



(10) **DE 10 2005 026 717 B4** 2016.09.15

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 026 717.3**  
(22) Anmeldetag: **09.06.2005**  
(43) Offenlegungstag: **21.12.2006**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **15.09.2016**

(51) Int Cl.: **H01L 41/083** (2006.01)  
**H01L 41/16** (2006.01)  
**F02M 51/06** (2006.01)  
**H02N 2/04** (2006.01)

Innerhalb von neun 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).

(62) Teilung in:  
**10 2005 063 652.7**

(73) Patentinhaber:  
**EPCOS AG, 81669 München, DE**

(74) Vertreter:  
**Epping Hermann Fischer,  
Patentanwalts-gesellschaft mbH, 80639 München,  
DE**

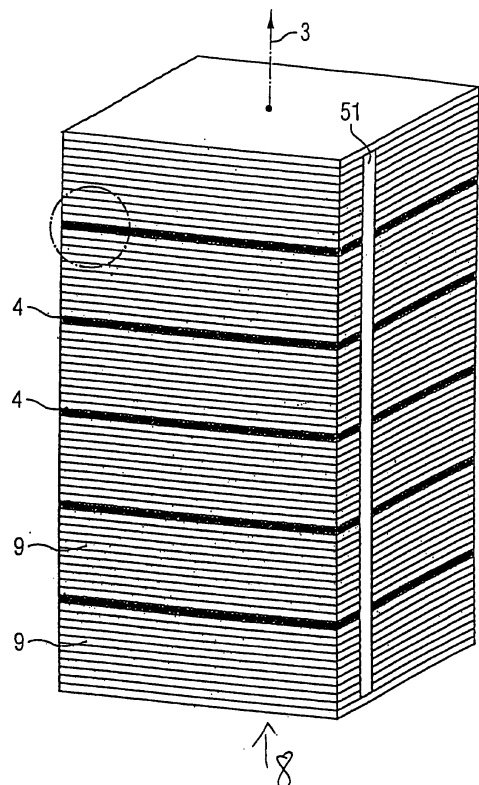
(72) Erfinder:  
**Sommariva, Helmut, Dr., Graz, AT; Hirschler,  
Michael, Dr., Graz, AT; Florian, Heinz, Bad Gams,  
AT**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

<b>DE</b>	<b>103 07 825</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>198 56 201</b>	<b>A1</b>
<b>WO</b>	<b>2004/ 095 596</b>	<b>A1</b>

(54) Bezeichnung: **Piezoelektrisches Vielschichtbauelement**

(57) Hauptanspruch: Piezoelektrisches Vielschichtbauelement,  
– mit einer Vielzahl von übereinanderliegenden keramischen, piezoelektrischen Schichten (1), die miteinander zu einem Schichtstapel versintert sind,  
– mit zwischen den piezoelektrischen Schichten (1) angeordneten Elektrodenschichten (2a, 2b),  
– wobei im Schichtstapel eine Absorptionsschicht (4) angeordnet ist, wobei die Absorptionsschicht (4) ein Metall enthält und gegenüber den piezoelektrischen Schichten (1) eine höhere Porosität aufweist.



## Beschreibung

**[0001]** Es wird ein piezoelektrisches Vielschichtbauelement angegeben mit übereinanderliegenden keramischen Schichten und dazwischenliegenden Elektrodenschichten.

**[0002]** Es sind aus der Druckschrift DE 103 07 825 A1 Piezoaktoren bekannt, bei denen in einem Stapel übereinanderliegende piezokeramische Schichten angeordnet sind. Aus WO 2004/095 596 A1 ist ein Bauelement bekannt, bei dem piezoelektrische Biegeelemente durch Abstandhalter miteinander verbunden sind. DE 198 56 201 A1 zeigt einen piezoelektrischen Aktor, wobei eine Strinseite eines Aktorkörper an einem ruhenden metallischen Aktorfuß festgelegt ist und die andere Stirnseite an eine mit dem Aktorhub bewegliche metallische Halteplatte angrenzt.

**[0003]** Eine zu lösende Aufgabe besteht darin, ein piezoelektrisches Vielschichtbauelement anzugeben, das besonders für den Einsatz in einem Kfz geeignet ist.

**[0004]** Diese Aufgabe wird gelöst durch ein piezoelektrisches Vielschichtbauelement nach Patentanspruch 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Vielschichtbauelements sind den weiteren Patentansprüchen zu entnehmen.

**[0005]** Gemäß wenigstens einer Ausführungsform eines piezoelektrischen Bauelements wird ein Stapel von übereinanderliegenden piezoelektrischen Schichten angegeben.

**[0006]** Zwischen piezoelektrischen Schichten können Elektrodenschichten angeordnet sein, die vorzugsweise die Funktion von Innenelektroden haben und die dem Aufbau eines elektrischen Feldes in den piezoelektrischen Schichten dienen.

**[0007]** Vorzugsweise ist jeweils zwischen zwei piezoelektrischen Schichten eine Elektrodenschicht angeordnet.

**[0008]** Gemäß einer Ausführungsform des Bauelements ist es vorgesehen, dass wenigstens eine Absorptionsschicht im Schichtstapel vorgesehen ist. Vorzugsweise wird die Absorptionsschicht so ausgebildet, dass sie zur Absorption von mechanischen Schwingungen geeignet ist.

**[0009]** Mechanische Schwingungen treten in dem beschriebenen piezoelektrischen Bauelement beispielsweise dann auf, wenn das Bauelement in einem Kraftstoffeinspritzsystem eines Kraftfahrzeuges angewendet wird. In diesem Fall wirken je nach Konstruktion der Einspritzsysteme mechanische Kräfte auf das piezoelektrische Vielschichtbauelement

ein. Die mechanischen Belastungen können sich beispielsweise aus dem Kraft-Weg-Diagramm unter Berücksichtigung der Dynamik des Einspritzvorganges ergeben. Wird die Ausdehnung des piezoelektrischen Vielschichtbauelements durch einen mechanischen Anschlag begrenzt, wie dies beispielsweise in Pumpe-Düse-Einspritzsystemen für Dieselmotoren der Fall ist, so treten besonders hohe mechanische Belastungen auf, gegen die das piezoelektrische Vielschichtbauelement geschützt werden muss, da die Gefahr der Beschädigung besteht. In ähnlicher Weise können die dynamischen Rückwirkungen des Einspritzsystems, beispielsweise beim Auftreffen schnell bewegter mechanischer Teile auf das piezoelektrische Vielschichtbauelement mechanische Schwingungen bzw. mechanische Belastungen des Bauelementes herbeiführen.

**[0010]** Die Verwendung eines hier angegebenen Bauelements mit einer Absorptionsschicht hat den Vorteil, dass wenigstens ein Teil der mechanischen Schwingungsenergie, beispielsweise der Aufprallenergie bzw. der Schlagenergie von der Absorptionsschicht absorbiert werden kann, so dass die Gefahr der mechanischen Beschädigung des Vielschichtbauelementes reduziert ist.

**[0011]** Vorzugsweise ist die Absorptionsschicht so gestaltet, dass sie die Möglichkeit der Dissipation bietet, d. h., dass die Schwingungsenergie bzw. die mechanische Energie in Wärme umgewandelt werden kann.

**[0012]** Darüber hinaus hat die Absorptionsschicht den Vorteil, dass bei einer schnellen Abfolge mehrerer mechanischer Stöße auf das Vielschichtbauelement eine dauerhafte Ausbreitung der dadurch entstehenden mechanischen Stoßwellen, beispielsweise auch durch Reflexion an den äußeren Enden des Bauelements, wirksam vermindert werden kann. Hierfür wird die Absorptionsschicht so gestaltet, dass beispielsweise in Schallgeschwindigkeit durch das Bauelement laufende Stoßwellen an Grenzflächen zwischen einer Absorptionsschicht und einer piezoelektrischen Schicht bzw. an einer Grenzfläche zwischen einer Absorptionsschicht und einer Innenelektrodenschicht eine Beugung oder eine Brechung erfahren, wodurch die geradlinige Ausbreitung der Stoßwelle geschwächt wird. Dadurch können sich hochschaukelnde bzw. kumulierende, durch schnelle aufeinanderfolgende mechanische Stöße bewirkte Stoßwellenpakete hinsichtlich ihrer Intensität verringert werden und die Gefahr der Zerstörung des Bauelements kann vermindert werden.

**[0013]** Gemäß einer Ausführungsform des Bauelements ist es vorgesehen, dass eine Absorptionsschicht im Stapel eine keramische Schicht ist. Insbesondere kann es vorgesehen sein, dass auch die piezoelektrischen Schichten des Schichtstapels ke-

ramische Schichten sind. In diesem Fall ist es vorteilhaft, wenn die Absorptionsschicht eine höhere Porosität aufweist, als die benachbarten piezoelektrischen keramischen Schichten. Gemäß einer anderen Ausführungsform des Bauelements ist es vorgesehen, dass das Bauelement durch Gemeinsamsintern mehrerer übereinanderliegender keramischer Grünfolien hergestellt wird. Durch einen solchen Sinterprozess kann beispielsweise ein monolithisches Bauelement entstehen.

**[0014]** Des Weiteren ist es gemäß einer Ausführungsform des Bauelements vorgesehen, dass mehrere Absorptionsschichten über den Schichtstapel verteilt angeordnet werden. Für den Fall, dass als Absorptionsschicht ein Keramikmaterial verwendet wird, kann die Absorptionsschicht gemeinsam mit den übrigen piezoelektrischen keramischen Schichten gesintert werden. Dadurch entsteht eine besonders gute mechanische Anbindung der Absorptionsschicht an den Rest des Bauelementes, so dass die mechanische Belastbarkeit des Bauelementes verbessert wird.

**[0015]** Bei dem Bauelement ist eine Absorptionsschicht vorgesehen, die ein anorganisches Material enthält. Dabei handelt es sich um ein Metall. In einer nicht-beanspruchten Ausführungsform kann es sich bei dem anorganischen Material um einen keramischen Werkstoff handeln.

**[0016]** Darüber hinaus ist es gemäß einer Ausführungsform des Bauelements vorgesehen, dass die Absorptionsschicht organische Materialien enthält oder sogar vollständig aus organischen Materialien aufgebaut ist. Hierfür kommen beispielsweise Klebstoffe oder auch duroplastische Kunststoffe in Betracht.

**[0017]** Bei dem Bauelement wird die Absorptionsfähigkeit der Absorptionsschicht dadurch erreicht, daß sie gegenüber den keramischen Schichten eine höhere Porosität aufweist.

**[0018]** Vorzugsweise wird das Bauelement durch Sintern eines Stapels von übereinanderliegenden keramischen Grünfolien und dazwischenliegenden Elektrodenschichten hergestellt. Dadurch entsteht ein monolithisches Bauelement, das einfach und billig herzustellen ist und das für die weiteren Bearbeitungsschritte eine ausreichende mechanische Stabilität besitzt.

**[0019]** Um die Absorptionsfähigkeit des Bauelements bezüglich mechanischer Schwingungen weiter zu verbessern, kann es vorgesehen sein, daß an mehreren Stellen der Längsachse Absorptionsschichten vorgesehen sind. Dadurch wird gewissermaßen das Bauelement entlang der Längsachse in mehrere Teil-Bauelemente unterteilt.

**[0020]** Poröse Schichten in einem keramischen Vielschichtbauelement stellen eine Diskontinuität für Schallwellen dar. Es ist daher vorteilhaft, wenn die porösen Schichten beim Betrieb des Bauelements weitgehend frei von elektrischen Feldern gehalten werden, um unerwünschte Migrationseffekte zu vermeiden. Dies wird dadurch erreicht, daß die unmittelbar zu einer Absorptionsschicht benachbarten Elektrodenschichten demselben elektrischen Pol des Bauelements zugeordnet sind. Dann können keine nennenswerten elektrischen Felder mehr über die Absorptionsschicht aufgebaut werden.

**[0021]** In einer Ausführungsform des Bauelements ist die Porosität der Absorptionsschicht gegenüber den keramischen Schichten um einen Faktor zwischen 1,2 und 3 erhöht. Diese Angabe der Porosität bezieht sich auf die folgende Methode zur Messung der Porosität:

Es wird das Bauelement in einem Längsschliff betrachtet. Poren, die sowohl in den keramischen Schichten als auch in den Absorptionsschichten auftreten können, unterscheiden sich durch einen farblichen bzw. Hell-Dunkel-Kontrast von dem sie umgebenden Keramikmaterial. Nun wird für jede Art von Schicht, also für die keramische Schicht und für eine Absorptionsschicht über eine Einheitsfläche der Flächenanteil der Poren an dieser Einheitsfläche ermittelt. Der Quotient aus den beiden Flächenanteilen der Poren ergibt den Faktor der erhöhten Porosität.

**[0022]** Die Porosität kann auch als Bruchteil der theoretisch möglichen Dichte angegeben werden. In diesem Fall hätten die keramischen Schichten eine Dichte von ca. 97–98% der theoretischen Dichte und die Absorptionsschichten eine Dichte von 90–95% der theoretischen Dichte.

**[0023]** Es ist des Weiteren vorteilhaft, wenn die Absorptionsschicht aus demselben Keramikmaterial besteht, wie die keramischen Schichten. Dadurch kann die Materialvielfalt des Bauelements in vorteilhafter Weise reduziert werden, was zudem noch den positiven Nebeneffekt hat, daß die weiteren Prozesse zur Herstellung des Bauelements, wie beispielsweise Entbindern und Sintern einfacher durchführbar sind.

**[0024]** Es ist darüber hinaus besonders vorteilhaft, wenn das elektrische Vielschichtbauelement ein piezoelektrischer Aktor ist, der in Kraftfahrzeugen eingesetzt werden kann.

**[0025]** Der hier angegebene Schichtstapel hat den Vorteil, daß durch den erhöhten Volumenanteil an Bindemittel in einer oder mehrerer der Grünfolien in dem Schichtstapel die Herstellung von keramischen Schichten mit einer erhöhten Porosität möglich ist. Das Bindemittel wird nämlich noch vor dem Sintern durch einen Entkohlungsprozeß entfernt und an den Stellen in den Schichten, in denen der hohe Anteil von

Bindemittel vorhanden war, können sich anschließend Poren bilden.

**[0026]** Dabei ist es besonders vorteilhaft, wenn der Volumenanteil an Bindemittel um einen Faktor zwischen 1,5 und 3 erhöht ist. Dadurch kann die Gefahr vermindert werden, daß in der Keramikschicht zu wenig Keramikpulver vorhanden ist, so daß nach dem Sintern kein monolithisches Bauelement, sondern ein bereits vor dem elektrischen Betrieb in einzelne Teil-Bauelemente unterteiltes Bauelement resultiert.

**[0027]** Im folgenden wird ein Bauelement anhand eines Ausführungsbeispiels und den dazugehörigen Figuren näher erläutert.

**[0028]** Fig. 1 zeigt beispielhaft ein Vielschichtbauelement in einer perspektivischen Ansicht.

**[0029]** Fig. 2 zeigt einen Längsschnitt eines Teilbereichs des Bauelements aus Fig. 1.

**[0030]** Die Fig. 1 und Fig. 2 zeigen einen piezoelektrischen Aktor, bei dem eine Vielzahl von keramischen Schichten **1** entlang einer Längsachse **3** übereinandergestapelt sind. Als Keramikmaterial für die keramischen Schichten **1** kann insbesondere eine PZT-Keramik, beispielsweise der Zusammensetzung  $\text{Pb}_{0,96}\text{Cu}_{0,02}\text{Nd}_{0,02}(\text{Zr}_{0,54}\text{Ti}_{0,46})\text{O}_3$  verwendet werden.

**[0031]** Daneben sind Elektroden-schichten **2a**, **2b** vorgesehen, die jeweils zwischen zwei benachbarten keramischen Schichten **1** angeordnet sind. Dabei gehören die Elektroden-schichten **2a** zu einem elektrischen Pol des Bauelements und die Elektroden-schichten **2b** zum anderen Pol des elektrischen Bauelements. Die bis ganz an den rechten Rand des Bauelements herangeführten Elektroden-schichten **2b** sind durch die Außenkontaktierung **51** miteinander elektrisch leitend verbunden und gleichzeitig ermöglicht die Außenkontaktierung **51** das Anlegen eines Pols einer elektrischen Spannungsquelle.

**[0032]** Dementsprechend sind die auf der linken Seite des Bauelements bis an den äußeren Randreichenden Elektroden-schichten **2b** mit einer auf der linken Seite des Bauelements (nicht in Fig. 1 sichtbar) angeordneten Außenkontaktierung **52** elektrisch leitend verbunden. An die Außenkontaktierung **52** kann der andere Pol der elektrischen Spannungsquelle angeschlossen werden.

**[0033]** Im Gebiet einer passiven Zone **7** überlappen die Elektroden-schichten **2a** und **2b** einander nicht, sondern es sind lediglich Elektroden-schichten einer einzigen Sorte, beispielsweise Elektroden-schichten **2a** (vgl. Fig. 2) in der passiven Zone **7** vorhanden. Um einen von außen auftretenden Stoß **8** in Bezug auf seine Zerstörwirkung auf das Bauelement zu schwächen, sind Absorptionsschichten **4** vorgesehen.

**[0034]** Um die Absorptionsschicht **4** möglichst feldfrei auch bei Betrieb des Piezoaktors zu halten, ist es vorgesehen, wie in Fig. 2 dargestellt, die unmittelbar zur Absorptionsschicht **4** benachbarten Elektroden-schichten **2a** ein und demselben elektrischen Pol des Piezoaktors zuzuordnen.

**[0035]** Die Verteilung der Absorptionsschicht **4** entlang der Längsachse **3** ist dabei so vorzunehmen, daß Teilaktoren **9** entstehen, deren Höhe so stark reduziert ist, daß die bei dem normalen Betrieb des Piezoaktors auftretende mechanische Schwingungen keine Zerstörungen mehr in dem Aktor erzeugen können.

**[0036]** Beispielsweise kann es bei einem 30 mm hohen Piezoaktor vorgesehen sein, diesen durch 9 Sollbruchschichten **4** in 10 Teilaktoren **9** zu unterteilen, wobei jeder Teilaktor eine Höhe von 3 mm aufweist. Diese Höhe von 3 mm entspricht in einem Ausführungsbeispiel des Aktors einer Anzahl von 37 keramischen Schichten **1**.

**[0037]** Als Material der Elektroden-schichten **2a**, **2b** kommt beispielsweise eine Mischung aus Silber und Palladium, wie sie zur Gemeinsamsinterung mit piezoaktiven Keramikschichten geeignet ist, in Betracht. Darüber hinaus kommen aber auch Elektroden-schichten **2a**, **2b** in Betracht, welche Kupfer enthalten oder sogar ganz aus Kupfer bestehen.

**[0038]** Die Herstellung des in den Fig. 1 und Fig. 2 dargestellten Piezoaktors kann mittels eines Schichtstapels erfolgen, dessen Aussehen dem in den Fig. 1 und Fig. 2 dargestellten Bauelement im wesentlichen gleicht, wobei jedoch noch keine Außenkontaktierungen **51**, **52** vorhanden sind. Im übrigen entspricht der Aufbau der keramischen Schichten, der Elektroden-schichten und der Absorptionsschicht dem Aufbau eines Schichtstapels, wobei die keramischen Schichten in einer Vorform als keramische Grünfolien enthaltend ein Keramikpulver und einen organischen Binder ausgeführt sind. Die Elektroden-schichten sind als metallpulverhaltige Pasten ausgeführt. Die Absorptionsschichten sind wie die keramischen Schichten als Grünfolien ausgeführt, wobei jedoch der Anteil an organischem Binder in den später zu den Absorptionsschichten zu verarbeitenden Schichten gegenüber den übrigen keramischen Schichten erhöht ist. Beispielsweise können für die keramischen Schichten Grünfolien verwendet werden, bei denen ein Volumenanteil von 30% von dem organischen Binder beansprucht wird. Um den Volumenanteil in bestimmten Schichten des Schichtstapels zu erhöhen, kann dieser auf einen Volumenanteil von 50 bis 60% erhöht werden. Bei einem solchen Volumenanteil an organischem Binder bekommt man auch noch keine Probleme beim Folienziehen im Hinblick darauf, daß das Keramikpulver agglomeriert und keine definierten Folien mehr gezogen werden können.

**[0039]** Das Bauelement wird durch gemeinsames Sintern der in dem Schichtstapel befindlichen Schichten hergestellt. Dies geschieht in einem einzigen Prozessschritt.

**[0040]** Es wird abschließend darauf hingewiesen, daß das vorstehend beschriebene elektrische Vielschichtbauelement nicht auf das genannte Keramikmaterial beschränkt ist. Es kommen vielmehr alle möglichen Keramikmaterialien in Betracht, die einen piezoelektrischen Effekt zeigen. Darüber hinaus ist das Bauelement auch nicht auf Piezoaktoren beschränkt. Es kommen vielmehr alle möglichen Keramikmaterialien in Betracht, die eine elektrische Funktion ausüben. Insbesondere kann das Bauelement immer dort Verwendung finden, wo es mechanischen Belastungen, insbesondere Stoßbelastungen, ausgesetzt ist.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	piezoelektrische Schicht
<b>2a, b</b>	Elektrodenschicht
<b>3</b>	Längsachse
<b>4</b>	Absorptionsschicht
<b>51, 52</b>	Außenkontaktierung
<b>7</b>	passive Zone
<b>8</b>	Stoßbelastung
<b>9</b>	Teilaktor

#### Patentansprüche

1. Piezoelektrisches Vielschichtbauelement,  
 – mit einer Vielzahl von übereinanderliegenden keramischen, piezoelektrischen Schichten (1), die miteinander zu einem Schichtstapel versintert sind,  
 – mit zwischen den piezoelektrischen Schichten (1) angeordneten Elektrodenschichten (2a, 2b),  
 – wobei im Schichtstapel eine Absorptionsschicht (4) angeordnet ist, wobei die Absorptionsschicht (4) ein Metall enthält und gegenüber den piezoelektrischen Schichten (1) eine höhere Porosität aufweist.

2. Bauelement nach Anspruch 1, wobei die Absorptionsschicht (4) so gestaltet ist, dass in Schallgeschwindigkeit durch das Bauelement laufende Stoßwellen an einer Grenzfläche zwischen der Absorptionsschicht (4) und einer piezoelektrischen Schicht (1) beziehungsweise an einer Grenzfläche zwischen der Absorptionsschicht (4) und einer Elektrodenschicht (2a, 2b) eine Beugung oder eine Brechung erfahren, wodurch die geradlinige Ausbreitung einer Stoßwelle geschwächt wird.

3. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 2, das ein durch Sintern hergestelltes monolithisches Bauelement ist.

4. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem mehrere Absorptionsschichten (4) vorgesehen sind.

5. Bauelement nach Anspruch 4, bei dem die Absorptionsschichten (4) gleichmäßig über die Höhe des Schichtstapels verteilt sind.

6. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem die zu einer Absorptionsschicht (4) unmittelbaren benachbarten Elektrodenschichten (2a, 2b) demselben elektrischen Pol des Bauelements zugeordnet sind.

7. Bauelement nach Anspruch 6, wobei das Bauelement so ausgestaltet ist, dass die zumindest eine Absorptionsschicht (4) bei Betrieb des Bauelements möglichst feldfrei gehalten wird.

8. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem die Porosität der Absorptionsschicht (4) gegenüber den keramischen Schichten (1) um den Faktor 1,2 bis 3 erhöht ist.

9. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei das Material der Elektrodenschichten (2a, 2b) eine Mischung aus Silber und Palladium ist.

10. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei das Bauelement ein piezoelektrischer Aktor ist, der in Kraftfahrzeugen eingesetzt werden kann.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

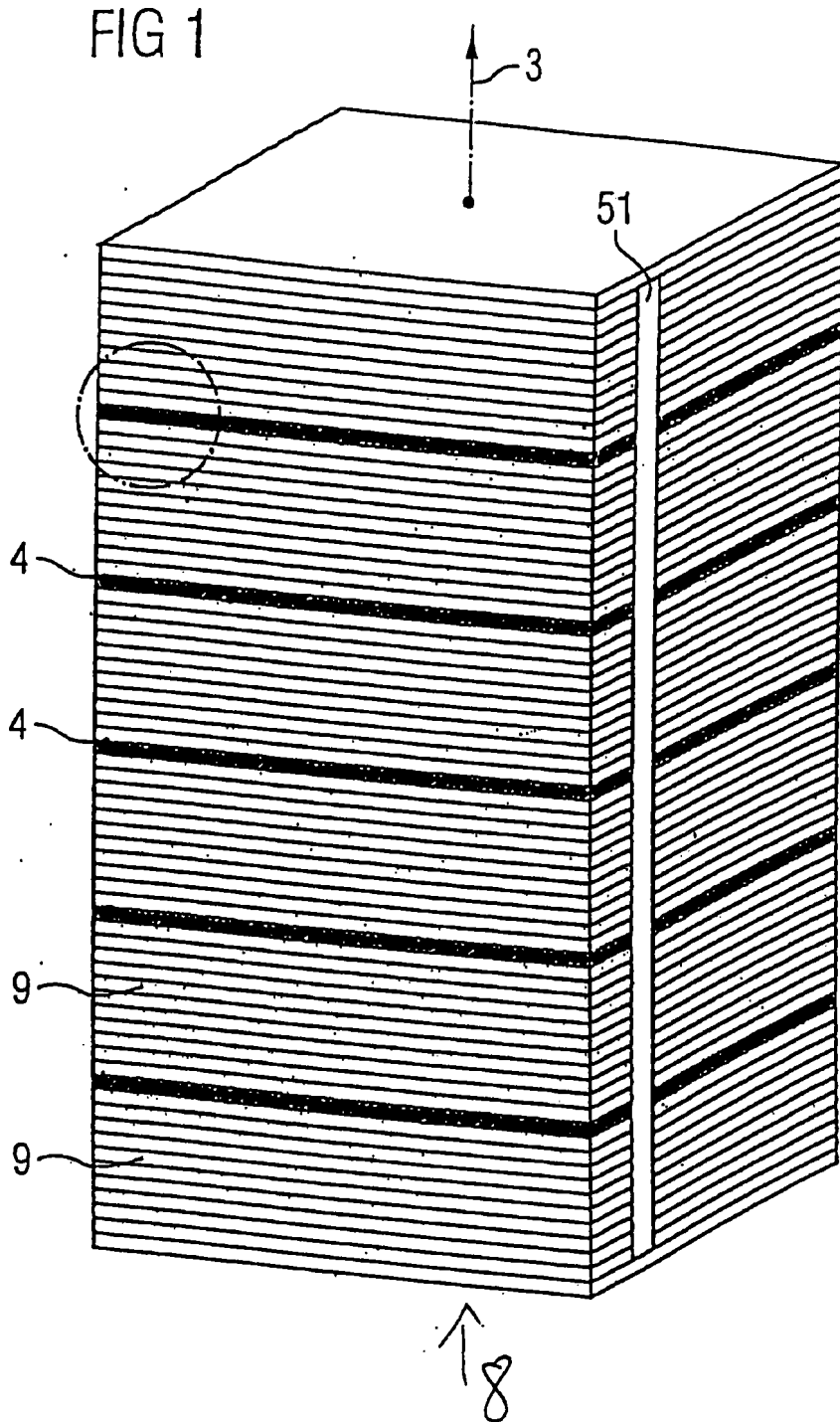


FIG 2

