



(19)  
 Bundesrepublik Deutschland  
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 008 120 A1** 2008.08.21

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 008 120.2**  
 (22) Anmeldetag: **19.02.2007**  
 (43) Offenlegungstag: **21.08.2008**

(51) Int. Cl.<sup>8</sup>: **H01L 41/083** (2006.01)  
**H01L 41/047** (2006.01)  
**H01L 41/24** (2006.01)

(71) Anmelder:  
**Siemens AG, 80333 München, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:  
**DE10 2005 026717 A1**  
**WO 2006/0 77 245 A1**

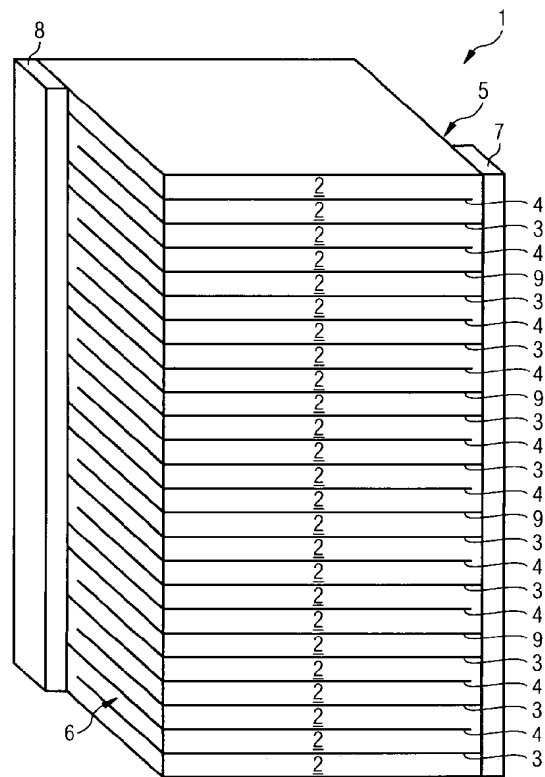
(72) Erfinder:  
**Hamann, Christoph, Dr., 93107 Thalmassing, DE;**  
**Kastl, Harald Johannes, 95686 Fichtelberg, DE**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Piezostapel und Verfahren zum Herstellen eines Piezostapels**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Piezostapel (1) und ein Verfahren zum Herstellen eines Piezostapels (1). Der Piezostapel (1) weist abwechselnd aufeinanderfolgende piezoelektrische Schichten (2) und Innenelektrodenschichten (3, 4), die abwechselnd mit zwei an der Außenseite (5, 6) des Piezostapels (1) angeordneten Außenelektroden (7, 8) elektrisch verbunden sind, auf. Der Piezostapel (1) weist ferner wenigstens eine Sicherheitsschicht (9, 40, 50) auf, die anstelle einer der Innenelektrodenschichten (3, 4) zwischen zwei aufeinanderfolgenden piezoelektrischen Schichten (2) angeordnet wird. Die Sicherheitsschicht (9, 40, 50) wird derart strukturiert, dass sie eine interne Unterbrechung (13, 44, 45, 53) aufweist, die derart ausgeführt ist, dass die Sicherheitsschicht (9, 40, 50) keinen elektrischen Kontakt zwischen den beiden Außenelektroden (7, 8) kontaktiert und elektrisch leitfähig ist.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Piezostapel und ein Verfahren zum Herstellen eines Piezostapels.

**[0002]** Piezoelemente werden u. A. für Positionierelemente, Ultraschallwandler, Sensoren und in Tintenstrahldruckern verwendet. Die Funktion eines Piezoelements beruht auf der Deformation piezokeramischer Materialien, wie z. B. Blei-Zirkonat-Titanat, unter Einwirkung eines elektrischen Feldes. Wird an das Piezoelement eine elektrische Spannung angelegt, so dehnt sich dieses in senkrechter Richtung zum von der elektrischen Spannung erzeugten elektrischen Feld aus.

**[0003]** Vorteile von Piezoelementen sind u. A. deren relativ große Geschwindigkeit, deren relativ große Effektivität und, wenn als Piezoaktor verwendet, deren relativ kleiner Stellweg.

**[0004]** Soll jedoch mit dem Piezoaktor ein relativ großer Stellweg erreicht werden, dann wird für den Piezoaktor ein Piezostapel aus mehreren abwechselnd aufeinanderfolgenden piezoelektrischen Schichten und Innenelektrodenschichten verwendet.

**[0005]** Um durch seine Ausdehnung eventuell entstehende schädliche Risse im Piezostapel quer zu den Innenelektrodenschichten zu verhindern, sollte eine durch die Dehnung hervorgerufene mechanische Spannung innerhalb des Piezostapels unter einem für das piezokeramische Material unschädlichen Niveau bleiben. Dies kann z. B. erreicht werden, indem der Piezostapel in kürzere Abschnitte aufgeteilt wird.

**[0006]** Aufgabe der Erfindung ist es daher, einen Piezostapel anzugeben, bei dem einerseits die Rissbildung gezielt eingeleitet wird und der andererseits relativ betriebssicher ausgeführt ist.

**[0007]** Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum Herstellen eines solchen Piezostapels anzugeben.

**[0008]** Die Aufgabe der Erfindung wird gelöst durch einen Piezostapel, aufweisend abwechselnd aufeinanderfolgende piezoelektrische Schichten und Innenelektrodenschichten, die abwechselnd mit zwei an der Außenseite des Piezostapels angeordneten Außenelektroden elektrisch verbunden sind, und wenigstens eine Sicherheitsschicht, die anstelle einer der Innenelektrodenschichten zwischen zwei aufeinanderfolgenden piezoelektrischen Schichten angeordnet ist, wobei die Sicherheitsschicht derart strukturiert ist, dass sie eine interne Unterbrechung aufweist, die derart ausgeführt ist, dass die Sicherheitsschicht keinen elektrischen Kontakt zwischen den beiden Außenelektroden bildet, wenn sie beide Au-

ßenelektroden kontaktiert und elektrisch leitfähig ist.

**[0009]** Die weitere Aufgabe der Erfindung wird gelöst durch ein Verfahren zum Herstellen eines Piezostapels, der abwechselnd aufeinanderfolgende piezoelektrische Schichten und Innenelektrodenschichten, die abwechselnd mit zwei an der Außenseite des Piezostapels angeordneten Außenelektroden elektrisch verbunden sind, und wenigstens eine Sicherheitsschicht aufweist, die anstelle einer der Innenelektrodenschichten zwischen zwei aufeinanderfolgenden piezoelektrischen Schichten angeordnet wird, wobei die Sicherheitsschicht derart strukturiert wird, dass sie eine interne Unterbrechung aufweist, die derart ausgeführt ist, dass die Sicherheitsschicht keinen elektrischen Kontakt zwischen den beiden Außenelektroden bildet, wenn sie beide Außenelektroden kontaktiert und elektrisch leitfähig ist.

**[0010]** Der erfindungsgemäße Piezostapel umfasst die aufeinanderfolgenden piezoelektrischen Schichten, die Innenelektrodenschichten und die beiden Außenelektroden. Somit ist zwischen zwei aufeinanderfolgenden piezoelektrischen Schichten eine Innenelektrodenschicht angeordnet. Ferner sind die Innenelektrodenschichten abwechselnd mit einer der beiden Außenelektroden kontaktiert. Die Außenelektroden sind an den Außenseiten des Piezostapels, z. B. an jeweils zwei gegenüberliegenden Außenseiten, angeordnet.

**[0011]** Im Betrieb des Piezostapels wird an die beiden Außenelektroden eine elektrische Spannung angelegt, die demnach abwechselnd auch an den Innenelektrodenschichten anliegt, wodurch sich die zwischen zwei Innenelektrodenschichten liegende piezoelektrische Schicht ausdehnt.

**[0012]** Um eine Gefahr einer ungewollten Rissbildung innerhalb des erfindungsgemäßen Piezostapels zumindest zu verringern oder gar zu verhindern, weist der erfindungsgemäße Piezostapel die wenigstens eine Sicherheitsschicht auf, die anstelle einer der Innenelektrodenschichten zwischen zwei piezoelektrischen Schichten angeordnet ist.

**[0013]** Insbesondere kann der erfindungsgemäße Piezostapel genau eine Sicherheitsschicht oder mehrere Sicherheitsschichten, die jeweils eine der Innenelektrodenschichten ersetzen, aufweisen.

**[0014]** Die Sicherheitsschicht kann durchgehend ausgeführt werden, d. h. sie kann sich im Wesentlichen über die gesamte Querschnittsfläche des Piezostapels erstrecken, und ist dann in der Regel mit beiden Außenelektroden verbunden.

**[0015]** Um sicherzustellen, dass die beiden Außenelektroden durch die Sicherheitsschicht elektrisch nicht kurzgeschlossen werden, ist diese erfindungs-

gemäß derart strukturiert, dass sie wenigstens eine interne Unterbrechung aufweist, die einen elektrischen Kurzschluss der Außenelektroden verhindert, sollten die Sicherheitsschicht elektrisch leitfähig sein. Somit wird auch zuverlässig ein Kurzschluss beider Außenelektroden verhindert, wenn die Sicherheitsschicht zunächst aus einem elektrisch isolierenden Material hergestellt wurde, jedoch im Laufe der Zeit elektrisch leitfähig wird.

**[0016]** Die Sicherheitsschicht kann z. B. in der Mitte unterbrochen sein. Des Weiteren kann die Sicherheitsschicht derart ausgeführt sein, dass der erfindungsgemäße Piezostapel gezielt reißen kann. Ferner kann die wenigstens eine Unterbrechung an die mechanische Spannungsverteilung des erfindungsgemäßen Piezostapels angepasst werden.

**[0017]** Gemäß einer Variante des erfindungsgemäßen Piezostapels ist die Unterbrechung innerhalb der Sicherheitsschicht als wenigsten ein Spalt ausgeführt. Dann weist die Sicherheitsschicht wenigstens zwei durch den Spalt getrennte Teilsicherheitsschichten auf, die demnach elektrisch voneinander isoliert sind. Ist nun eine der Teilsicherheitsschichten nur mit einer der Außenelektroden und die andere Teilsicherheitsschicht nur mit der anderen Außenelektrode verbunden, dann kann ein elektrischer Kurzschluss der beiden Außenelektroden zuverlässig verhindert werden. Wird die Sicherheitsschicht mit mehreren Spalten versehen, dann kann ein Kurzschluss der Außenelektroden auch dann verhindert werden, wenn einer der Spalte z. B. aus prozesstechnischen Gründen nicht ausreichend breit ausgeführt wurde.

**[0018]** Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Piezostapels ist die Sicherheitsschicht aus einem elektrisch isolierenden Material gefertigt. Dies wird beispielsweise dadurch realisiert, dass die Sicherheitsschicht zunächst elektrisch leitfähig ist und durch Wegdiffundieren leitfähiger Anteile, z. B. während thermischer Prozesse bei der Herstellung des erfindungsgemäßen Piezostapels, elektrisch isolierend wird. Ein geeignetes Material für die Sicherheitsschicht ist beispielsweise Silberpalladium.

**[0019]** Nach einer Variante des erfindungsgemäßen Piezostapels ist die Festigkeit der Sicherheitsschicht kleiner als die Festigkeit der Innenelektroden-schichten. Die Festigkeit der Sicherheitsschicht ist beispielsweise kleiner als etwa 30 MPa.

**[0020]** Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den beigefügten schematischen Zeichnungen exemplarisch dargestellt. Es zeigen:

**[0021]** Fig. 1 eine perspektivische Seitenansicht eines Piezostapels,

**[0022]** Fig. 2 ein Flussdiagramm zur Veranschauli-

chung der Herstellung des Piezostapels,

**[0023]** Fig. 3 einen Querschnitt des Piezostapels und

**[0024]** Fig. 4, Fig. 5 Querschnitte weiterer Piezostapel.

**[0025]** Die Fig. 1 zeigt einen im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels quaderförmig ausgebildeten Piezostapel **1**, die Fig. 2 zeigt ein Flussdiagramm zur Veranschaulichung der Herstellung des Piezostapels **1** und die Fig. 3 zeigt einen Querschnitt des Piezostapels **1**.

**[0026]** Der Piezostapel **1** weist mehrere piezoelektrische Schichten **2** und mehrere dazwischen angeordnete schichtförmige Innenelektroden **3**, **4** auf. Die piezoelektrischen Schichten **2** umfassen ein piezokeramisches Material, im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels Blei-Zirkonat-Titanat, und bei den Innenelektroden **3**, **4** handelt es sich im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels um elektrisch leitfähige Metallschichten.

**[0027]** An im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels gegenüberliegenden Außenseiten **5**, **6** ist jeweils eine Außenelektrode **7**, **8** angeordnet, die als Außenmetallisierungen längs der Außenseiten **5**, **6** aufgetragen wurden. Damit die auf der Außenseite **5** angeordnete Außenelektrode **7** die Innenelektroden **3** kontaktiert, jedoch die Innenelektroden **4** nicht kontaktiert, sind im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels die Innenelektroden **3** durchgehend bis an die Außenseite **5** herangeführt und die Innenelektroden **4** im Bereich der Außenelektrode **7** ausreichend in das Innere des Piezostapels **1** zurückversetzt.

**[0028]** Damit die auf der Außenseite **6** angeordnete Außenelektrode **8** die Innenelektroden **4** kontaktiert, jedoch die Innenelektroden **3** nicht kontaktiert, sind im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels die Innenelektroden **4** durchgehend bis an die Außenseite **6** herangeführt und die Innenelektroden **3** im Bereich der Außenelektrode **8** ausreichend in das Innere des Piezostapels **1** zurückversetzt.

**[0029]** Somit kontaktiert die Außenelektrode **7** die Innenelektroden **3** und die Außenelektrode **8** die Innenelektroden **4**, wodurch die Innenelektroden **3**, **4** alternierend von den beiden Außenelektroden **7**, **8** kontaktiert werden.

**[0030]** Der Piezostapel **1** weist ferner Sicherheitsschichten **9** auf, die anstelle von Innenelektroden **3**, **4** zwischen zwei piezoelektrischen Schichten **2** angeordnet sind. Im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels erstrecken sich die Sicherheitsschichten **9** über die gesamte Querschnittsfläche des Piezostapels **1** und kontaktieren in der Regel die beiden Au-

Benelektroden 7, 8. Die [Fig. 3](#) zeigt eine Draufsicht einer der Sicherheitsschichten 9, die wie dargestellt strukturiert ist.

**[0031]** Im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels wurde der Piezostapel 1 durch die Prozessschritte Stapeln der einzelnen piezoelektrischen Schichten 2, Innenelektroden 3, 4 und der strukturierten Sicherheitsschichten 9, Schritt A des Flussdiagramms, und durch anschließendes Trennen, Entbindern und Schleifen, Schritt B, erzeugt. Anschließend wurden in einem Schritt C die Außenelektroden 7, 8 an die Außenseiten 5, 6 angeordnet.

**[0032]** Wie es aus der [Fig. 3](#) ersichtlich ist, sind die einzelnen Sicherheitsschichten 9 derart strukturiert, dass sie im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels jeweils zwei Teilsicherheitsschichten 11, 12 aufweisen, die von einem Spalt 13 getrennt sind. Im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels sind die beiden Außenelektroden 7, 8 nahe zweier diagonal gegenüberliegender Kanten 14, 15 des Piezostapels 1 an den Außenseiten 5, 6 angeordnet und der Spalt 13 verläuft diagonal bezüglich der beiden weiteren Kanten 16, 17 des Piezostapels 1. Des Weiteren kontaktiert die Außenelektrode 7 die Teilsicherheitsschicht 11 und die Außenelektrode 8 die Teilsicherheitsschicht 12. Durch ihre Strukturierung, d. h. durch den Spalt 13 sind jedoch die beiden Teilsicherheitsschichten 11, 12 voneinander getrennt, sodass die Sicherheitsschicht 9 die beiden Außenelektroden 7, 8 auch dann nicht elektrisch verbindet, wenn die Sicherheitsschicht 9 elektrisch leitend sein sollte.

**[0033]** Im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels sind die Sicherheitsschichten 9 z. B. aus Silberpalladium ausgebildet. Durch thermische Prozesse während der Herstellung des Piezostapels 1 verloren die Sicherheitsschichten 9 ihre Leitfähigkeiten durch ein Wegdiffundieren leitfähiger Anteile. Sollten die Sicherheitsschichten 9 trotzdem leitfähig, auch wenn nur relativ geringfügig leitfähig sein, dann werden trotzdem aufgrund des Spalts 13 die beiden Außenelektroden 7, 8 nicht durch die Sicherheitsschichten 9 elektrisch verbunden. Somit können insbesondere auch Piezostapel mit einer Querschnittsfläche kleiner als ca.  $6,8 \times 6,8 \text{ mm}^2$  betriebssicher hergestellt werden.

**[0034]** Die [Fig. 4](#) zeigt eine alternative Ausführungsform einer Sicherheitsschicht 40, die anstelle der Sicherheitsschicht 9 für den Piezostapel 1 verwendet werden kann.

**[0035]** Im Gegensatz zu der in der [Fig. 3](#) gezeigten Sicherheitsschicht 9 weist die in der [Fig. 4](#) gezeigte Sicherheitsschicht 40 drei Teilsicherheitsschichten 41–43 und zwei Spalte 44, 45 auf. Die Teilsicherheitsschicht 41 ist dabei mit der Außenelektrode 8 verbunden und durch den Spalt 44 von der Teilsicherheits-

schicht 42 getrennt. Die Teilsicherheitsschicht 42 ist durch den Spalt 45 von der Teilsicherheitsschicht 43 getrennt, die wiederum mit der Außenelektrode 7 verbunden ist.

**[0036]** Die in den [Fig. 3](#), [Fig. 4](#) dargestellten Spalte 13, 44, 45 sind in den dargestellten Ausführungsbeispielen streifenförmig ausgebildet. Dies ist nicht unbedingt nötig.

**[0037]** Die [Fig. 5](#) zeigt eine alternative Ausführungsform einer Sicherheitsschicht 50, die anstelle der Sicherheitsschicht 9 für den Piezostapel 1 verwendet werden kann. Die Sicherheitsschicht 50 weist im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels wie die Sicherheitsschicht 9 zwei Teilsicherheitsschichten 51, 52 auf, die durch einen diagonal verlaufenden Spalt 53 voneinander getrennt sind. Die Teilsicherheitsschicht 51 ist mit der Außenelektrode 8 und die Teilsicherheitsschicht 52 ist mit der Außenelektrode 7 verbunden.

**[0038]** Im Gegensatz zum Spalt 13 der in der [Fig. 3](#) dargestellten Sicherheitsschicht 9 ist der Spalt 53 nicht streifenförmig ausgebildet, sondern verjüngt sich zu seiner Mitte. Dadurch ergibt sich eine verbesserte mechanische Spannungsverteilung im Piezostapel 1.

## Patentansprüche

1. Piezostapel aufweisend:
  - abwechselnd aufeinanderfolgende piezoelektrische Schichten (2) und Innenelektrodenschichten (3, 4), die abwechselnd mit zwei an der Außenseite (5, 6) des Piezostapels (1) angeordneten Außenelektroden (7, 8) elektrisch verbunden sind, und
  - wenigstens eine Sicherheitsschicht (9, 40, 50), die anstelle einer der Innenelektrodenschichten (3, 4) zwischen zwei aufeinanderfolgenden piezoelektrischen Schichten (2) angeordnet ist, wobei die Sicherheitsschicht (9, 40, 50) derart strukturiert ist, dass sie eine interne Unterbrechung (13, 44, 45, 53) aufweist, die derart ausgeführt ist, dass die Sicherheitsschicht (9, 40, 50) keinen elektrischen Kontakt zwischen den beiden Außenelektroden (7, 8) bildet, wenn sie beide Außenelektroden (7, 8) kontaktiert und elektrisch leitfähig ist.
2. Piezostapel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Sicherheitsschicht (9, 40, 50) im Wesentlichen über die gesamte Querschnittsfläche des Piezostapels (1) erstreckt.
3. Piezostapel nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Unterbrechung als wenigstens ein Spalt (13, 44, 45, 53) innerhalb der Sicherheitsschicht (9, 40, 50) ausgebildet ist.
4. Piezostapel nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

dadurch gekennzeichnet, dass die Sicherheitsschicht (9, 40, 50) aus einem elektrisch isolierenden Material gefertigt ist.

5. Piezostapel nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Sicherheitsschicht (9, 40, 50) zunächst elektrisch leitfähig ist und durch Wegdiffundieren leitfähiger Anteile elektrisch isolierend wird.

6. Piezostapel nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Festigkeit der Sicherheitsschicht (9, 40, 50) kleiner als die Festigkeit der Innenelektrodenschichten (3, 4) ist.

7. Verfahren zum Herstellen eines Piezostapels, der abwechselnd aufeinanderfolgende piezoelektrische Schichten (2) und Innenelektrodenschichten (3, 4), die abwechselnd mit zwei an der Außenseite (5, 6) des Piezostapels (1) angeordneten Außenelektroden (7, 8) elektrisch verbunden sind, und wenigstens eine Sicherheitsschicht (9, 40, 50) aufweist, die anstelle einer der Innenelektrodenschichten (3, 4) zwischen zwei aufeinanderfolgenden piezoelektrischen Schichten (2) angeordnet wird, wobei die Sicherheitsschicht (9, 40, 50) derart strukturiert wird, dass sie eine interne Unterbrechung (13, 44, 45, 53) aufweist, die derart ausgeführt ist, dass die Sicherheitsschicht (9, 40, 50) keinen elektrischen Kontakt zwischen den beiden Außenelektroden (7, 8) bildet, wenn sie beide Außenelektroden (7, 8) kontaktiert und elektrisch leitfähig ist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Sicherheitsschicht (9, 40, 50) im Wesentlichen über die gesamte Querschnittsfläche des Piezostapels (1) erstreckt.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, gekennzeichnet durch Ausbilden wenigstens eines Spaltes (13, 44, 45, 53) innerhalb der Sicherheitsschicht (9, 40, 50) als die Unterbrechung.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Sicherheitsschicht (9, 40, 50) aus einem elektrisch isolierenden Material gefertigt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Sicherheitsschicht (9, 40, 50) zunächst elektrisch leitfähig ist und durch Wegdiffundieren leitfähiger Anteile elektrisch isolierend wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Festigkeit der Sicherheitsschicht (9, 40, 50) kleiner als die Festigkeit der Innenelektrodenschichten (3, 4) ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

FIG 1

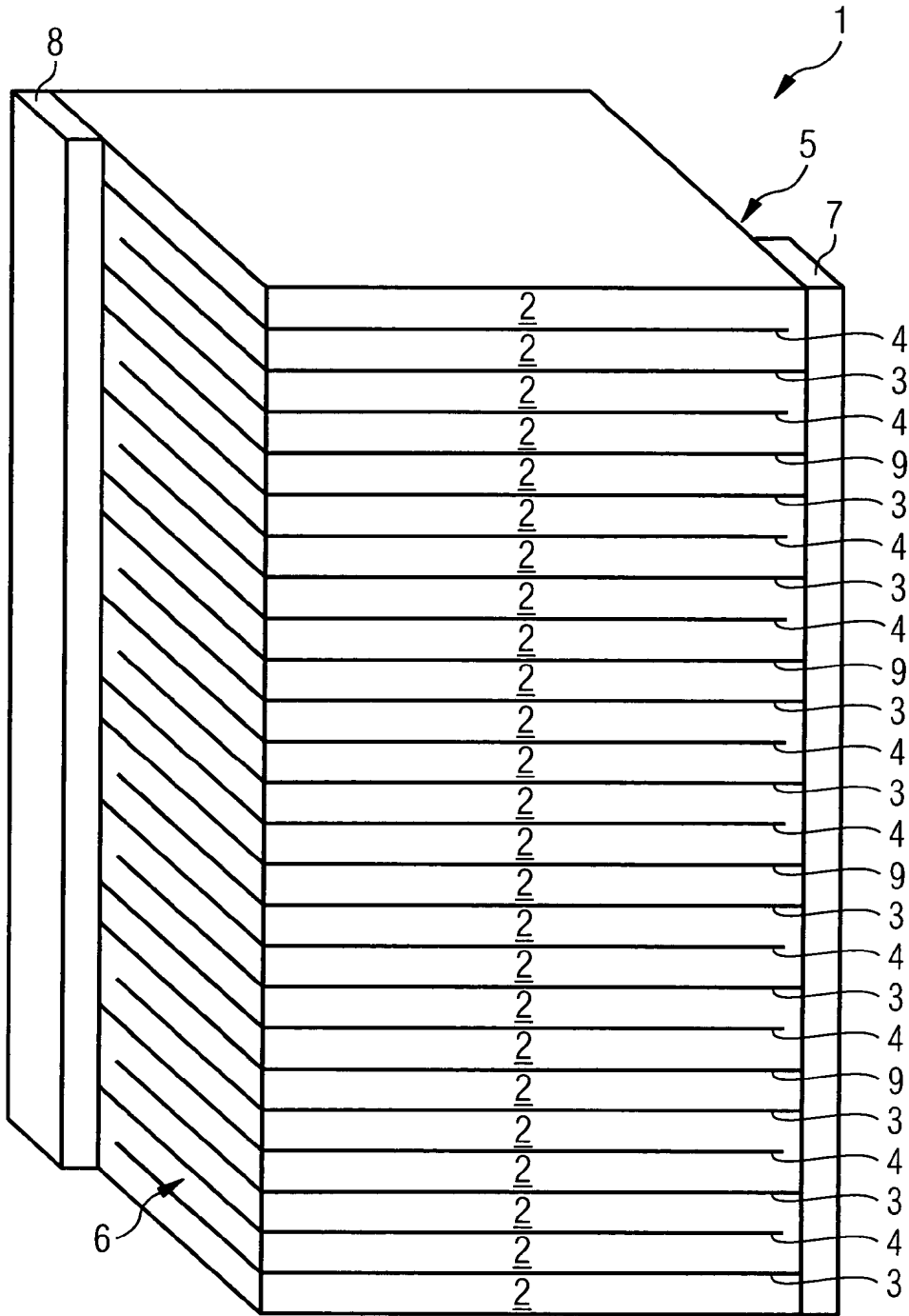


FIG 2

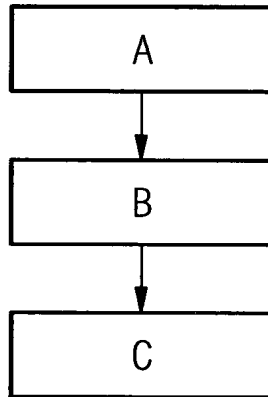


FIG 3

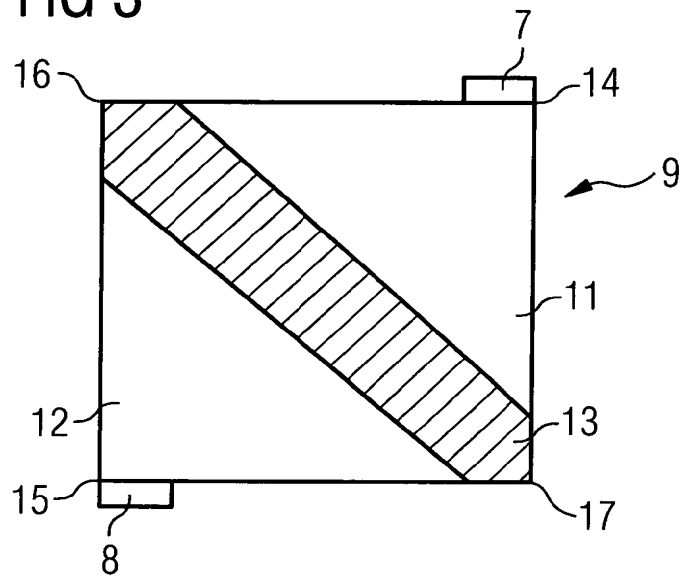


FIG 4

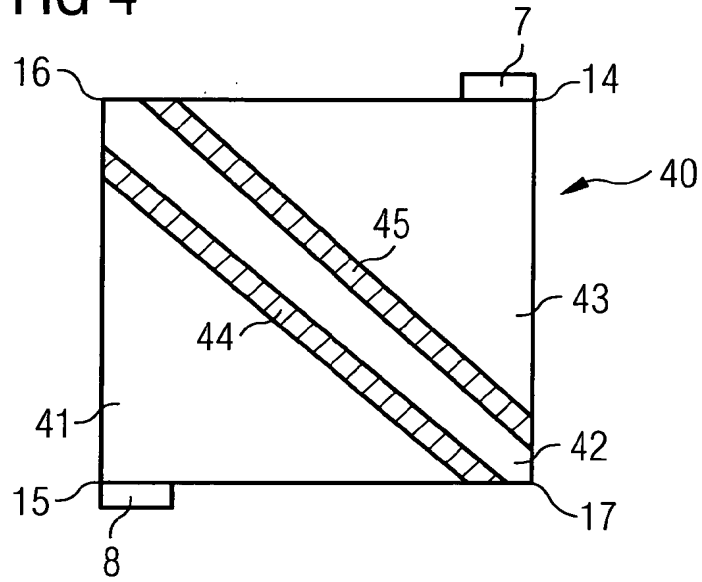


FIG 5

