerwechselbelastungen im Aktorbetrieb erzeugbar sind.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur elektrischen Kontaktierung von piezoelektrischen Vielschichtaktoren, umfassend innere Elektroden-schichten, welche alternierend in elektrischer Verbindung mit seitlichen, äußeren Kontaktierungsstreifen stehen, sowie jeweils mindestens einem, auf dem Kontaktierungsstreifen angeordneten leiterartig strukturierten Formteil mit Lötstützpunkt für ein Anschlussmittel, wobei das Formteil entlang seiner überwiegenden oder gesamten Längsachsenlinie stoffschlüssig mit dem Kontaktierungsstreifen verbunden ist, gemäß Oberbegriff des Anspruchs 1.

**[0002]** Aus der gattungsbildenden DE 10 2005 015 405 B3 ist eine Anordnung zur elektrischen Kontaktierung von piezoelektrischen Vielschicht-Stapelaktoren vorbekannt. Die dortige Anordnung umfasst innere Elektroden-schichten, welche alternierend in elektrischer Verbindung mit mindestens zwei seitlich am Stapel befindlichen Terminationsstreifen stehen, sowie jeweils mindestens einen, auf dem Terminationsstreifen angeordneten leiterartig strukturierten Formteil mit Kontaktierungsstützpunkt für eine Anschlusslitze. Gemäß der dortigen Erfindungslehre verzüngen sich die Holme des leiterartig strukturierten Formteils, ausgehend von einem Stromeinspeisungspunkt, in Längsrichtung des Aktorstapels, wobei das Formteil bevorzugt entlang seiner überwiegenden oder gesamten Längsachsenlinie stoffschlüssig, insbesondere durch Löten, mit dem darunter befindlichen Terminationsstreifen verbunden ist.

**[0003]** Bei dieser Lösung des Standes der Technik ist eine hohe Stromtragfähigkeit gegeben und es können unerwünschte mechanische und/oder thermomechanische Spannungen minimiert werden. Auch besteht die Möglichkeit, dass bei der Polarisierung oder im Betrieb auftretende Risse im Aktor überbrückt werden, so dass die elektrische Kontaktierung und damit die Stromzuführung und Funktionsfähigkeit nicht in nachteiliger Weise beeinträchtigt sind.

**[0004]** Zum Stand der Technik gemäß DE 196 48 545 A1 gehört die Ausbildung einer Außenelektrode für einen monolithischen Vielschichtaktor, wobei dort zur Vermeidung von Ausfällen des Aktors bei dynamischen Belastungen vorgeschlagen ist, dass zwischen der Grundmetallisierung und den Anschlusselementen eine dreidimensional strukturierte, elektrisch leitende Elektrode vorzusehen ist, die über partielle Kontaktstellen mit der Grundmetallisierung verbunden wird und welche zwischen den Kontaktierungsstellen dehnbar ausgebildet ist. Durch eine derartige Anordnung wird der Betriebsstrom des Aktors in Nebenströme aufgeteilt. Die Nebenströme fließen von den Kontaktstellen über die Grundmetallisierung zu den metallischen Innenelektroden. Derartige dreidimensional strukturierte, elektrisch leitende, folien-

artige Elektroden sind sowohl bei der Herstellung als auch bei der Verbindung mit der Grundmetallisierung technologisch problematisch, kostenintensiv und benötigen einen großen Querschnitt.

**[0005]** Bei dem Verfahren zur Herstellung einer Außenkontaktierung für Piezoaktoren gemäß DE 196 46 676 C1 besteht die Aufgabe, die negativen Folgen auftretender Spannungsrisse in der Kontaktierung zu vermeiden. Bei einem herkömmlichen Aktor sind außen am Stapel zumindest zwei Metallisierungsstreifen zur alternierenden Kontaktierung der Elektroden-schichten aufgebracht. Weiterhin sind die Metallisierungsstreifen mit Kontaktfahnen verbunden, die eine elektrisch leitende Schicht aufweisen. Die Verbindung ist leitend und erfolgt über die gesamte Höhe der zu kontaktierenden Elektroden-schichten derart, dass seitlich der Metallisierungsstreifen ein überstehender Bereich der Kontaktfahnen verbleibt. Diese Kontaktfahnen sollen bevorzugt dünn, aber reißfest ausgebildet und vorzugsweise flexibel, aus Kunststoff ausgebildet sein. In dem Fall, wenn während der Polarisierung oder des Betriebs eines derartige Aktors Spannungsrisse im Metallisierungsstreifen auftreten, werden diese Risse durch die elektrisch leitende Schicht im überstehenden Bereich der Kontaktfahne überbrückt. Eine solche Kunststoffschicht ist jedoch für Anwendungen des Aktors im Ultrahochvakuum aufgrund der Ausgasungsproblematik von Nachteil.

**[0006]** Neben liniengelöteten Kontaktierungsstreifen, wie in der DE 10 2005 015 405 B3 beschrieben, ist auch eine punktgelötete Ausführungsform bei Stapelaktoren vorbekannt. Eine derartige punktgelötete Mäanderelektrode ist in der DE 102 34 787 C1 beschrieben.

**[0007]** In der DE 10 2005 028 495 A1 wird ebenfalls eine Elektrode offenbart, die sich in einem Wellenmuster entlang der Stapelrichtung eines mehrschichtigen piezoelektrischen Elements erstreckt und eine flache Plattenform aufweist. Die dargestellte Elektrode wird mittels Lötverbindungen oder elektrisch leitender Kleberstellen punktuell mit einer ersten externen Elektrode elektrisch und physikalisch verbunden, wobei die erste externe Elektrode elektrisch mit vorbestimmten internen Elektroden des mehrschichtigen piezoelektrischen Elements verbunden ist.

**[0008]** Aus dem Vorgenannten ist es daher Aufgabe der Erfindung, eine weiterentwickelte Anordnung zur elektrischen Kontaktierung von piezoelektrischen Vielschichtaktoren anzugeben, die mechanisch und elektrisch sehr zuverlässig ist und die eine sehr schnelle Linienlötung bei erweitertem Einsatztemperaturbereich und geringsten Querabmessungen ermöglicht. Die Anordnung soll ein Design mit leicht anpassbarer Stromtragfähigkeit und Durchverbindbarkeit der Einzelelektroden auch nach der Verklebung

von Einzelstapeln schaffen. Weiterhin gilt es, die erfindungsgemäße Anordnung so auszubilden, dass diese auch für den Einsatz von bleifreiem Lot mit höherem Schmelzpunkt und dadurch größerer thermomechanischer Dehnung nach dem Abkühlen ebenso geeignet ist wie für Aktoren mit höheren induzierten Dehnungen.

**[0009]** Die Lösung der Aufgabe der Erfindung erfolgt durch eine Anordnung zur elektrischen Kontaktierung gemäß der Merkmalskombination nach Anspruch 1, wobei die Unteransprüche mindestens zweckmäßige Ausgestaltungen und Weiterbildungen darstellen.

**[0010]** Es wird also von einer Anordnung zur elektrischen Kontaktierung von piezoelektrischen Vielschichtaktoren, umfassend innere Elektrodenschichten, welche alternierend in elektrischer Verbindung mit seitlichen, äußeren Kontaktierungsstreifen stehen, ausgegangen, wobei jeweils mindestens ein mit Leitersprossen und seitlichen Holmen und auf dem Kontaktierungsstreifen angeordnetes leiterartig strukturiertes Formteil mit Kontaktierungsstützpunkt für ein Anschlussmittel vorgesehen ist. Das Formteil wird entlang seiner überwiegenden oder gesamten Längsachse stoffschlüssig mit dem Kontaktierungsstreifen verbunden.

**[0011]** Erfindungsgemäß weisen die seitlichen Holme des leiterartig strukturierten Formteils wechselseitig Unterbrechungsstellen derart auf, dass eine Mäanderstruktur entsteht.

**[0012]** Jeder der Mäanderabschnitte umfasst mehrere Leitersprossen, wobei die Unterbrechungsstellen entweder am Formteil bereits vorgesehen sind oder an vorgeformten Sollbruchstellen gezielt durch thermomechanischen Stress oder bei Dauerwechselbelastungen im Aktorbetrieb erzeugt werden können.

**[0013]** Zum Erhalt einer optimierten Stromtragfähigkeit ist die Dicke und/oder die Breite der seitlichen Holme je nach Anzahl der Leitersprossen je Mäanderabschnitt erhöht.

**[0014]** Zum Zweck der Reduzierung der mechanischen Belastung der Holm-Sprossen-Übergänge ist die Dicke und/oder Breite der seitlichen Holme, insbesondere im Bereich der Enden der Holme je Mäanderabschnitt reduzierbar.

**[0015]** Bei mehreren mit Kontaktierungsstreifen versehenen Vielschichtaktoren in geklebter Längsstapelanordnung können gemeinsame Formteile, durch Löten oder Ultraschallschweißen an der Längsachsenlinie mit den Kontaktierungsstreifen verbunden, vorgesehen sein.

**[0016]** Die stoffschlüssige Verbindung verläuft be-

vorzugt entlang der Längsachsenmittellinie der jeweiligen Formteile, und zwar hier wiederum bevorzugt entlang eines schmalen lateralen Streifens.

**[0017]** Zum Einstellen der Stromtragfähigkeit ist die Anzahl der Leitersprossen je Mäanderabschnitt wählbar.

**[0018]** Die Erfindung soll nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels sowie unter Zuhilfenahme einer Figur näher erläutert werden.

**[0019]** Die [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) zeigen hierbei zwei seitliche Ansichten eines piezoelektrischen Vielschichtaktors, der mit dem erfindungsgemäßen liniengelöteten Mäander-Formteil versehen ist.

**[0020]** In der [Fig. 1c](#) ist ein Mäander-Formteil dargestellt, und zwar mit erkennbarer Breitenvarianz der Holme im jeweiligen Mäanderabschnitt.

**[0021]** Gemäß den [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) ist sowohl auf der negativen als auch auf der positiven Terminationsseite jeweils ein Kontaktierungsstreifen **2** vorgesehen. Auf dem jeweiligen Kontaktierungsstreifen **2** ist das leiterartig strukturierte Formteil **3** durch Linienverlötung aufgebracht.

**[0022]** Die seitlichen Holme des leiterartig strukturierten Formteils **3** weisen wechselseitig Unterbrechungsstellen **4** derart auf, dass eine Mäanderstruktur entsteht.

**[0023]** Jeder Mäanderabschnitt umfasst mehrere Leitersprossen **5**, wobei die Unterbrechungsstellen entweder am Formteil bereits vorgesehen sind oder an vorgeformten Sollbruchstellen gezielt durch thermomechanischen Stress oder bei Dauerwechselbelastungen im Aktorbetrieb erzeugt werden können.

**[0024]** In den figürlichen Darstellungen ist weiterhin ersichtlich, dass die Breite der seitlichen Holme variabel ausgeführt ist, um zum einen eine optimierte Stromtragfähigkeit zu erreichen sowie um zum anderen die mechanische Belastung der Holm-Sprossen-Übergänge zu verringern.

**[0025]** Erfindungsgemäß werden, wie bereits dargestellt, die Holme des Formteils in vorgebbaren Abständen wechselseitig unterbrochen, so dass eine Mäanderstruktur mit mehreren gleichzeitig querverlaufenden Sprossen je Mäanderabschnitt oder Mäanderschwung entsteht. Durch die Sprossen und die Holme wird der Versorgungsstrom des Piezoaktors vom Punkt der Litzenanbindung (nicht gezeigt), z. B. am unteren Aktorende bis in das oder die entfernten Enden mäanderförmig durch den Kontaktierungsstreifen geführt und über die Linienlötung in der Mitte der Sprossen an die Terminationsschicht und anschließend an die Innenelektroden abgegeben.

**[0026]** Risse, die sich in der Linienlötung und der Terminationsschicht während des Aktorbetriebs ausbilden, sind auf diese Weise sicher überbrückt. Die in den Sprossen querlaufenden Teilströme werden in den Holmsegmenten wieder vereint und durch eine Verbindungsstelle in den nächsten Mäanderschwung geführt. Im Bereich der Verbindungsstelle ist der Strom daher maximal.

**[0027]** Um eine gleichbleibend niedrige Stromdichte pro Mäanderschwung oder Mäanderabschnitt und damit eine optimierte Stromtragfähigkeit des Kontaktierungsstreifens zu gewährleisten, kann der Holm an der Verbindungsstelle entsprechend dick ausgeprägt werden bzw. seine Dicke kann entsprechend der Zahl der gemeinsamen, zulaufenden Sprossen oder Teilströme linear oder nach einer optimierten Funktion erhöht bzw. an den Enden der Holmabschnitte verringert werden.

**[0028]** Die Stromtragfähigkeit kann demnach durch laterale, aber auch dreidimensionale Varianzen angepasst und eingestellt werden.

**[0029]** Hierdurch wird gleichzeitig die mechanische Belastung der Holm-Sprossen-Übergänge, die am weitesten von der Verbindungsstelle weg liegen und die damit den größten Belastungen ausgesetzt sind, reduziert und unterhalb des plastischen Verformungsbereichs des verwendeten Werkstoffs gehalten, da die Biegelänge der Sprossen durch die geringere Holmbreite bei konstanter Gesamtbreite erhöht wird.

**[0030]** Die erforderliche Stromtragfähigkeit des Kontaktierungsstreifens kann sowohl durch seine Gesamtdicke als auch durch das Verhältnis Anzahl der Sprossen pro querlaufender Mäanderschwung sowie Holmbreite und Gesamtbreite des Kontaktierungsstreifens angepasst werden. Eine Erhöhung der Dicke des Kontaktierungsstreifens erhöht nicht die mechanischen Spannungen im Streifen selbst, sondern nur an der Linienlötung bzw. am Übergang Sprosse-Innenelektrode. Die Stromtragfähigkeit steigt bei höherer Sprossenanzahl pro Mäanderschwung, wobei dann ein längerer Holm bzw. breiterer Holm an der Verbindungsstelle erforderlich ist. Hiermit geht auch eine Erhöhung der Gesamtbreite des Streifens einher, um mechanische Spannungen zu begrenzen.

**[0031]** Hierbei ist Letzteres nicht nachteilig, da nur breitere Stapel aufgrund der größeren Querschnittsfläche der Elektroden im Allgemeinen einen höheren Strombedarf haben bzw. die Anforderungen an die Stromtragfähigkeit schmalere Stapel geringer sind.

**[0032]** Grundsätzlich ist die vorgeschlagene Lehre unabhängig von der Länge des Aktors, wobei der maximal tragbare Strom durch die Stromdichte in der

bzw. den ersten Verbindungsstellen neben der Litzenanbindung vorgegeben ist.

**[0033]** Es liegt im Sinne der Erfindung, einzelne Aktoren, die bereits mit Kontaktierungsstreifen versehen sind, zu längeren Einheiten zu verkleben und anschließend durch aufgelötete Kontaktierungsstreifen gleicher Form untereinander zu kontaktieren.

**[0034]** Ebenfalls im Sinne der Erfindung ist es, eine vollständige Trennung der Holme in Teilstücke nicht unmittelbar vor der Montage vorzunehmen, sondern dafür Sorge zu tragen, dass die Trennung an vorgeformten Schwachstellen erst während der Montage durch thermomechanisches Überlasten oder im Betrieb durch Dauerwechselbelastungen oberhalb der Wechselfestigkeit erfolgt.

**[0035]** Das Formteil ist als zweidimensional strukturiertes Metallfolienteil, z. B. aus Kupfer-Beryllium, oberflächenveredeltem Edelstahl, oberflächenveredeltem Invar oder Tantal im Bereich einer Dicke zwischen 20 µm und 500 µm herstellbar.

**[0036]** Diese Herstellung kann sehr preisgünstig durch Ätzen, Feinstanzen oder Laserbearbeitung erfolgen.

**[0037]** Die Höhe der Sprossen in axialer Richtung liegt bevorzugt im Bereich zwischen 50 µm und 200 µm.

**[0038]** Die überwiegende Anzahl der Sprossen ist in der Mitte der Struktur mit der Terminationsschicht verbunden, und zwar durch den erwähnten schmalen Lotstreifen in einem Lötprozess bzw. durch einen Ultraschallschweißvorgang oder ähnliche stoffschlüssige Verbindungstechniken.

**[0039]** Die Anordnung selbst weist eine hohe Toleranz gegenüber Rissen an undefinierten Positionen auf, d. h. zwischen den Sprossen können sich beliebige Risse bilden, ohne dass die Funktionsfähigkeit der Anordnung beeinträchtigt ist.

**[0040]** Aufgrund der lateral schmalen Ausprägung der Verbindung entstehen nur sehr geringe mechanischen Belastungen in der Keramik.

**[0041]** Dadurch, dass die erfindungsgemäße Lösung rein metallisch, d. h. ohne Polymerfolien oder dergleichen realisierbar ist, können derartig ausgebildete Aktoren auch in extremen Umgebungen, z. B. im Ultrahochvakuum, bei Tieftemperatur, in aggressiver Umgebung und so weiter eingesetzt werden. Letztendlich ist die erfindungsgemäße Anordnung tolerant gegenüber Fertigungsschwankungen bezogen auf die Höhe der Aktor-Einzelsegmente. Durch die Linienlötung oder Linien-Ultraschallschweißung kann die Montagezeit verkürzt und damit der Kostenfaktor bei

der Aktorherstellung reduziert werden. Durch die Wahl der Anzahl der Sprossen je Mäanderabschnitt und die mögliche Varianz der Holmbreite ist ein Design mit leicht anpassbarer Stromtragfähigkeit geschaffen. Im Vergleich zum Stand der Technik speziell zur Lehre nach DE 10 2005 015 405 B3 ist die Mäanderstruktur von der Aktorlänge unabhängig und daher auch für die Durchverbindung mehrerer verklebter Stapel geeignet.

### Patentansprüche

1. Anordnung zur elektrischen Kontaktierung von piezoelektrischen Vielschichtaktoren (1), umfassend innere Elektrodenschichten, welche alternierend in elektrische Verbindung mit seitlichen, äußeren Kontaktierungsstreifen (2) stehen, sowie jeweils mindestens ein auf dem Kontaktierungsstreifen (2) angeordnetes leiterartig strukturiertes Formteil (3) mit Leitersprossen und seitlichen Holmen und mit Kontaktierungsstützpunkt für ein Anschlussmittel, wobei das Formteil (3) entlang seiner überwiegenden oder gesamten Längsachsenlinie stoffschlüssig mit dem Kontaktierungsstreifen (2) verbunden ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die seitlichen Holme des leiterartig strukturierten Formteils (3) wechselseitig Unterbrechungsstellen (4) derart aufweisen, dass eine Mäanderstruktur entsteht und jeder Mäanderabschnitt mehrere Leitersprossen (5) umfasst, wobei die Unterbrechungsstellen (4) entweder am Formteil (3) bereits vorgesehen sind oder an vorgeformten Sollbruchstellen gezielt durch thermomechanischen Stress oder bei Dauerwechselbelastungen im Aktorbetrieb erzeugbar sind.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke und/oder Breite der seitlichen Holme zum Erhalt einer optimierten Stromtragfähigkeit je nach Anzahl der Leitersprossen (5) je Mäanderabschnitt erhöht ist.

3. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke und/oder Breite der seitlichen Holme zur Reduzierung der mechanischen Belastung der Holm-Sprossen-Übergänge, insbesondere im Bereich der Enden der Holme, je Mäanderabschnitt verringert ist.

4. Anordnung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei mehreren mit Kontaktierungsstreifen (2) versehenen Vielschichtaktoren (1) in geklebter Längsstapelanordnung gemeinsame Formteile (3), durch Löten oder Ultraschallschweißen an der Längsachsenlinie mit den Kontaktierungsstreifen (2) verbunden, vorgesehen sind.

5. Anordnung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die stoffschlüssige Verbindung entlang der Längsachsenmit-

tellinie des jeweiligen Formteils (3) verläuft.

6. Anordnung nach Anspruch 1 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die stoffschlüssige Verbindung entlang eines schmalen lateralen Streifens verläuft.

7. Anordnung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Einstellung der Stromtragfähigkeit die Anzahl der Leitersprossen (5) je Mäanderabschnitt wählbar ist.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

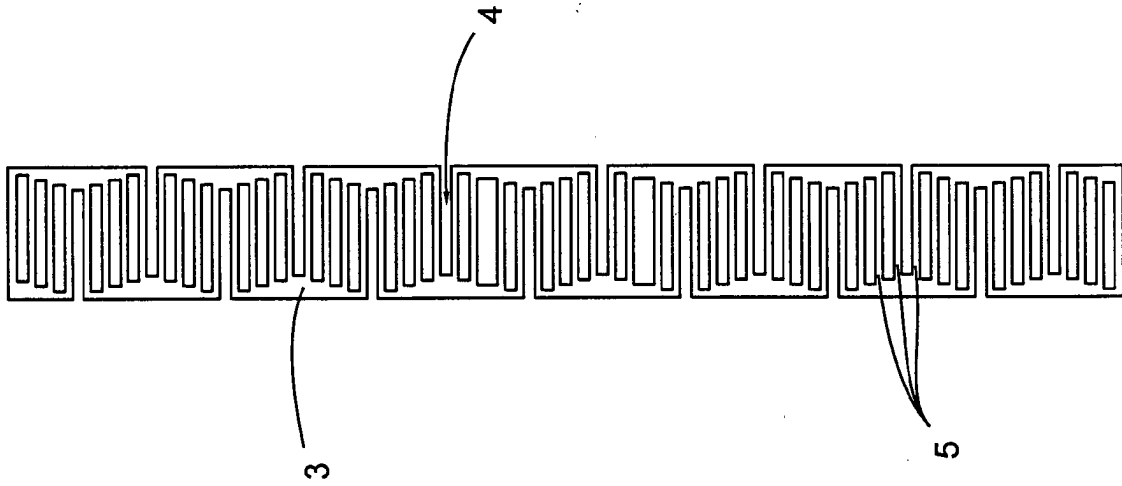


Figure 1c

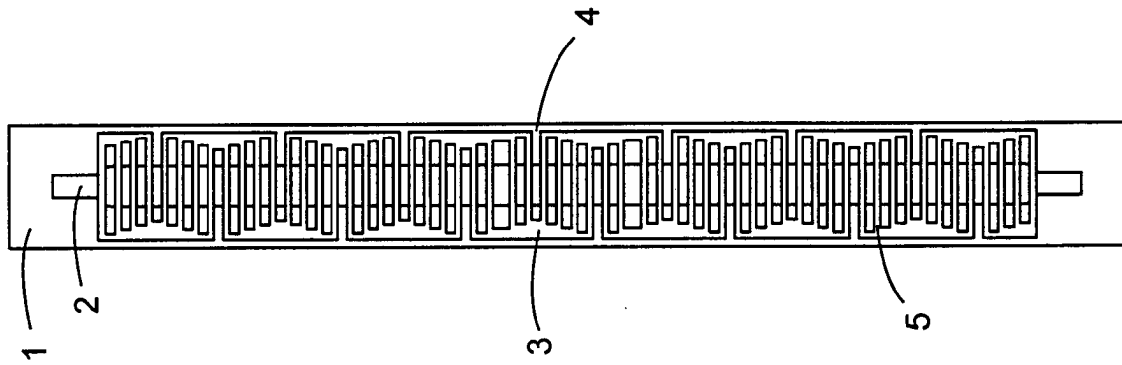


Figure 1b

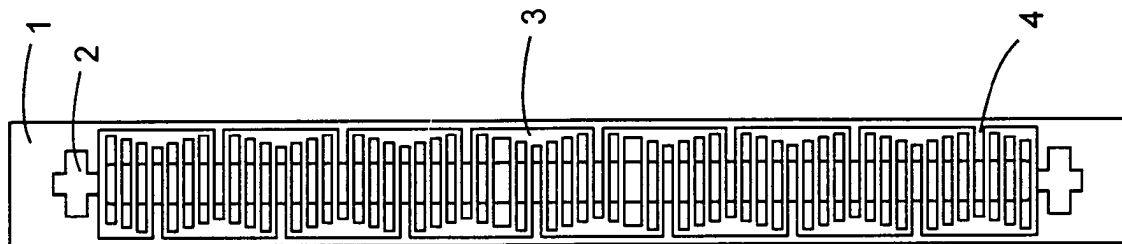


Figure 1a