



(10) **DE 10 2016 204 308 A1** 2017.09.21

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 204 308.0**  
 (22) Anmeldetag: **16.03.2016**  
 (43) Offenlegungstag: **21.09.2017**

(51) Int Cl.: **H01L 41/083** (2006.01)  
**H01L 41/047** (2006.01)  
**H01L 41/273** (2013.01)

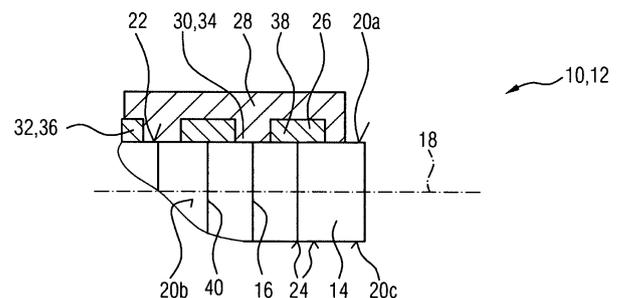
|  |   |           |                        |           |           |                        |           |           |                        |           |           |                         |           |           |                     |          |
|--|---|-----------|------------------------|-----------|-----------|------------------------|-----------|-----------|------------------------|-----------|-----------|-------------------------|-----------|-----------|---------------------|----------|
| <p>(71) Anmelder:<br/> <b>Continental Automotive GmbH, 30165 Hannover, DE</b></p> <p>(72) Erfinder:<br/> <b>Zumstrull, Claus, 93128 Regenstauf, DE</b></p> | <p>(56) Ermittelter Stand der Technik:</p> <table> <tr> <td><b>DE</b></td> <td><b>10 2012 106 425</b></td> <td><b>A1</b></td> </tr> <tr> <td><b>DE</b></td> <td><b>10 2012 207 276</b></td> <td><b>A1</b></td> </tr> <tr> <td><b>DE</b></td> <td><b>20 2014 100 666</b></td> <td><b>U1</b></td> </tr> <tr> <td><b>US</b></td> <td><b>2001 / 0 047 796</b></td> <td><b>A1</b></td> </tr> <tr> <td><b>JP</b></td> <td><b>S59- 122 200</b></td> <td><b>A</b></td> </tr> </table> | <b>DE</b> | <b>10 2012 106 425</b> | <b>A1</b> | <b>DE</b> | <b>10 2012 207 276</b> | <b>A1</b> | <b>DE</b> | <b>20 2014 100 666</b> | <b>U1</b> | <b>US</b> | <b>2001 / 0 047 796</b> | <b>A1</b> | <b>JP</b> | <b>S59- 122 200</b> | <b>A</b> |
| <b>DE</b>  | <b>10 2012 106 425</b>  | <b>A1</b> |                        |           |           |                        |           |           |                        |           |           |                         |           |           |                     |          |
| <b>DE</b>  | <b>10 2012 207 276</b>  | <b>A1</b> |                        |           |           |                        |           |           |                        |           |           |                         |           |           |                     |          |
| <b>DE</b>  | <b>20 2014 100 666</b>  | <b>U1</b> |                        |           |           |                        |           |           |                        |           |           |                         |           |           |                     |          |
| <b>US</b>  | <b>2001 / 0 047 796</b>   | <b>A1</b> |                        |           |           |                        |           |           |                        |           |           |                         |           |           |                     |          |
| <b>JP</b>  | <b>S59- 122 200</b>   | <b>A</b>  |                        |           |           |                        |           |           |                        |           |           |                         |           |           |                     |          |

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Piezoelektrisches Aktuatorbauelement und Herstellungsverfahren zum Herstellen eines piezoelektrischen Aktuatorbauelementes**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein piezoelektrisches Aktuatorbauelement (10) mit einer Passivierungsschicht (26) und einer Kontaktierungsschicht (28) zum elektrischen Isolieren bzw. elektrischen Ankontaktieren von Elektrodenschichten (16), wobei die Kontaktierungsschicht (28) durch ein Sintersilber (34) gebildet ist und die Passivierungsschicht (26) zumindest bereichsweise bedeckt, wobei die Passivierungsschicht (26) durch ein Passivierungsschichtmaterial (36) gebildet ist, das bei der Sintertemperatur des Sintersilbers (34) thermisch stabil ist. Weiter betrifft die Erfindung ein Herstellungsverfahren zum Herstellen eines solchen piezoelektrischen Aktuatorbauelementes (10).



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein piezoelektrisches Aktuatorbauelement sowie ein Herstellungsverfahren zum Herstellen eines solchen piezoelektrischen Aktuatorbauelementes.

**[0002]** Piezoelektrische Aktuatorbauelemente werden beispielsweise als elektronische Bauteile in Aktuatoreinheiten zum Einspritzen von Kraftstoff in einen Brennraum eines Zylinders einer Brennkraftmaschine verwendet.

**[0003]** Diese Aktuatorbauelemente weisen zumindest einen Schichtstapel aus einer Mehrzahl an piezoelektrischen Keramiksichten und einer Mehrzahl an Elektroden-schichten auf, die abwechselnd entlang einer Längsachse übereinander gestapelt sind, so dass zwischen zwei Keramiksichten jeweils eine Elektroden-schicht angeordnet ist und somit eine sogenannte Innenelektrode bildet. Diese Innenelektroden werden von außen elektrisch ankontaktiert, um eine Spannung anzulegen, sodass sich über den Piezoeffekt die Keramiksichten entlang der Längsachse ausdehnen und zusammenziehen können. Derartige piezoelektrische Aktuatorbauelemente werden besonders häufig als Piezoaktoren verwendet, um als Betätigungselemente in Einspritzventilen der verschiedensten Motortypen für Kraftfahrzeuge zur Anwendung zu kommen.

**[0004]** Die elektrische Kontaktierung der Elektroden-schichten als Innenelektroden solcher Aktuatorbauelemente wird mit zunehmenden Anforderungen an das Aktuatorbauelement wie beispielsweise höheren vorherrschenden Temperaturen, einer größeren Anzahl an Einspritzungen in kürzerer Zeit, höheren mechanischen Belastungen usw., thermisch, elektrisch und mechanisch immer stärker belastet. Dabei wirken diese erhöhten Anforderungen und Belastungen sowohl an einer Passivierungsschicht, die jede zweite Elektroden-schicht entlang der Längsachse elektrisch isoliert, als auch an stromführenden Ankontaktierungen jeder zweiten nicht elektrisch isolierten Elektroden-schicht.

**[0005]** Bislang ist es bekannt, solche Ankontaktierungen der Elektroden-schichten über einen Leitkleber zu realisieren. Leitkleber hat insgesamt eine geringe Stromtragfähigkeit und eine relativ schlechte Wärmeleitfähigkeit. Zudem besteht ein relativ hoher Übergangswiderstand zwischen dem verwendeten Leitkleber und den Elektroden-schichten.

**[0006]** Dadurch können Aktuatorbauelemente, bei denen die Elektroden-schichten über Leitkleber ankontaktiert werden, den zunehmenden Anforderungen und Belastungen immer schlechter standhalten.

**[0007]** Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein piezoelektrisches Aktuatorbauelement und ein entsprechendes Herstellungsverfahren vorzuschlagen, bei dem diese Nachteile überwunden werden können.

**[0008]** Diese Aufgabe wird mit einem piezoelektrischen Aktuatorbauelement mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs 1 gelöst.

**[0009]** Ein Herstellungsverfahren zum Herstellen eines solchen piezoelektrischen Aktuatorbauelementes ist Gegenstand des nebengeordneten Anspruchs.

**[0010]** Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

**[0011]** Ein piezoelektrisches Aktuatorbauelement weist einen Schichtstapel aus piezoelektrischen Keramiksichten und Elektroden-schichten auf, die abwechselnd entlang einer Längsachse übereinander gestapelt sind, wobei der Schichtstapel mehrere sich parallel zu der Längsachse erstreckende Seitenflächen aufweist. Weiter ist eine Passivierungsschicht an wenigstens einer der Seitenflächen zum elektrischen Isolieren jeder zweiten entlang der Längsachse angeordneten Elektroden-schicht und eine Kontaktierungsschicht an der wenigstens einen Seitenfläche zum elektrischen Kontaktieren jeder zweiten, nicht durch die Passivierungsschicht elektrisch isolierten Elektroden-schicht vorgesehen, wobei die Passivierungsschicht an jeder der elektrisch isolierten Elektroden-schichten zumindest bereichsweise von der Kontaktierungsschicht bedeckt ist und wobei die Kontaktierungsschicht durch ein Sintersilber gebildet ist, und wobei die Passivierungsschicht durch ein Passivierungsschichtmaterial gebildet ist, das bei der Sinter-temperatur des Sintersilbers thermisch stabil ist.

**[0012]** Demgemäß wird vorgeschlagen, den bisher verwendeten Leitkleber durch ein gesintertes Silber zu ersetzen, das eine bessere Temperaturleitfähigkeit sowie eine bessere elektrische Leitfähigkeit aufweist als der Leitkleber, wodurch ein Übergangswiderstand zwischen der Kontaktierungsschicht und den Elektroden-schichten in dem Schichtstapel und ein Durchgangswiderstand durch die Kontaktierungsschicht verbessert wird. Dadurch, dass eine Passivierungsschicht verwendet wird, die auch bei der Sinter-temperatur des Sintersilbers thermisch stabil ist, kann das piezoelektrische Aktuatorbauelement auch groß-technisch prozessiert werden.

**[0013]** In vorteilhafter Ausgestaltung ist die Passivierungsschicht durch ein Passivierungsschichtmaterial gebildet, das bis zu einer Temperatur von 350°C thermisch stabil ist, wobei die Passivierungsschicht insbesondere durch ein vollständig imidisiertes Polyimid gebildet ist.

**[0014]** Durch Verwendung von beispielsweise speziellen Additiven kann Silber schon bei Temperaturen unter 350° C gesintert und somit verarbeitet werden. Wird daher vorteilhaft beispielsweise ein Polyimid als Passivierungsschichtmaterial verwendet, das bei vollständiger Imidisierung auch bei 350° C thermisch noch stabil ist, ergibt sich so ein vorteilhaftes Temperaturfenster, bei dem das Passivierungsschichtmaterial und das Kontaktierungsschichtmaterial gemeinsam verarbeitet werden können.

**[0015]** Vorzugsweise ist der Schichtstapel als vollaktiver Schichtstapel ausgebildet, wobei sich alle entlang der Längsachse angeordneten Elektrodenschichten wenigstens an der wenigstens einen Seitenfläche im Wesentlichen bis zu einer Oberfläche des Schichtstapels erstrecken.

**[0016]** Vollaktive Schichtstapel haben große Vorteile hinsichtlich der Betätigung, Raumbeanspruchung und dem gesamten Betriebsverhalten eines piezoelektrischen Aktuatorbauelementes, da vorteilhaft eine gleichmäßigere Längsstreckung der Keramikschichten bei gleicher Raumbeanspruchung wie bei teilaktiven Schichtstapel erzielt werden kann.

**[0017]** In bevorzugter Ausgestaltung ist eine Oberfläche des Schichtstapels an der wenigstens einen Seitenfläche im Wesentlichen durch bündige Aneinanderreihung von an der wenigstens einen Seitenfläche angeordneten Stirnflächen der übereinandergestapelten Elektroden- und Keramikschichten ausgebildet, wobei die Oberfläche, insbesondere im Bereich der Passivierungsschicht, frei von sich in den Schichtstapel erstreckenden Gräben ausgebildet ist.

**[0018]** Vorteilhaft befindet sich so die Passivierungsschicht direkt an der Oberfläche des Schichtstapels, sodass keine Beeinträchtigung der vollaktiven Eigenschaften des Schichtstapels durch Grabenbildung im Bereich der Passivierungsschicht vorliegt, weil die volle Elektrodenfläche ausgenutzt werden kann.

**[0019]** Vorteilhaft ist die Passivierungsschicht als eine parallel zur Längsachse angeordnete Durchgangsschicht ausgebildet, die zum Freilegen der anzukontaktierenden Elektrodenschichten an jeder zweiten entlang der Längsachse angeordneten Elektrodenschicht einen, insbesondere durch Laserstrukturierung gebildeten, Kontaktierungsgraben aufweist. Alternativ kann die Passivierungsschicht auch aus an jeder zweiten entlang der Längsachse angeordneten Elektrodenschicht angeordneten Einzelpassivierungsschichten gebildet ist.

**[0020]** Durch Strukturierung der Passivierungsschicht kann so besonders einfach eine einzelne Schicht auf die Oberfläche des Schichtstapels an der wenigstens einen Seitenfläche aufgebracht werden, und dann einfach die anzukontaktierenden Elektro-

denerschichten beispielsweise durch eine Laserstrukturierung freigelegt werden. Dabei können die Elektrodenschichten so freigelegt werden, dass lediglich ein Teilbereich der anzukontaktierenden Elektrodenschicht freigelegt ist, und die Passivierungsschicht weiterhin mit Ausnahme von derart gebildeten Kontaktierungsgräben eine durchgehende Durchgangsschicht bildet, es ist jedoch auch möglich, die Elektrodenschichten vollständig freizulegen, sodass sich Einzelpassivierungsschichten an jeder der Elektrodenschichten bilden, die elektrisch isoliert sein soll.

**[0021]** Bevorzugt sind die Elektrodenschichten mit Silber, insbesondere mit einer Silberlegierung, gebildet.

**[0022]** Werden vorteilhaft Elektrodenschichten als Innenelektroden verwendet, die mit oder aus Silber, z.B. einer Silberlegierung, gebildet sind, kann so eine sehr gute Verbindung zwischen dem Sintersilber der Kontaktierungsschicht und den Innenelektroden erreicht werden.

**[0023]** Ein Herstellungsverfahren zum Herstellen eines piezoelektrischen Aktuatorbauelementes weist die folgenden Schritte auf:

- Bereitstellen eines Schichtstapels aus piezoelektrischen Keramikschichten und Elektrodenschichten, die abwechselnd entlang einer Längsachse übereinandergestapelt sind, wobei der Schichtstapel mehrere sich parallel zu der Längsachse erstreckende Seitenflächen aufweist;
- Bilden einer elektrisch isolierenden Passivierungsschicht aus einem Passivierungsschichtmaterial an wenigstens einer der Seitenflächen;
- Strukturieren, insbesondere Laserstrukturieren, der Passivierungsschicht zum Freilegen jeder zweiten entlang der Längsachse angeordneten Elektrodenschicht an der wenigstens einen Seitenfläche;
- Beschichten der strukturierten Passivierungsschicht mit einem Sintersilber;
- Sintern des Sintersilbers.

**[0024]** Vorzugsweise wird als Passivierungsschichtmaterial ein Polyimid verwendet, wobei vor dem Beschichten der wenigstens einen Seitenfläche mit dem Sintersilber das Polyimid insbesondere vollständig imidisiert wird.

**[0025]** In vorteilhafter Ausgestaltung wird als Schichtstapel ein vollaktiver Schichtstapel bereitgestellt, bei dem sich alle entlang der Längsachse angeordneten Elektrodenschichten wenigstens an der wenigstens einen Seitenfläche im Wesentlichen bis zu einer Oberfläche des Schichtstapels erstrecken.

**[0026]** Wird die strukturierte Passivierungsschicht so mit Sintersilber beschichtet, dass sie vollflächig mit dem Sintersilber bedeckt ist, ist es vorteilhaft, wenn

sich die Passivierungsschicht vollständig über die Oberfläche der wenigstens einen Seitenfläche erstreckt, sodass vorteilhaft keine Überschlüge im Betrieb des Aktuatorbauelementes vorkommen.

**[0027]** Vorteilhaft bildet das Sintersilber auf der Passivierungsschicht eine vollflächige Kontaktierungsschicht ohne Unterbrechungen und ohne Strukturierung, sodass dort vorteilhaft eine einfache Weiterkontaktierung zum Beispiel durch Anbringen einer Sammelelektrode möglich ist.

**[0028]** Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung wird nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Darin zeigt:

**[0029]** Fig. 1 eine Längsschnittdarstellung eines piezoelektrischen Aktuatorbauelementes;

**[0030]** Fig. 2 eine um 90° gedrehte Ansicht des Aktuatorbauelementes aus Fig. 1;

**[0031]** Fig. 3 eine perspektivische Ansicht des Aktuatorbauelementes aus Fig. 1 und Fig. 2; und

**[0032]** Fig. 4 ein schematisches Flussdiagramm, das die Herstellungsschritte zum Herstellen des piezoelektrischen Aktuatorbauelementes aus den Fig. 1 bis Fig. 3 darstellt.

**[0033]** Fig. 1 zeigt eine Längsschnittdarstellung eines piezoelektrischen Aktuatorbauelementes **10**, das einen Schichtstapel **12** aufweist, welcher aus piezoelektrischen Keramiksichten **14** und Elektroden-schichten **16** aufgebaut ist, die entlang einer Längsachse **18** abwechselnd aufeinandergestapelt sind, sodass jede Elektroden-schicht **16** zwischen zwei piezoelektrischen Keramiksichten **14** angeordnet ist.

**[0034]** Der Schichtstapel **12** weist mehrere Seitenflächen **20a–20d** auf, die sich parallel zu der Längsachse **18** erstrecken.

**[0035]** An zwei sich gegenüberliegenden Seitenflächen **20a, c** ist eine Oberfläche **22** des Schichtstapels **12** dadurch gebildet, dass sich Stirnflächen **24** der übereinandergestapelten Elektroden- und Keramiksichten **14, 16** entlang der Längsachse **18** bündig aneinander reihen.

**[0036]** Insgesamt ist der Schichtstapel **12** als vollaktiver Schichtstapel **12** ausgebildet, das heißt, die Elektroden-schichten **16** bedecken senkrecht zu der Längsachse **18** vollflächig die jeweils benachbarten Keramiksichten **14** derart, dass sie sich an den Seitenflächen **20a–20d** des Schichtstapels **12** bis zu der Oberfläche **22** erstrecken, und somit aus dem Schichtstapel **12** hervortreten. Ein vollaktiver Schichtstapel **12** hat den Vorteil, dass bei kleinerer Raumbeanspruchung wenigstens ein gleiches Ausdehnungs-

verhalten wie oder sogar noch ein größeres Ausdehnungsverhalten kann als bei Schichtstapeln **12** erzielt werden, die nicht vollaktiv sind, das heißt, bei denen die Elektroden-schichten **16** abwechselnd von einer Oberfläche **22** des Schichtstapels **12** ausgehend in den Schichtstapel **12** hinein zurückversetzt angeordnet sind.

**[0037]** Um bei einer Ankontaktierung der Elektroden-schichten **16** von außen einen Überschlag zwischen benachbarten Elektroden-schichten **16**, die unterschiedliche Potentiale aufweisen, zu vermeiden, ist an zwei sich gegenüberliegenden Seitenflächen **20a, c** eine Passivierungsschicht **26** auf der Oberfläche **22** angeordnet, über die jede zweite entlang der Längsachse **18** angeordnete Elektroden-schicht **16** von außen elektrisch isoliert ist. Auf der Passivierungsschicht **26** ist zum elektrischen Kontaktieren der Elektroden-schichten **16** auf den beiden Seitenflächen **20a, c** eine Kontaktierungsschicht **28** aufgebracht.

**[0038]** Damit diese Kontaktierungsschicht **28** die Elektroden-schichten **16** kontaktieren kann, die sie kontaktieren soll, sind in der Passivierungsschicht **26** Kontaktierungsgräben **30** eingebracht, beispielsweise durch Laserstrukturierung, sodass diese anzukontaktierenden Elektroden-schichten **16** freigelegt sind.

**[0039]** In den Längsschnittdarstellung in Fig. 1 und Fig. 2 sind diese Kontaktierungsgräben **30** von der Seite zu sehen, in Fig. 3 in einer perspektivischen Darstellung. Es ist möglich, dass die Kontaktierungsgräben **30**, wie dies in der in Fig. 3 gezeigten Darstellung gezeigt ist, in einer als Durchgangsschicht **32** gebildeten Passivierungsschicht **26** einstrukturiert sind, es ist jedoch auch möglich, dass die Passivierungsschicht **26** nicht als durchgängige Durchgangsschicht **32** gebildet ist, sondern dass auf jeder zu isolierenden Elektroden-schichten **16** eine eigene Einzelpassivierungsschicht aufgebracht ist, die nicht mit den benachbarten Einzelpassivierungsschichten zusammenhängt.

**[0040]** Wie in Fig. 3 zu sehen ist, ist die Kontaktierungsschicht **28** genau in dem Bereich auf die Passivierungsschicht **26** aufgebracht, in dem die Kontaktierungsgräben **30** zum Freilegen der anzukontaktierenden Elektroden-schichten **16** angeordnet sind. Die Passivierungsschicht **26** ist daher zumindest bereichsweise von der Kontaktierungsschicht **28** bedeckt.

**[0041]** Wenn, wie in Fig. 3 gezeigt ist, die Passivierungsschicht **26** die senkrecht zu der Längsachse **18** an die Oberfläche **22** hervortretenden Elektroden-schichten **16** nicht vollflächig bedeckt, sondern bereichsweise freilässt, ist die Kontaktierungsschicht **28** vorteilhaft nur in dem Bereich der Kontaktierungsgräben **30** vorgesehen, um so einen Überschlag zwi-

schen benachbarten Elektrodenschichten **16** zu vermeiden.

**[0042]** In die Kontaktierungsschicht **28** werden später Weiterkontaktierungen eingelegt, beispielsweise Kontaktierungspins, über die dann von außen eine Spannung an die jeweiligen kontaktierten Elektrodenschichten **16** angelegt werden kann. Um eine besonders stabile Ankontaktierung zu erreichen, die die zunehmenden Anforderungen an piezoelektrische Aktuatorbauelemente **10**, wie sie beispielsweise in Injektoren von Brennkraftmaschinen verbaut sind, erfüllen, und bei denen hohe Temperaturen und hohe mechanische Belastungen vorliegen, ist die Kontaktierungsschicht **28** durch ein Sintersilber **34** gebildet. Sintersilber **34** hat den Vorteil, dass es eine sehr gute Temperaturleitfähigkeit und eine sehr gute elektrische Leitfähigkeit hat, wodurch ein Übergangswiderstand zu den Elektrodenschichten **16** und der Durchgangswiderstand durch die Kontaktierungsschicht **28** verbessert werden kann. Dadurch weist die Ankontaktierung der Elektrodenschichten **16** insgesamt eine gute thermische, elektrische und mechanische Widerstandskraft gegen hohe Belastungen auf.

**[0043]** Das Sintersilber **34** fließt in die Kontaktierungsgräben **30** und kommt so in direkten Kontakt mit den freigelegten Elektrodenschichten **16**. Das Sintersilber **34** wird danach durch einen Sinterschritt verfestigt, sodass sich die stabile Kontaktierungsschicht **28** ausbildet. Das Sintern erfolgt dabei bei Temperaturen zumeist unter 350° C.

**[0044]** Da die Passivierungsschicht **26** bereits vor dem Sinterschritt des Sintersilbers **34** auf den Schichtstapel **12** aufgebracht ist, ist es wichtig, dass das Passivierungsschichtmaterial **36**, aus dem die Passivierungsschicht **26** gebildet wird, bei der Sintertertemperatur des Sintersilbers **34** thermisch stabil ist. Dazu wird vorteilhaft Polyimid **38** als Passivierungsschichtmaterial **36** verwendet, das bereits vor Aufbringen des Sintersilbers **34** vollständig imidisiert ist. Das bedeutet, die Polymerisationsreaktion aus einem Polyimid-Precursor, aus dem durch die Polymerisation das Polyimid **38** gebildet wird, hat schon zuvor stattgefunden. Ein solches vollständig imidisierendes Polyimid **38** ist vorteilhaft bis zu einer Temperatur von 350° C thermisch stabil und hat somit eine ausreichende thermische Widerstandskraft gegen die Sintertertemperatur des Sintersilbers **34**.

**[0045]** Es ist daher möglich, durch die vorteilhafte Kombination von Sintersilber **34** als Kontaktierungsschichtmaterial und Polyimid **38** als Passivierungsschichtmaterial **36** den Schichtstapel **12** schichtweise von innen nach außen aufzubauen.

**[0046]** Bei bisherigen Versuchen, Sintersilber **34** als vorteilhaftes Ankontaktierungsmaterial zu verwenden, bestand die Problematik, dass die bisher ver-

wendeten Materialien zum Bilden der Passivierungsschicht **26** thermisch nicht stabil waren, sodass aufwendige Prozessschritte angewendet werden mussten, bei denen, zum Beispiel durch Bildung entsprechender Gräben, in dem Schichtstapel **12** eine aufgebrauchte Sintersilberschicht mit dem Passivierungsschichtmaterial **36** unterschichtet werden musste, um zu verhindern, dass das Passivierungsschichtmaterial **36** der Sintertertemperatur des Sintersilbers **34** ausgesetzt wird. Durch Vorsehen solcher Gräben gehen jedoch die vollaktiven Eigenschaften des Schichtstapels **12** verloren. Im Gegensatz dazu können diese vollaktiven Eigenschaften bei der Verwendung von Polyimid **38** als Passivierungsschichtmaterial **36** erhalten bleiben, da dieses nicht in extra gebildete Gräben das Sintersilber **34** unterschichten muss, weil das Sintersilber **34** nach Aufbringen des Polyimides **38** aufgesintert werden kann.

**[0047]** Um eine sehr gute Verbindung zwischen den Elektrodenschichten **16** und dem Sintersilber **34** als Kontaktierungsschicht **28** zu erzielen, ist es besonders vorteilhaft, wenn die Elektrodenschichten **16** mit bzw. aus einer Silberlegierung **40** gebildet sind.

**[0048]** Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung eines Flussdiagrammes eines Herstellungsverfahrens, mit dem das piezoelektrische Aktuatorbauelement **10** erzeugt wird. Dabei wird in einem ersten Schritt ein Schichtstapel **12** bereitgestellt, der entlang einer Längsachse **18** abwechselnd aufeinander geschichtete Keramikschichten **14** und Elektrodenschichten **16** aufweist. Dabei ist der Schichtstapel **12** insbesondere ein vollaktiver Schichtstapel **12**, bei dem sich die Elektrodenschichten **16** bis an die Oberfläche **22** des Schichtstapels **12** erstrecken.

**[0049]** In einem zweiten Schritt wird dann auf wenigstens eine Seitenfläche **20** des Schichtstapels **12** das Passivierungsschichtmaterial **36** aufgebracht, beispielsweise ein Polyimid-Precursor, aus dem durch eine Polymerisationsreaktion ein Polyimid **38** gebildet werden kann. In einem dritten Schritt wird dann das Passivierungsschichtmaterial **36** ausgehärtet, beispielsweise bei der Verwendung von Polyimid **38** durch die vollständige Imidisierung. Dieser Schritt ist jedoch nur optional, es ist auch möglich, einen bereits voll imidisierten Lack zu verwenden, sodass der Imidisierungsschritt nicht zwingend erfolgen muss.

**[0050]** Danach wird die Passivierungsschicht **26** strukturiert, beispielsweise durch Laserstrukturieren, sodass jede zweite entlang der Längsachse **18** angeordnete Elektrodenschicht **16** freigelegt wird, damit sie von außen ankontaktiert werden kann. Danach wird in einem weiteren Schritt die so strukturierte Passivierungsschicht **26** mit einem Sintersilber **34** beschichtet, und zwar derart, dass das Sintersilber **34** in die strukturierten Kontaktierungsgräben **30** in der Passivierungsschicht **26** einläuft. Am Ende wird dann

das Sintersilber **34** gesintert, um die Kontaktierungsschicht **28** auszuhärten und somit zu bilden.

### Patentansprüche

1. Piezoelektrisches Aktuatorbauelement (**10**), aufweisend:

- einen Schichtstapel (**12**) aus piezoelektrischen Keramikschichten (**14**) und Elektrodenschichten (**16**), die abwechselnd entlang einer Längsachse (**18**) übereinandergestapelt sind, wobei der Schichtstapel (**12**) mehrere sich parallel zu der Längsachse (**18**) erstreckende Seitenflächen (**20a–d**) aufweist;
  - eine Passivierungsschicht (**26**) an wenigstens einer der Seitenflächen (**20a–d**) zum elektrischen Isolieren jeder zweiten entlang der Längsachse (**18**) angeordneten Elektrodenschicht (**16**);
  - eine Kontaktierungsschicht (**28**) an der wenigstens einen Seitenfläche (**20a–d**) zum elektrischen Kontaktieren jeder zweiten, nicht durch die Passivierungsschicht (**26**) elektrisch isolierten Elektrodenschicht (**16**);
- wobei die Passivierungsschicht (**26**) an jeder der elektrisch isolierten Elektrodenschichten (**16**) zumindest bereichsweise von der Kontaktierungsschicht (**28**) bedeckt ist,
- wobei die Kontaktierungsschicht (**28**) durch ein Sintersilber (**34**) gebildet ist und wobei die Passivierungsschicht (**26**) durch ein Passivierungsschichtmaterial (**36**) gebildet ist, das bei der Sintertemperatur des Sintersilbers (**34**) thermisch stabil ist.

2. Piezoelektrisches Aktuatorbauelement (**10**) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Passivierungsschicht (**26**) durch ein Passivierungsschichtmaterial (**36**) gebildet ist, das bis zu einer Temperatur von 350°C thermisch stabil ist, wobei die Passivierungsschicht (**26**) insbesondere durch ein vollständig imidisiertes Polyimid (**38**) gebildet ist.

3. Piezoelektrisches Aktuatorbauelement (**10**) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Schichtstapel (**12**) als vollaktiver Schichtstapel (**12**) ausgebildet ist, wobei sich alle entlang der Längsachse (**18**) angeordneten Elektrodenschichten (**16**) wenigstens an der wenigstens einen Seitenfläche (**20a–d**) im Wesentlichen bis zu einer Oberfläche (**22**) des Schichtstapels (**12**) erstrecken.

4. Piezoelektrisches Aktuatorbauelement (**10**) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Oberfläche (**22**) des Schichtstapels (**12**) an der wenigstens einen Seitenfläche (**20a–d**) im Wesentlichen durch bündige Aneinanderreihung von an der wenigstens einen Seitenfläche (**20a–d**) angeordneten Stirnflächen (**24**) der übereinandergestapelten Elektroden- und Keramikschichten (**16**, **14**) ausgebildet ist, wobei die Oberfläche (**22**), insbesondere im Bereich der Passivierungsschicht (**26**),

frei von sich in den Schichtstapel (**12**) erstreckenden Gräben ausgebildet ist.

5. Piezoelektrisches Aktuatorbauelement (**10**) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Passivierungsschicht (**26**) als eine parallel zur Längsachse (**18**) angeordnete Durchgangsschicht (**32**) ausgebildet ist, die zum Freilegen der anzukontaktierenden Elektrodenschichten (**16**) an jeder zweiten entlang der Längsachse (**18**) angeordneten Elektrodenschicht (**16**) einen, insbesondere durch Laserstrukturierung gebildeten, Kontaktierungsgraben (**30**) aufweist, oder dass die Passivierungsschicht (**26**) aus an jeder zweiten entlang der Längsachse (**18**) angeordneten Elektrodenschicht (**16**) angeordneten Einzelpassivierungsschichten gebildet ist.

6. Piezoelektrisches Aktuatorbauelement (**10**) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Elektrodenschichten (**16**) mit Silber, insbesondere mit einer Silberlegierung (**40**), gebildet sind.

7. Herstellungsverfahren zum Herstellen eines piezoelektrischen Aktuatorbauelements (**10**), insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 6, aufweisend die Schritte:

- Bereitstellen eines Schichtstapels (**12**) aus piezoelektrischen Keramikschichten (**14**) und Elektrodenschichten (**16**), die abwechselnd entlang einer Längsachse (**18**) übereinandergestapelt sind, wobei der Schichtstapel (**12**) mehrere sich parallel zu der Längsachse (**18**) erstreckende Seitenflächen (**20a–d**) aufweist;
- Bilden einer elektrisch isolierenden Passivierungsschicht (**26**) aus einem Passivierungsschichtmaterial (**36**) an wenigstens einer der Seitenflächen (**20a–d**);
- Strukturieren, insbesondere Laserstrukturieren, der Passivierungsschicht (**26**) zum Freilegen jeder zweiten entlang der Längsachse (**18**) angeordneten Elektrodenschicht (**16**) an der wenigstens einen Seitenfläche (**20a–d**);
- Beschichten der strukturierten Passivierungsschicht (**26**) mit einem Sintersilber (**34**);
- Sintern des Sintersilbers (**34**).

8. Herstellungsverfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Passivierungsschichtmaterial (**26**) ein Polyimid (**38**) verwendet wird, wobei vor dem Beschichten der wenigstens einen Seitenfläche (**20a–d**) mit dem Sintersilber (**34**) das Polyimid (**38**) insbesondere vollständig imidisiert wird.

9. Herstellungsverfahren nach einem der Ansprüche 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Schichtstapel (**12**) ein vollaktiver Schichtstapel (**12**) bereitgestellt wird, bei dem sich alle entlang der Längsachse (**18**) angeordneten Elektrodenschichten

(16) wenigstens an der wenigstens einen Seitenfläche (20a-d) im Wesentlichen bis zu einer Oberfläche (22) des Schichtstapels (12) erstrecken.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen



FIG 2

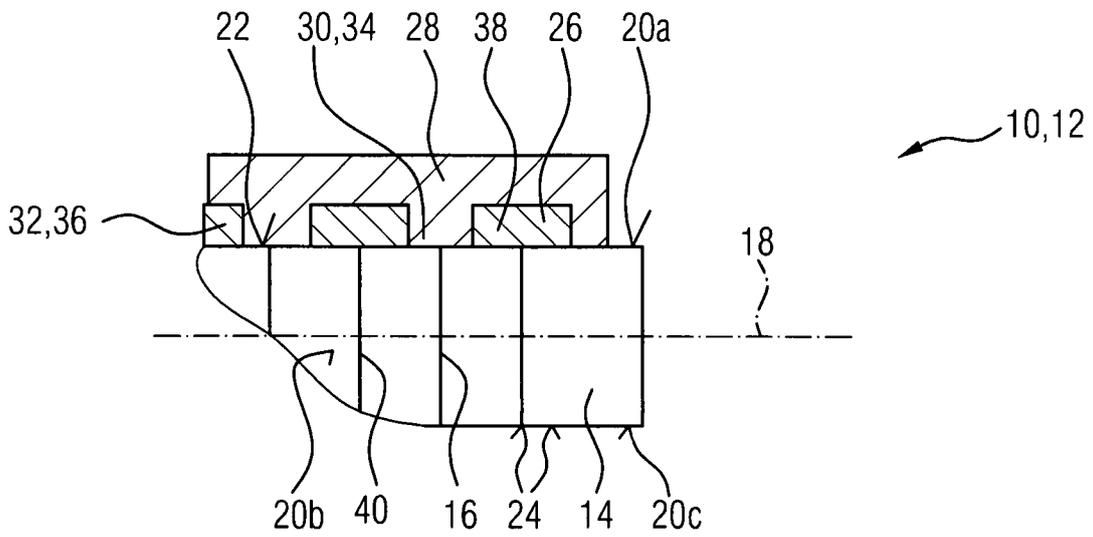


FIG 3

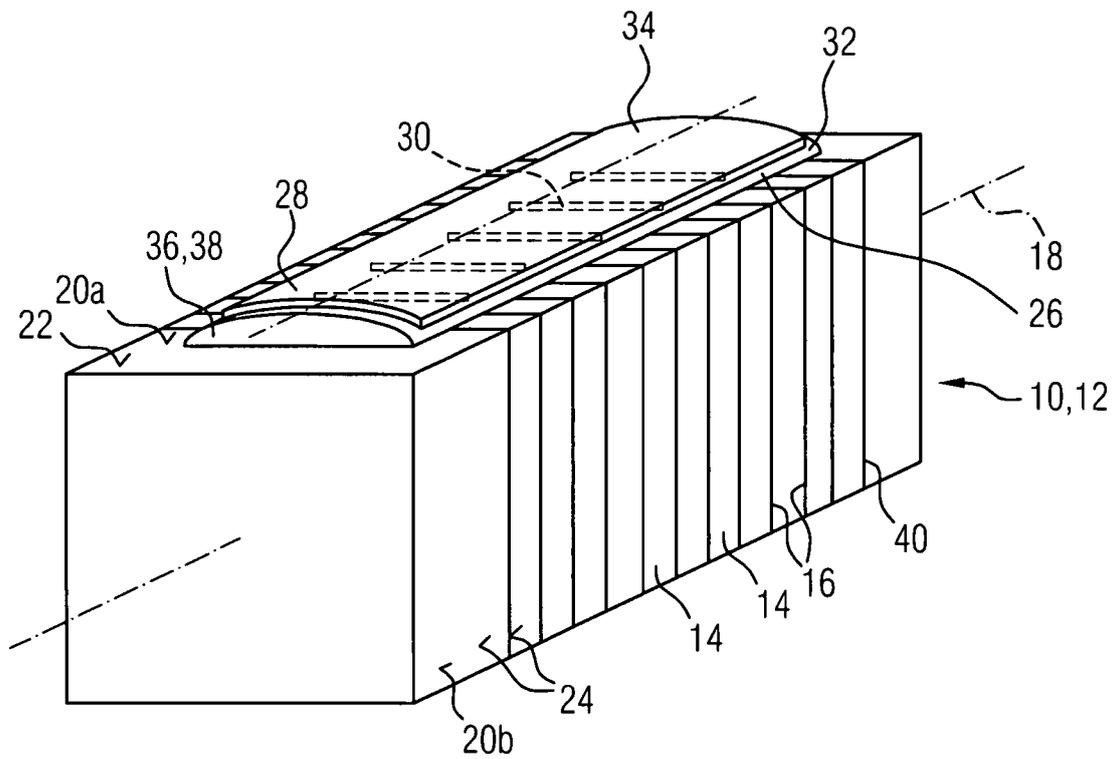


FIG 4

