



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2012 107 343.0**
(22) Anmeldetag: **09.08.2012**
(43) Offenlegungstag: **13.02.2014**

(51) Int Cl.: **H01L 41/083** (2006.01)
H02N 2/02 (2006.01)
H02N 2/04 (2006.01)
H01L 41/253 (2013.01)

(71) Anmelder:
EPCOS AG, 81669, München, DE

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

(72) Erfinder:
Galler, Martin, Dr., Graz, AT

(56) Ermittelter Stand der Technik:

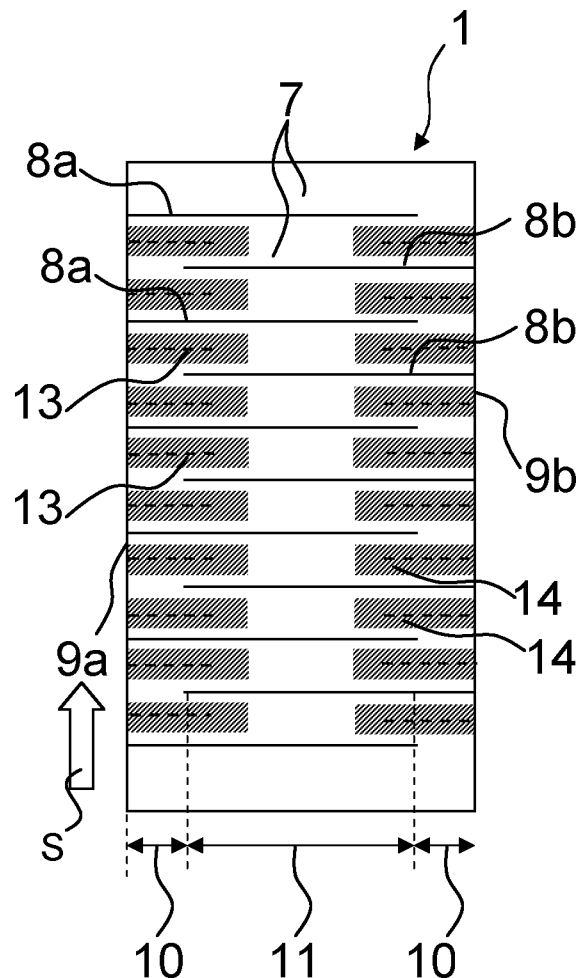
DE	102 34 787	C1
DE	100 28 335	A1
DE	10 2007 037 554	A1
US	2007 / 0 269 667	A1
EP	1 532 696	B1
WO	2007/ 012 484	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Polung eines Vielschichtbauelements und Vielschichtbauelement**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zur Polung eines Vielschichtbauelements angegeben. Das Verfahren umfasst in einem Schritt A die Bereitstellung eines Grundkörpers (1) des Vielschichtbauelements, aufweisend piezoelektrische Schichten (7) und interne Elektrodenschichten (8a, 8b). Des Weiteren wird in einem Schritt B eine erste Polungsspannung (6) für einen ersten vorgegebenen Zeitraum zwischen den internen Elektrodenschichten (8a, 8b) angelegt. In einem Schritt C wird eine zweite Polungsspannung (15) für einen zweiten vorgegebenen Zeitraum zwischen die internen Elektrodenschichten (8a, 8b) angelegt. Es wird außerdem ein Vielschichtbauelement angegeben, welches einen Grundkörper (1) mit piezoelektrischen Schichten (7) und internen Elektrodenschichten (8a, 8b) aufweist und welches Bereiche mit reduzierter Bruchfestigkeit (14) im Vergleich zu anderen Bereichen des Grundkörpers (1) aufweist. Des Weiteren weist der Grundkörper Risse (13) auf, welche sich in den Bereichen reduzierter Bruchfestigkeit (14) befinden.



Beschreibung

[0001] Es wird ein Verfahren zur Herstellung eines Vielschichtbauelements sowie ein Vielschichtbauelement angegeben. Beispielsweise ist das Vielschichtbauelement ein Piezoaktor, der zum Betätigen eines Einspritzventils in einem Kraftfahrzeug eingesetzt werden kann. Alternativ kann das Vielschichtbauelement beispielsweise ein Vielschichtkondensator sein.

[0002] Es ist eine zu lösende Aufgabe, ein verbessertes Verfahren zur Herstellung eines Vielschichtbauelements und ein Vielschichtbauelement mit verbesserten Eigenschaften anzugeben.

[0003] Es wird ein Verfahren zur Herstellung eines Vielschichtbauelements angegeben. Das Verfahren umfasst die Bereitstellung eines Grundkörpers des Vielschichtbauelements, aufweisend piezoelektrische Schichten und interne Elektrodenschichten. Des Weiteren wird eine erste Polungsspannung für einen ersten vorgegebenen Zeitraum zwischen den internen Elektrodenschichten angelegt. In einem weiteren Schritt wird eine zweite Polungsspannung für einen zweiten vorgegebenen Zeitraum zwischen die internen Elektrodenschichten angelegt.

[0004] Beispielsweise sind die piezoelektrischen Schichten und internen Elektrodenschichten entlang einer Stapelrichtung gestapelt. Die Stapelrichtung entspricht vorzugsweise einer Längsrichtung des Grundkörpers. Vorzugsweise sind piezoelektrische Schichten und interne Elektrodenschichten alternierend übereinander gestapelt.

[0005] Die Polung des Grundkörpers, insbesondere das Anlegen einer Polungsspannung an den Grundkörper des Vielschichtbauelements dient vorzugsweise der Einstellung von elektro-mechanischen Eigenschaften des Vielschichtbauelements. Beispielsweise kann das Verhältnis zwischen einer angelegten Spannung und einem Hub des Vielschichtbauelements festgelegt werden. Die Polungsspannung wird vor der regulären Inbetriebnahme des Vielschichtbauelements angelegt. In einer bevorzugten Ausführungsform werden die erste Polungsspannung und die zweite Polungsspannung aufeinanderfolgend angelegt. Vorzugsweise sind die erste Polungsspannung und die zweite Polungsspannung voneinander verschieden. Die Polung wird vorzugsweise bei einer erhöhten Temperatur vorgenommen.

[0006] Gemäß einer Ausführungsform weist der Grundkörper Bereiche mit reduzierter Bruchfestigkeit im Vergleich zu anderen Bereichen des Grundkörpers auf. Solche Bereiche können sich durch den Vielschichtaufbau ergeben. Zum Beispiel kann ein solcher Bereich mit reduzierter Bruchfestigkeit an einer Grenzfläche zwischen einer internen Elektroden-

schicht und einer dielektrischen Schicht auftreten. Alternativ können solche Bereiche gezielt als Sollbruchstellen in den Stapel eingebaut werden. Insbesondere können solche Bereiche als Lagen mit erhöhter Porosität in den Stapel eingebaut werden.

[0007] Beispielsweise können die piezoelektrischen Schichten ein keramisches Material, insbesondere ein piezokeramisches Material aufweisen. Zur Herstellung des Grundkörpers können Grünfolien verwendet werden, auf die zur Bildung von internen Elektrodenschichten beispielsweise eine Metallpaste aufgebracht wird. Beispielsweise wird die Metallpaste in einem Siebdruckverfahren aufgebracht. Die Metallpaste kann Kupfer enthalten. Alternativ kann die Metallpaste Silberpalladium enthalten. Nach dem Aufbringen der Metallpaste werden die Folien vorzugsweise gestapelt, verpresst und gemeinsam gesintert, sodass ein monolithischer Sinterkörper entsteht. Vorzugsweise wird der Grundkörper des Bauelements durch einen monolithischen Sinterkörper gebildet, beispielsweise durch einen wie vorhergehend beschrieben hergestellten Sinterkörper.

[0008] Die Elektrodenpaste wird beispielsweise so aufgebracht, dass die Elektrodenschichten in Stapelrichtung gesehen abwechselnd bis zu einer Außenseite des Stapels reichen und von der gegenüberliegenden Außenseite des Stapels beabstandet sind. In diesem Fall können bei einer auf einer Außenseite angeordneten Außenelektrode die Elektrodenschichten abwechselnd mit der Außenelektrode elektrisch verbunden sein oder von dieser elektrisch isoliert sein. Bei dieser Anordnung der internen Elektrodenschichten ergeben sich sogenannte inaktive Zonen, in denen sich die in Stapelrichtung gesehen benachbarten Elektrodenschichten mit einer unterschiedlichen Polarität nicht überlappen, und aktive Zonen, in denen sich die in Stapelrichtung gesehen benachbarten Elektrodenschichten mit einer unterschiedlichen Polarität überlappen.

[0009] Beispielsweise ist das Vielschichtbauelement als piezoelektrisches Bauelement, zum Beispiel als Piezoaktor ausgebildet. Bei einem Piezoaktor dehnen sich beim Anlegen einer Spannung an die internen Elektrodenschichten zwischen den internen Elektrodenschichten angeordnete piezoelektrische Schichten aus, sodass ein Hub des Piezoaktors erzeugt wird.

[0010] Das Vielschichtbauelement kann auch als ein anderes Bauelement ausgebildet sein, beispielsweise als Vielschichtkondensator.

[0011] Gemäß einer Ausführungsform werden die erste und die zweite Polungsspannung über einen vorgegebenen Zeitraum in Form von elektrischen Einzelpulsen zwischen die internen Elektrodenschichten angelegt. Bei dem Anlegen einer Po-

lungsspannung über einen vorgegebenen Zeitraum spricht man auch von einer Polungsstufe. Beispielsweise wird in einer Polungsstufe eine Vielzahl von elektrischen Einzelpulsen angelegt. Beispielsweise können die Einzelpulse einer Polungsstufe die gleiche Höhe haben. Beispielsweise dauert ein Einzelpuls zwischen 1 ms und 8 ms. Insbesondere können die Einzelpulse den Pulsen entsprechen, welche während der späteren Anwendung des Vielschichtbauelements, beispielsweise in einem Einspritzventil, auf das Vielschichtbauelement wirken. Alternativ kann die Polungsspannung als kontinuierliche Spannung angelegt werden. Beispielsweise liegt die erste Polungsspannung in einem Bereich um die Koerzitivspannung des Grundkörpers. Insbesondere kann sich die Koerzitivspannung aus dem Produkt der Schichtdicke der piezoelektrischen Schichten des Grundkörpers und der Koerzitivfeldstärke des Grundkörpers ergeben. Insbesondere entspricht die erste Polungsspannung dem Produkt der Schichtdicke der piezoelektrischen Schichten und der Koerzitivfeldstärke.

[0012] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist die zweite Polungsspannung größer als die erste Polungsspannung. Die zweite angelegte Polungsspannung kann beispielsweise in einem Bereich liegen, welcher der Betriebsspannung in einer späteren Anwendung entspricht.

[0013] Die zweite Polungsspannung kann für einen zweiten vorgegebenen Zeitraum angelegt werden, dessen Länge wenigstens so groß ist wie die Länge des ersten vorgegebenen Zeitraums. Beispielsweise kann die Länge des zweiten vorgegebenen Zeitraums der Länge des ersten vorgegebenen Zeitraums entsprechen. Alternativ kann die Länge des zweiten vorgegebenen Zeitraums größer sein als die Länge des ersten vorgegebenen Zeitraums. Beispielsweise kann die Länge des zweiten vorgegebenen Zeitraums der doppelten Länge des ersten vorgegebenen Zeitraums entsprechen. Beim Anlegen einer Polungsspannung über einen vorgegebenen Zeitraum spricht man auch von einem Polungsplateau oder Spannungsplateau.

[0014] Bei einem aufeinanderfolgenden Anlegen einer ersten und zweiten Polungsspannung spricht man auch von einer zweistufigen Polung des Vielschichtbauelements. Alternativ können in einem mehrstufigen Polungsverfahren mehr als zwei Polungsspannungen aufeinanderfolgend angelegt werden.

[0015] Die Erfinder haben herausgefunden, dass es bezüglich der elektro-mechanischen Eigenschaften des Vielschichtbauelements keine Rolle spielt, ob eine Polung einstufig oder zweistufig ausgeführt wird. Die elektro-mechanischen Eigenschaften werden im Wesentlichen durch die höchste während dem Po-

lungsprozess über einen vorgegebenen Zeitraum angelegte Spannung festgelegt.

[0016] Vorzugsweise wird in einem Verfahrensschritt die Spannung von der ersten Polungsspannung auf die zweite Polungsspannung erhöht. Beispielsweise wird die Spannung von der ersten Polungsspannung auf die zweite Polungsspannung über einen vorgegebenen Zeitraum erhöht. Der vorgegebene Zeitraum zur Erhöhung der Spannung kann beispielsweise von dem ersten vorgegebenen Zeitraum und dem zweiten vorgegebenen Zeitraum verschieden sein, oder im Wesentlichen dem ersten vorgegebenen Zeitraum oder dem zweiten vorgegebenen Zeitraum entsprechen. Der erste und der zweite vorgegebene Zeitraum können beispielsweise jeweils zwischen einer Minute und zwei Minuten dauern. Beispielsweise dauert die Erhöhung der Spannung von der ersten Polungsspannung auf die zweite Polungsspannung einen Zeitraum zwischen einer Minute und zwei Minuten.

[0017] In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens werden während dem Anlegen der ersten Polungsspannung Rissansätze im Grundkörper erzeugt. Insbesondere werden Rissansätze in Bereichen des Grundkörpers erzeugt, welche eine reduzierte Bruchfestigkeit im Vergleich zu anderen Bereichen des Grundkörpers aufweisen. Die Rissansätze können aufgrund einer unterschiedlichen Dehnung des Grundkörpers in inaktiven Bereichen und einem aktiven Bereich des Grundkörpers entstehen, welche beim Anlegen der ersten Polungsspannung auftritt.

[0018] Vorzugsweise erstrecken sich die Rissansätze nicht bis zu einer Außenseite des Grundkörpers. Insbesondere treten die Rissansätze in einem Bereich des Grundkörpers auf, in dem ein inaktiver Bereich und der aktive Bereich aufeinander treffen. In diesem Übergangsbereich tritt eine Spannung im Grundkörper aufgrund der unterschiedlichen Dehnung des Grundkörpers im aktiven und in den inaktiven Bereichen des Grundkörpers auf. Insbesondere ist die erste Polungsspannung vorzugsweise nicht ausreichend, um Risse zu erzeugen, welche sich bis zu einer Außenseite des Grundkörpers erstrecken. Dadurch wird die im Grundkörper auftretende Spannung nicht schlagartig durch wenige Polungsrisse abgebaut. Die Rissansätze können gleichmäßig über die Höhe des Grundkörpers entstehen. Insbesondere kann in besonders vielen Bereichen mit reduzierter Bruchfestigkeit, insbesondere in nahezu jedem derartigen Bereich, ein Rissansatz entstehen.

[0019] Vorzugsweise werden in einem weiteren Verfahrensschritt Risse während dem Anlegen der zweiten Polungsspannung erzeugt, wobei die Risse aus den Rissansätzen entstehen, und wobei die Risse sich bis auf eine Außenfläche des Grundkörpers erstrecken. Durch die Risse können im Grundkörper

auftretende Spannungen ausgeglichen werden, welche beim Anlegen der zweiten Polungsspannung zwischen die internen Elektrodenschichten entstehen. Da die zweite Polungsspannung größer ist als die erste Polungsspannung, wird der Grundkörper während der zweiten Polungsstufe stärker gedehnt als während der ersten Polungsstufe. Somit entstehen während der zweiten Polungsstufe größere Spannungen im Grundkörper als während der ersten Polungsstufe.

[0020] Da die Bereiche mit reduzierter Bruchfestigkeit durch die Rissansätze zusätzlich geschwächt sind, kann vorzugsweise in besonders vielen Bereichen mit reduzierter Bruchfestigkeit, insbesondere in nahezu jedem Bereich, in welchem ein Rissansatz vorhanden ist, ein Riss entstehen. Vorzugsweise sind die Risse gleichmäßig über die Stapelhöhe verteilt.

[0021] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform verlaufen die Risse im Wesentlichen parallel zu den internen Elektrodenschichten. Insbesondere verursachen die Risse keine Kurzschlüsse zwischen benachbarten internen Elektrodenschichten.

[0022] Durch eine zweistufige Polung kann eine hohe Anzahl von Rissen in einem Vielschichtbauelement erzielt werden. Dieser Vorteil ergibt sich dadurch, dass während der ersten Polung ausreichend viele Rissansätze im Grundkörper entstehen können, welche gleichmäßig über die Höhe des Grundkörpers verteilt sind.

[0023] Eine hohe Anzahl an Rissen kann die Zuverlässigkeit des Bauelements positiv beeinflussen. Bei einer geringen Rissanzahl können die Risse zum Teil besonders stark ausgeprägt sein. Insbesondere kann jeder der wenigen Risse eine große mechanische Spannung ausgleichen. Dadurch kann eine Zugspannung auf eine Außenkontaktierung besonders groß sein. Insbesondere können Außenkontaktierungen im Bereich der Risse lokal stark beansprucht oder beschädigt werden. Durch eine hohe Anzahl an Rissen kann sich eine verminderte Zugbelastung der Außenkontaktierung ergeben, da Spannungsspitzen, welche in den Außenelektroden im Bereich der Risse auftreten, gleichmäßiger über die Stapellänge verteilt werden können. Insbesondere wird die Außenkontaktierung nicht lokal überbeansprucht. Des Weiteren können die Risse, die bei einem zweistufigen Polungsverfahren erzeugt wurden, feiner sein, als Risse welche in einem einstufigen Polungsverfahren erzeugt wurden.

[0024] Die Bruchfestigkeit der Bereiche mit reduzierter Bruchfestigkeit kann Prozessschwankungen in der Herstellung unterliegen. Diese Schwankungen können sich auch auf die Anzahl der entstehenden Risse und auf die Verarbeitbarkeit der Bauteile auswirken. Entstehen in einem Bauteil nur wenige Risse

aufgrund einer relativ hohen Bruchfestigkeit in den Bereichen mit reduzierter Bruchfestigkeit, so wirkt sich dies negativ auf die Zuverlässigkeit des Bauteils aus. Weisen die Bereiche mit reduzierter Bruchfestigkeit eine zu geringe Bruchfestigkeit auf, kann sich dies negativ auf die Herstellbarkeit des Bauteils auswirken. Beispielsweise besteht die Gefahr, dass das Bauteil bezüglich der Herstellbarkeit eine zu geringe Bruchfestigkeit, insbesondere eine zu geringe Belastbarkeit gegen mechanische Belastungen aufweist. Beispielsweise können während der Herstellung unerwünschte Beschädigungen bei mechanischer Belastung auftreten.

[0025] Mittels des vorhergehend beschriebenen Verfahrens ist eine Verarbeitung von Bauteilen mit einer Bruchfestigkeit möglich, welche den Belastungen während dem Verarbeitungsprozess standhalten. Insbesondere ist eine Verarbeitung von Bauteilen mit einer relativ hohen Bruchfestigkeit möglich. Dabei kann mit dem beschriebenen Verfahren auch bei relativ hoher Bruchfestigkeit eine ausreichende Anzahl von Rissen entstehen. Zudem können Prozessschwankungen hinsichtlich der Bruchfestigkeit in den Bereichen reduzierter Bruchfestigkeit dadurch ausgeglichen werden, dass die Rissbildung beispielsweise durch ein mehrstufiges Polungsverfahren gezielt beeinflusst werden kann. Insbesondere kann die Rissanzahl durch eine Bildung von Rissansätzen während einer ersten Polungsstufe beeinflusst werden.

[0026] Des Weiteren wird ein Vielschichtbauelement angegeben, welches einen Grundkörper mit piezoelektrischen Schichten und internen Elektrodenschichten aufweist und welches Bereiche mit reduzierter Bruchfestigkeit im Vergleich zu anderen Bereichen des Grundkörpers aufweist. Des Weiteren weist der Grundkörper Risse auf, welche sich in den Bereichen reduzierter Bruchfestigkeit befinden, wobei mindestens 75 % der Bereiche mit reduzierter Bruchfestigkeit einen Riss aufweisen. Beispielsweise können mindestens 95 % der Bereiche mit reduzierter Bruchfestigkeit einen Riss aufweisen.

[0027] Vorzugsweise weist ein Vielschichtbauelement mit einem solchen Rissbild eine erhöhte Zuverlässigkeit und eine erhöhte Lebensdauer auf. Das Vielschichtbauelement kann in einem wie oben beschriebenen Verfahren hergestellt sein.

[0028] Des Weiteren wird ein Vielschichtbauelement aufweisend einen Grundkörper mit piezoelektrischen Schichten und internen Elektrodenschichten angegeben. Des Weiteren weist das Vielschichtbauelement Risse auf, wobei die Risse durch Anlegen einer ersten Spannung zwischen den internen Elektrodenschichten für einen ersten vorgegebenen Zeitraum und anschließendes Anlegen einer zweiten Span-

nung zwischen den internen Elektrodenschichten für einen zweiten vorgegebenen Zeitraum gebildet sind.

[0029] Im Folgenden wird das Verfahren zur Herstellung eines Vielschichtbauelements anhand von schematischen und nicht maßstabgetreuen Figuren erläutert.

[0030] Es zeigen:

[0031] Fig. 1 einen Grundkörper eines Vielschichtbauelements,

[0032] Fig. 2 ein Diagramm zur Darstellung eines Spannungsverlaufs einer zweistufigen Polung,

[0033] Fig. 3 einen Grundkörper eines Vielschichtbauelements nach einer ersten Polungsstufe,

[0034] Fig. 4 einen Grundkörper eines Vielschichtbauelements nach einer zweistufigen Polung,

[0035] Fig. 5 einen Graphen zur Darstellung einer Rissanzahl in Abhängigkeit von den angelegten Spannungen nach einer zweistufigen Polung.

[0036] Fig. 1 zeigt einen Grundkörper **1** eines Vielschichtbauelements. Der Grundkörper weist piezoelektrische Schichten **7** und erste und zweite interne Elektrodenschichten **8a, 8b** auf. Die ersten und zweiten internen Elektrodenschichten **8a, 8b** verlaufen in Stapelrichtung **S** gesehen alternierend bis zu einer Außenseite **9a, 9b** des Grundkörpers und sind von der gegenüberliegenden Außenseite **9a, 9b** beabstandet. Dadurch ergeben sich inaktive Bereiche **10** und ein aktiver Bereich **11** des Grundkörpers. In dem aktiven Bereich **11** überlappen die ersten und zweiten internen Elektrodenschichten **8a, 8b**, während sie in den inaktiven Bereichen **10** nicht überlappen.

[0037] Fig. 1 zeigt einen Grundkörper **1** in einem Zustand vor einer Polarisierung, insbesondere vor dem Anlegen einer Polungsspannung. Beim Anlegen einer Polungsspannung zwischen die internen Elektrodenschichten **8a, 8b** dehnt sich der Grundkörper **1** in Stapelrichtung aus. Dabei kann im aktiven Bereich **11** eine unterschiedliche Dehnung auftreten als im inaktiven Bereich **10**. Durch diese unterschiedliche Dehnung können Spannungen im Grundkörper **1** entstehen, insbesondere in einem Übergangsbereich vom aktiven Bereich **11** zum inaktiven Bereich **10**.

[0038] Des Weiteren weist der Grundkörper **1** Bereiche **14** auf, welche eine reduzierte Bruchfestigkeit gegenüber anderen Bereichen des Grundkörpers **1** aufweisen. Beispielsweise können solche Bereiche reduzierter Festigkeit als Sollbruchstellen, insbesondere als Lagen erhöhter Porosität ausgebildet sein.

[0039] Alternativ können solche Bereiche an einer Grenzfläche **19** zwischen einer internen Elektrodenschicht **8a, 8b** und einer piezoelektrischen Schicht **7**, insbesondere einer keramischen Schicht auftreten. Beispielsweise entstehen in diesen Bereichen reduzierter Bruchfestigkeit **14** während einer Polung Risse. Insbesondere können diese Risse in Übergangsbereichen **18** zwischen einem aktiven **11** und einem inaktiven Bereich **10** entstehen. Vorzugsweise entstehen während der Polung möglichst viele Risse in den Übergangsbereichen **18**, insbesondere Risse, die parallel zu den internen Elektrodenschichten verlaufen. Auf diese Weise kann das Bauteil gezielt mechanisch entlastet werden und eine unkontrollierte Rissbildung während dem Betrieb verhindert werden. Insbesondere entstehen die Risse infolge von Spannungen im Grundkörper **1** aufgrund einer unterschiedlichen Dehnung im aktiven Bereich **11** und in inaktiven **10** Bereichen des Grundkörpers **1**.

[0040] Fig. 2 zeigt ein Diagramm zur Darstellung eines beispielhaften Spannungsverlaufs bei einer zweistufigen Polung eines Grundkörpers eines piezoelektrischen Vielschichtbauelements, beispielsweise eines Grundkörpers gemäß Fig. 1. Dabei ist auf der Ordinate des Diagramms die Spannung in Volt und auf der Abszissenachse die Zeit in Sekunden aufgetragen. Im Gegensatz zu einer einstufigen Polung weist eine zweistufige Polung vorzugsweise wenigstens zwei Polungsplateaus anstelle von nur einem Polungsplateau auf.

[0041] Bei der in Fig. 2 dargestellten Polung wird eine Spannung **U** an den Grundkörper des Vielschichtbauelements, insbesondere zwischen die internen Elektrodenschichten angelegt.

[0042] Bei der zweistufigen Polung wird zunächst in einer ersten Polungsstufe **16** eine erste vorgegebene Polungsspannung **6** für einen vorgegebenen Zeitraum angelegt. Dadurch ergibt sich ein erstes Polungsplateau **2**. Man spricht auch von einem Spannungsplateau. Die erste Polungsspannung wird beispielsweise über einen Zeitraum von einer Minute angelegt. Alternativ kann die erste Polungsspannung beispielsweise über einen Zeitraum von zwei Minuten angelegt werden. Die erste Polungsspannung liegt beispielsweise in einem Bereich zwischen 90 V und 120 V, insbesondere zwischen 100 V und 105 V. Insbesondere kann die erste Polungsspannung **6** im Bereich der Koerzitivspannung des Grundkörpers liegen. Anschließend wird die Polungsspannung in einer zweiten Polungsstufe **17** auf eine zweite vorgegebene Polungsspannung **15** erhöht. Die zweite Polungsspannung **15** liegt beispielsweise in einem Bereich zwischen 180 V und 220 V. Beispielsweise beträgt die zweite Polungsspannung **15** 200 V. Die zweite Polungsspannung **15** wird in einer zweiten Polungsstufe für einen zweiten vorgegebenen Zeitraum angelegt. Dadurch ergibt sich ein zweites Polungs-

plateau **3**. Die zweite Polungsspannung **15** wird beispielsweise über einen Zeitraum von einer Minute angelegt. Alternativ kann die zweite Polungsspannung **15** beispielsweise über einen Zeitraum von zwei Minuten angelegt werden.

[0043] Zwischen dem Anlegen der ersten Polungsspannung **6** und der zweiten Polungsspannung **15** wird die Spannung beispielsweise über einen vorgegebenen Übergangs-Zeitraum langsam erhöht. Beispielsweise ist dieser Übergangs-Zeitraum im Wesentlichen so lange wie der erste oder der zweite vorgegebene Zeitraum. Alternativ kann der Übergangs-Zeitraum kürzer sein, beispielsweise nur einige Sekunden andauern.

[0044] Die Spannung wird beispielsweise in Form von elektrischen Einzelpulsen **5** angelegt. Alternativ kann die Spannung kontinuierlich angelegt werden.

[0045] In einem Versuch hat sich folgender Polungsverlauf als besonders vorteilhaft für den im Versuch verwendeten Grundkörper herausgestellt:

In einem ersten Schritt wird über einen Zeitraum von einer Minute eine Spannung von 60 V auf 105 V erhöht (nicht dargestellt). Durch den Beginn bei 60 V kann die Polarisierung bauteilschonend gestartet werden. Insbesondere kann eine zu abrupte Beanspruchung des Grundkörpers vermieden werden. Anschließend wird über einen Zeitraum von einer Minute eine erste Polungsspannung **6** von 105 V angelegt. Dadurch ergibt sich das erste Polungsplateau **2**. Anschließend wird in einem Übergangs-Zeitraum von einer Minute die Spannung auf 200 V erhöht. Nachfolgend wird die zweite Polungsspannung **15** von 200 V über einen Zeitraum von einer Minute angelegt. Dadurch ergibt sich das zweite Polungsplateau **3**.

[0046] In einer alternativen Polung kann die erste Spannung statt 105 V beispielsweise auch 100 V betragen.

[0047] Durch eine zweistufige Polung, wie sie in **Fig. 2** dargestellt ist, kann ein Vielschichtbauelement hergestellt werden, welches eine höhere Anzahl an Rissen aufweist, als ein Vielschichtbauelement, welches durch eine einstufige Polung gepolt wurde. Beispielsweise kann ein Vielschichtbauelement hergestellt werden, welches mindestens 75% der maximal möglichen Risse aufweist. Beispielsweise kann das Vielschichtbauelement 95% der maximal möglichen Risse aufweisen. Die maximal mögliche Anzahl der Risse ist dabei durch die Anzahl der Bereiche des Grundkörpers mit reduzierter Bruchfestigkeit bestimmt.

[0048] **Fig. 3** zeigt den Grundkörper **1** des Vielschichtbauelements aus **Fig. 1** nach der ersten Polungsstufe **16**. Bei einer zweistufigen Polung entstehen während der ersten Polungsstufe **16** vorzugs-

weise zunächst Rissansätze **12** in dem Grundkörper **1** des Vielschichtbauelements. Die Rissansätze **12** können gleichmäßig entlang der Stapelhöhe **S** des Grundkörpers **1** verteilt sein als Risse, welche während einer einstufigen Polung entstehen können. Dadurch kann die im Grundkörper **1** auftretende Spannung gleichmäßig abgebaut werden. Bei einer einstufigen Polung wird durch das sofortige Entstehen von Rissen die Spannung im Grundkörper **1** lokal begrenzt durch wenige Risse abgebaut. Die Rissansätze **12** entstehen in Bereichen des Grundkörpers **1** mit im Vergleich zu anderen Bereichen des Grundkörpers reduzierter Bruchfestigkeit **14**. Insbesondere können die Rissansätze **12** im Übergangsbereich **18** von einem aktiven Bereich **11** zu einem inaktiven Bereich **10** des Grundkörpers **1** auftreten. In diesen Übergangsbereichen **18** treten Spannungen aufgrund der unterschiedlichen Dehnung des Grundkörpers **1** im aktiven Bereich **11** und im inaktiven Bereich **10** auf.

[0049] Die Rissansätze **12** erstrecken sich vorzugsweise nicht bis zu einer Außenseite **9a, 9b** des Grundkörpers **1**. Dadurch wird die im Grundkörper **1** auftretende Spannung nicht schlagartig durch wenige Polungsrissen abgebaut. Die Rissansätze **12** können sich gleichmäßig über die Höhe des Grundkörpers **1** verteilen. Insbesondere kann in nahezu jedem Bereich **14** mit reduzierter Bruchfestigkeit ein Rissansatz **12** entstehen.

[0050] Durch die Rissansätze **12** sind die Bereiche **14** des Grundkörpers **1** mit reduzierter Bruchfestigkeit zusätzlich geschwächt. Während einer zweiten Polungsstufe **17** können die Rissansätze **12** weiter aufreißen.

[0051] **Fig. 4** zeigt den Grundkörper aus **Fig. 3** nach einer zweiten Polungsstufe **17**. Bei der zweiten Polungsstufe **17** wird eine höhere Spannung zwischen die internen Elektrodenschichten **8a, 8b** angelegt, als bei der ersten Polungsstufe **16**. Dadurch dehnt sich der Grundkörper **1** stärker aus als bei der ersten Polungsstufe **16**. Die dadurch entstehende Spannung im Grundkörper **1** ist ausreichend, um aus den Rissansätzen Risse **13** entstehen zu lassen. Insbesondere entstehen die Risse **13** aufgrund der unterschiedlichen Dehnung im aktiven Bereich **11** und im inaktiven Bereich **10**.

[0052] Diese Risse **13** erstrecken sich vorzugsweise bis zu einer Außenseite **9a, 9b** des Grundkörpers **1**. Da die Bereiche **14** mit reduzierter Bruchfestigkeit durch die Risse **12** bereits zusätzlich geschwächt sind, kann während der zweiten Polungsstufe aus nahezu jedem Rissansatz **12** ein Riss **13** entstehen.

[0053] Der Einfachheit halber sind die Risse **13** als gestrichelte Linien dargestellt. In der Realität können die Risse **13** beispielsweise keilförmig, so dass

die Risse **13** auf einer Außenseite zu einem Aufklaffen des Grundkörpers führen, ausgebildet sein. Beispielsweise können die Risse **13** bei einer Dehnung des Grundkörpers **1** auseinandergezogen werden.

[0054] In dem in **Fig. 4** gezeigten Grundkörper **1** sind die Risse **13** gleichmäßig über den Grundkörper **1** verteilt, wobei die meisten Bereiche **14** reduzierter Bruchfestigkeit einen Riss **13** aufweisen. Ein solches Rissbild kann durch eine zweistufige Polung erreicht werden. Die maximal mögliche Anzahl der Risse ist dabei durch die Anzahl der Bereiche **14** des Grundkörpers mit reduzierter Bruchfestigkeit bestimmt. Eine hohe Anzahl an Rissen wirkt sich vorteilhaft auf die Lebensdauer und Zuverlässigkeit eines Vielschichtbauelements aus. Insbesondere wird eine bei einer angelegten Spannung auftretende Zugbelastung gleichmäßig über das Vielschichtbauelement verteilt. Zudem entstehen die Risse **13** kontrolliert und insbesondere parallel zu den internen Elektrodenschichten, so dass durch die Risse **13** keine Elektrodenschichten unterschiedlicher Polarität überbrücken.

[0055] **Fig. 5** zeigt einen Graphen zur Darstellung einer Rissanzahl in Abhängigkeit von den angelegten Spannungen nach einer ersten und zweiten Polungsstufe einer zweistufigen Polung. Der Graph basiert auf einer durchgeführten Versuchsreihe. An der Ordinate ist die Rissanzahl **A** aufgetragen, wobei eine maximale Anzahl von 30 Rissen möglich ist. Diese maximal mögliche Anzahl der Risse ist dabei durch die Anzahl der Bereiche des Grundkörpers mit reduzierter Bruchfestigkeit bestimmt. An der Abszissenachse sind die während der ersten Polungsstufe und der zweiten Polungsstufe über einen vorgegebenen Zeitraum angelegte erste und zweite Polungsspannung in Volt aufgetragen. Die während der zweiten Polungsstufe angelegte zweite Polungsspannung beträgt in jedem Fall 200 V. Zudem ist eine einstufige Polungsstufe bei 200 V als Referenz dargestellt.

[0056] Es ist ersichtlich, dass bei einer ersten Polungsspannung von 100 V bis 105 V eine maximale Anzahl an Polungsrissen auftritt. Dieser Bereich entspricht in etwa der Koerzitivspannung. Insbesondere sind bei einer ersten Polungsspannung von 105 V mehr als 95% der möglichen Risse aufgetreten. Bei niedrigeren und höheren ersten Polungsspannungen treten weniger Risse auf.

[0057] Bei ersten Polungsspannungen, die deutlich unter 100 V liegen, werden während der ersten Polungsstufe nur wenige Rissansätze erzeugt. Bei Spannungen, gleich oder größer 110 V werden bereits während der ersten Polungsstufe viele Risse gebildet, beispielsweise 1/3 bis 2/3 der maximal möglichen Risse. Zudem geht aus dem Graphen hervor, dass ein zweimaliges Polen bei 200V sich hinsichtlich

der Rissanzahl nicht von einem einmaligen Polen bei 200V unterscheidet.

[0058] Des Weiteren hat sich bei der Versuchsauswertung gezeigt, dass der Unterschied der elektromechanischen Eigenschaften bei einer zweistufigen Polung mit unterschiedlichen Polungsspannungen im Vergleich zu einer einstufigen Polung unwesentlich gering ist. Die in den Versuchen gemessenen elektrischen Parameter weichen bei einer zweistufigen Polung um weniger als 2% von Referenzwerten ab, die bei einer einstufigen Polung erzielt wurden. Dabei wurden insbesondere die Beziehung zwischen elektrischer Ladung und Hub und die Kapazität des Grundkörpers untersucht. Der Einfluss der zweistufigen Polung auf eine remanente Dehnung des Grundkörpers ist ebenfalls vernachlässigbar gering, insbesondere tritt eine Abweichung von weniger als 2% auf.

Bezugszeichenliste

1	Grundkörper
2	erstes Polungsplateau
3	zweites Polungsplateau
5	Elektrischer Einzelpuls
6	erste Polungsspannung
7	piezoelektrische Schicht
8a	erste interne Elektrodenschicht
8b	zweite interne Elektrodenschicht
9a	Außenseite
9b	Außenseite
10	inaktiver Bereich
11	aktiver Bereich
12	Rissansatz
13	Riss
14	Bereich mit reduzierter Bruchfestigkeit
15	zweite Polungsspannung
16	erste Polungsstufe
17	zweite Polungsstufe
18	Übergangsbereich
19	Grenzfläche zwischen Elektrodenschicht und piezoelektrischer Schicht

Patentansprüche

1. Verfahren zur Polung eines Vielschichtbauelements umfassend die Schritte:

A) Bereitstellen eines Grundkörpers (**1**) des Vielschichtbauelements aufweisend piezoelektrische Schichten (**7**) und interne Elektrodenschichten (**8a**, **8b**),

B) Anlegen einer ersten Polungsspannung (**6**) zwischen den internen Elektrodenschichten (**8a**, **8b**) für einen ersten vorgegebenen Zeitraum,

C) Anlegen einer zweiten Polungsspannung (**15**) zwischen die internen Elektrodenschichten (**8a**, **8b**) für einen zweiten vorgegebenen Zeitraum,

2. Verfahren nach Anspruch 1, umfassend den Schritt:

Erzeugen von Rissansätzen (**12**) im Grundkörper (**1**) während dem Anlegen der ersten Polungsspannung (**6**).

3. Verfahren nach Anspruch 2, umfassend den Schritt:

Erzeugen von Rissen (**13**) während dem Anlegen der zweiten Polungsspannung (**15**), wobei die Risse (**13**) aus den Rissansätzen (**12**) entstehen und wobei die Risse (**13**) sich bis zu einer Außenseite (**9a, 9b**) des Grundkörpers (**1**) erstrecken.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Risse (**13**) im Wesentlichen parallel zu den internen Elektroden-schichten (**8a, 8b**) verlaufen.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste Polungsspannung (**6**) im Bereich der Koerzitivspannung des Vielschichtbauelements liegt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Länge des ersten vorgegebenen Zeitraums im wenigstens so groß wie die Länge des zweiten vorgegebenen Zeitraums ist.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die zweite Polungsspannung (**15**) größer ist als die erste Polungsspannung (**6**).

8. Verfahren nach Anspruch 7, umfassend den Schritt: Erhöhen der Spannung von der ersten Polungsspannung (**6**) auf die zweite Polungsspannung (**15**) über einen Zeitraum, der im Wesentlichen dem ersten vorgegebenen Zeitraum oder dem zweiten vorgegebenen Zeitraum entspricht.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste Polungsspannung (**6**) und die zweite Polungsspannung (**15**) in Form von einer Vielzahl von Einzelpulsen angelegt werden.

10. Vielschichtbauelement, aufweisend einen Grundkörper (**1**) mit piezoelektrischen Schichten (**7**) und internen Elektroden-schichten (**8a, 8b**) und aufweisend Bereiche (**14**) mit reduzierter Bruchfestigkeit im Vergleich zu anderen Bereichen des Grundkörpers (**1**) und aufweisend Risse (**13**) in den Bereichen reduzierter Bruchfestigkeit (**14**), wobei mindestens 75% der Bereiche mit reduzierter Bruchfestigkeit einen Riss (**13**) aufweisen.

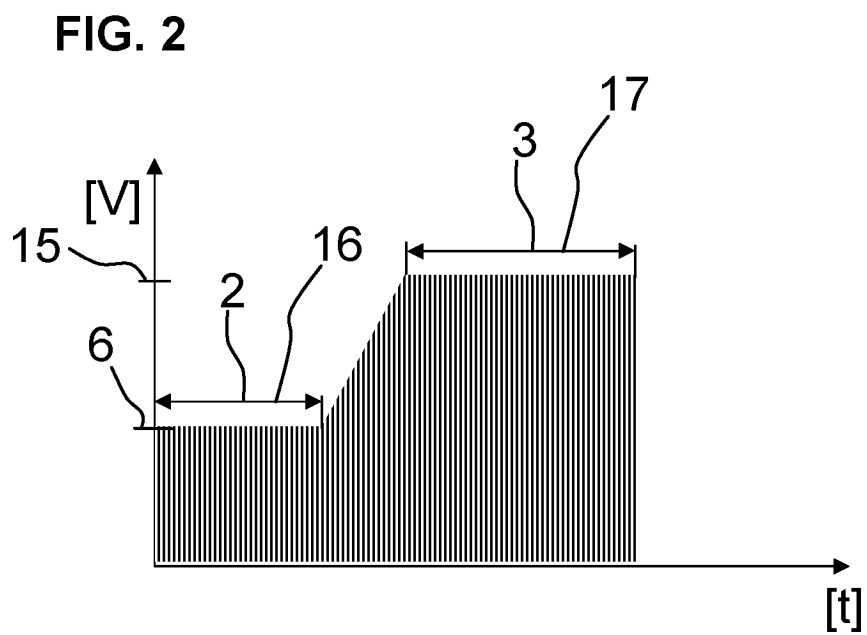
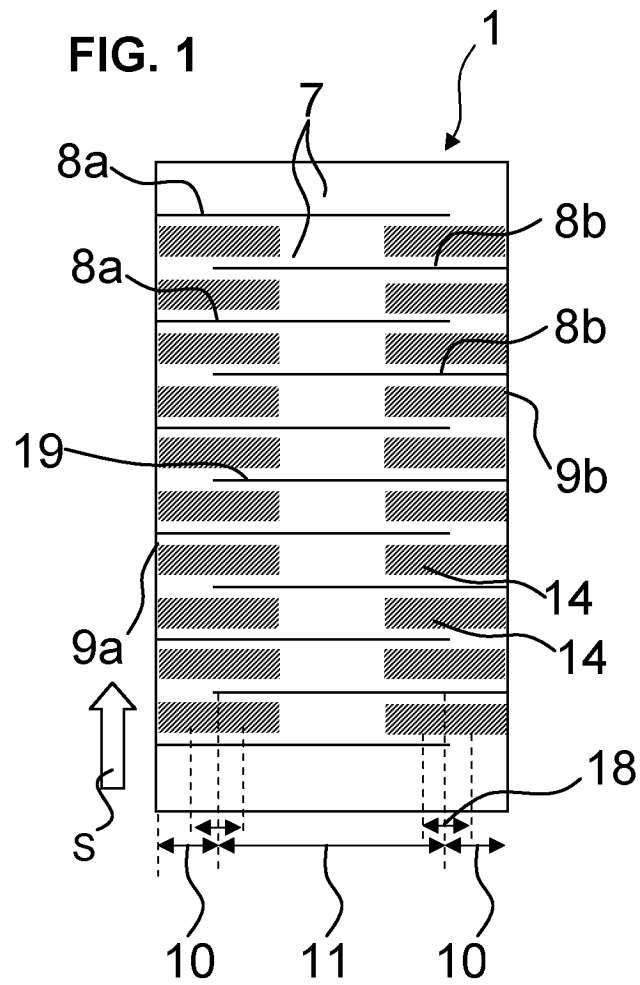
11. Vielschichtbauelement, aufweisend einen Grundkörper (**1**) mit piezoelektrischen Schichten (**7**) und internen Elektroden-schichten und aufweisend Risse (**13**), wobei die Risse (**13**) durch Anlegen einer ersten Spannung (**6**) zwischen den internen Elektroden-schichten (**8a, 8b**) für einen ersten vorgege-

benen Zeitraum und anschließendes Anlegen einer zweiten Spannung (**15**) zwischen die internen Elektroden-schichten (**8a, 8b**) für einen zweiten vorgegebenen Zeitraum gebildet sind.

12. Vielschichtbauelement nach einem der Ansprüche 10 oder 11, welches als Piezoaktor ausgebildet ist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



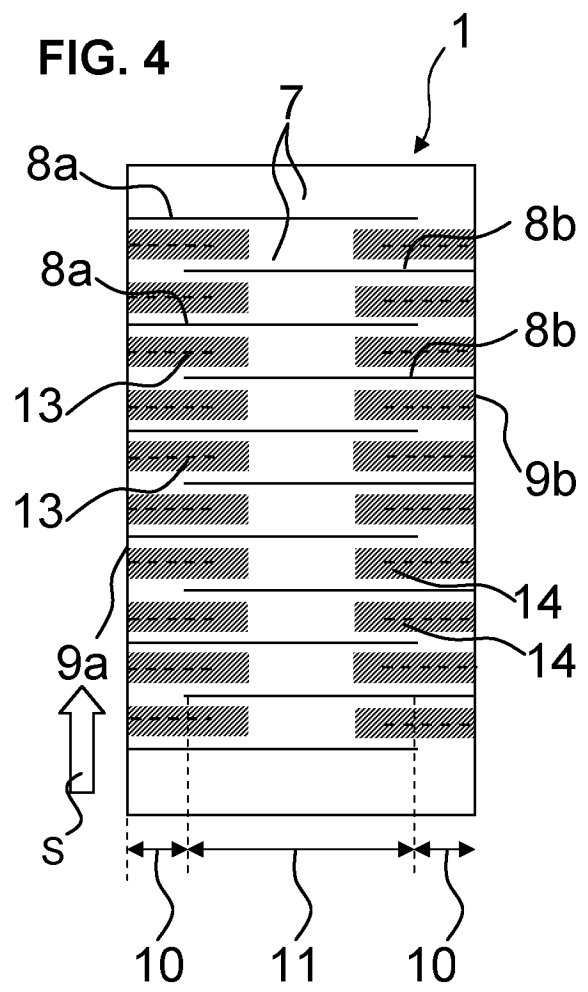
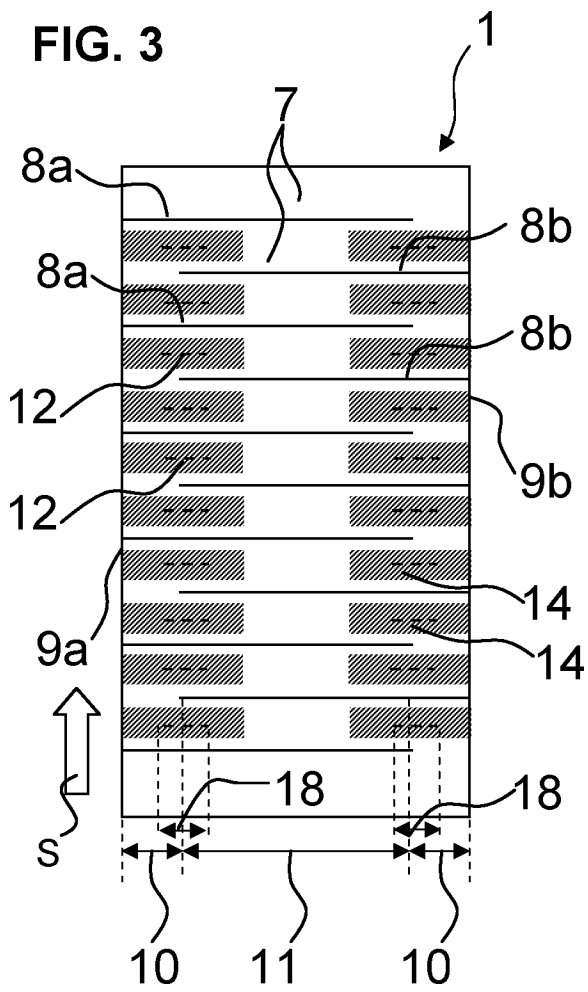


FIG. 5

