(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
28. Februar 2013 (28.02.2013)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/026764 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 41/053 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/066008

(22) Internationales Anmeldedatum:
16. August 2012 (16.08.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2011 081 279.2
19. August 2011 (19.08.2011) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **DENNELER, Stefan** [DE/DE]; Bruderhofstr. 3, 81371 München (DE). **SCHUH, Carsten** [DE/DE]; Heideweg 9, 85598 Baldham (DE). **STEINKOPFF, Thorsten** [DE/DE]; Wolframsweg 8, 85658 Egmating (DE). **WOLFF, Andreas** [DE/DE]; Bajuwarenstr. 28, 81825 München (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

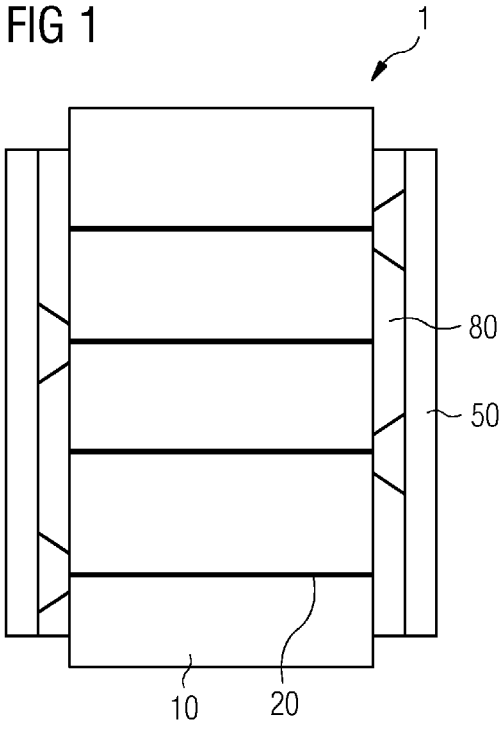
(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title**: METHOD FOR THE ELECTRICAL PASSIVATION OF ELECTROMECHANICAL COMPONENTS

(54) **Bezeichnung** : VERFAHREN ZUR ELEKTRISCHEN PASSIVIERUNG ELEKTROMECHANISCHER BAUELEMENTE

FIG 1



(57) **Abstract**: The invention relates to a method for the electrical passivation of electromechanical especially piezoelectric components which comprise at least one electrode, a ceramic layer being applied to the surface to be passivated by way of aerosol deposition of piezoceramic particles.

(57) **Zusammenfassung**: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur elektrischen Passivierung elektromechanischer insbesondere piezoelektrischer Bauelemente umfassend wenigstens eine Elektrode, wobei man auf die zu passivierende Fläche mittels Aerosol-Abscheidung von piezokeramischen Partikeln eine Keramikschicht aufbringt.

WO 2013/026764 A2

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Beschreibung

Verfahren zur elektrischen Passivierung elektromechanischer Bauelemente

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur elektrischen Passivierung elektromechanischer insbesondere piezoelektrischer Bauelemente.

Piezokeramische Bauteile gewinnen in der modernen Elektrotechnik immer mehr an Bedeutung. So werden Piezoaktoren vielfach als Stellantriebe oder in Kraftstoff-Einspritzsystemen eingesetzt. Piezoaktoren sind zumeist als Vielschichtbauelemente mit einer Vielzahl von jeweils alternierend angeordneten piezoelektrischen Keramikschichten und Elektrodenschichten ausgebildet. Ein entsprechender Vielschichtaktor ist beispielsweise in der DE 102 34 787 C1 ausführlich beschrieben.

Piezoaktoren müssen als elektromechanische Bauelemente teilweise mit hohen elektrischen Spannungen bzw. Feldstärken betrieben werden. Demgegenüber generieren Piezosensoren und Piezogeneratoren, beispielsweise Piezotransformatoren, bei mechanischer Belastung ebenfalls teilweise sehr hohe elektrische Spannungen. Weiterhin reichen die Innenelektroden üblicherweise bis zu den Seitenflächen eines Bauteils, beispielsweise eines Vielschichtaktors, um eine größtmögliche elektrisch aktive Oberfläche der piezokeramischen Schichten zu erzielen. Reichen die Innenelektroden jedoch bis an die Außenseiten, ist ein Großteil der seitlichen Oberfläche elektrisch aktiv, wodurch der Aktor nicht direkt in elektrisch leitenden Flüssigkeiten wie Kraftstoffen von Brennkraftmaschinen insbesondere in Direkteinspritzsystemen im Automobilbereich, betrieben werden kann, da dieses zu einem elektrischen Kurzschluss der verschiedenen Innenelektroden und somit zum Versagen des Vielschichtaktors führen würde.

Um einen ausreichenden Schutz gegen Oberflächenüberschläge und gegenüber der Umgebung sicherzustellen, werden piezo-

elektrische Bauelemente üblicherweise oberflächlich passiviert. Beispielsweise können piezokeramische Bauelemente gegen Oberflächenüberschläge vor umgebenden Medium durch das Auftragen von Polymeren, Silikonen, Silikonelastomer, thermoplastischen Kunststoffen oder Polyurethan passiviert werden. Die Auftragung der Schichten erfolgt meist mittels Pinseln, Sprühen oder Tauchen. Im Anschluss an die Beschichtung erfolgt üblicherweise ein thermischer Schritt, der zur Trocknung oder zur chemischen Aushärtung von Polymeren wie Silikon-Elastomeren führt.

Wird eine derartige Passivierung beispielsweise in einem Direkteinspritzsystem im Automobilbereich genutzt, ist von diesem Material gleichzeitig eine hohe Temperaturstabilität gefordert. Diese Materialanforderungen erfüllen zwar Silikonelastomere, diese zeigen jedoch eine unzureichende Beständigkeit in Kraftstoffen sowie eine hohe Permeabilität für Wasserdampf. Weiter kann sich die Passivierung während des Betriebs eines piezoelektrischen Bauteils von dessen Oberfläche lösen. So ergeben sich Nachteile hinsichtlich Lebensdauer und Zuverlässigkeit der Bauelemente, insbesondere bei einem Betrieb unter hohen Umgebungstemperaturen und feuchter Atmosphäre. Ferner ergeben sich weitere Nachteile durch erhebliche Designlimitationen. Weiterhin ist nachteilig, dass die Passivierung unregelmäßig geformter, rauer und unebener Flächen von elektrischen Bauelementen erschwert ist.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur elektrischen Passivierung elektromechanischer Bauelemente bereit zu stellen, das wenigstens einen der vorgenannten Nachteile des Standes der Technik überwindet. Insbesondere ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren bereit zu stellen, das eine zuverlässige Verwendung und gute Lebensdauer der Passivierung ermöglicht.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zur elektrischen Passivierung wenigstens einer Fläche eines elektromechanischen insbesondere piezoelektrischen Bauelementes umfas-

send wenigstens eine Elektrode, wobei man auf die zu passivierende Fläche mittels Aerosol-Abscheidung von keramischen Partikeln eine Keramikschicht aufbringt.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Durch das Aufbringen keramischer Partikel unter Ausbildung einer Keramikschicht mittels Aerosol-Abscheidung können in vorteilhafter Weise hochdichte und temperaturstabile keramische Schutzschichten aufgebracht werden.

Durch die Aerosol-Abscheidung keramischer Schutzschichten auf einem piezokeramischen Bauelement können Bauelemente mit hoher Zuverlässigkeit und Lebensdauer zur Verfügung gestellt werden. Insbesondere können sich die Vorteile der Aerosol-Abscheidung mit den vorteilhaften Eigenschaften einer keramischen Schutzschicht vereinen. So entspricht der thermische Ausdehnungskoeffizient einer zur Passivierung aufgebrachten Keramikschicht annähernd dem eines piezokeramischen Baulementes. In vorteilhafter Weise können mechanische Spannungen so weitgehend vermieden werden. Weiterhin kann mittels Aerosol-Abscheidung eine Keramikschicht auch auf flächige oder unregelmäßig geformte, raue und unebene Flächen, beispielsweise konkave der konvexe Flächen, aufgebracht werden. Es ist ein großer Vorteil, dass durch eine flächige Auftragung hochdichter keramischer Schichten mittels Aerosol-Abscheidung strukturkonforme Schutzschichten aufgetragen werden können. Insbesondere können auch nicht ebene passivierte Flächen eines Bauelements gegen ein umgebendes Medium elektrisch, chemisch und/oder thermisch isoliert werden.

Weiterhin kann durch die Abscheidung keramischer Schichten eine gute Haftung der abgeschiedenen Schicht insbesondere auf einem piezokeramischen Bauelement zur Verfügung gestellt werden. Eine gute Haftung des Passivierungsmaterials auf der Oberfläche eines Bauelements stellt einen entscheidenden Vorteil für die Zuverlässigkeit piezokeramischer Bauelemente

dar. Ein weiterer Vorteil der Abscheidung keramischer Schichten zur elektrischen Passivierung liegt darin, dass diese eine ähnliche oder gleiche thermische Stabilität aufweisen wie das piezokeramische Bauelement selber. Somit wird die Verwendbarkeit des Bauelements nicht durch die Passivierungsschicht eingeschränkt.

Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die Keramikschicht mittels Aerosol-Abscheidung keramischer Partikel abgeschieden. Bevorzugt ist eine Aerosol-Abscheidung mittels der sogenannten aerosol deposition method. Bei der Aerosol-Abscheidung wird aus einem Pulver ein Aerosol hergestellt. Eine Aerosol-Abscheidung von Partikeln erfolgt insbesondere bei hoher Geschwindigkeit und niedriger Temperatur. Das Aerosol kann beispielsweise in einer Vakuumstrecke unter der Sogwirkung einer Vakuumpumpe beschleunigt werden. Beim Aufprall der Partikel auf das Bauelement bildet sich die Schicht. Vorzugsweise treten die Partikel aus einer in drei Achsen verfahrbaren Düse aus. Alternativ kann das Bauelement bei still stehender Düse verfahren werden. In vorteilhafter Weise treffen die Pulverpartikel mit einer hohen kinetischen Energie auf. Eine bevorzugte Geschwindigkeit der Partikel liegt im Bereich von ≥ 10 m/s bis ≤ 3000 m/s, vorzugsweise im Bereich von ≥ 100 m/s bis ≤ 1000 m/s. Geeignet für die Aerosol-Abscheidung sind insbesondere Partikel einer Partikelgröße im Bereich von ≥ 10 nm bis ≤ 100 µm, bevorzugt im Bereich von ≥ 100 nm bis ≤ 50 µm, vorzugsweise im Bereich von ≥ 200 nm bis ≤ 10 µm, insbesondere im Bereich von ≥ 300 nm bis ≤ 5 µm.

Bevorzugt scheidet man die Keramikschicht bei Temperaturen ≤ 700°C, vorzugsweise ≤ 300°C ab. Vorzugsweise scheidet man die Keramikschicht bei Temperaturen im Bereich von ≥ 18°C bis ≤ 300°C ab. Es ist insbesondere von Vorteil, dass obwohl die Keramikschicht bei niedrigen Temperaturen abgeschieden werden kann, die Schutzschicht die typischen keramischen Eigenschaften wie eine gute Temperaturstabilität aufweist.

Die Keramikschichten können thermisch behandelt werden. Hierdurch können die Eigenschaften insbesondere die Dichte weiter verbessert werden. In vorteilhaften Ausführungsformen kann man die Keramikschicht bei Temperaturen im Bereich von ≥ 400°C bis ≤ 800°C, bevorzugt im Bereich von ≥ 400°C bis ≤ 700°C, tempern. Hierdurch können hochdichte Keramikschichten hergestellt werden.

Durch das Tempern kann die Mikrostruktur wie die mittlere Korngröße der abgeschiedenen Schicht beeinflusst werden. Beispielsweise kann das Isolationsvermögen, die Dichte und die Porosität gezielt eingestellt werden. Insbesondere kann die Dichte der Schicht erhöht werden. Durch das Tempern kann insbesondere die theoretische Dichte oder die technologisch erreichbare Maximaldichte einer abgeschiedenen Keramikschicht weiter erhöht werden, als dies ein Sintern von Grünfolien erlaubt. So kann durch das Tempern eine theoretische Dichte oder eine technologisch erreichbare Maximaldichte im Bereich von 98 % bis 100 %, insbesondere im Bereich von 99 % bis 100 % einer möglichen theoretischen Dichte oder technologisch erreichbaren Maximaldichte von 100 % erreicht werden. Aufgrund der hohen Dichte der abgeschiedenen Schicht kann eine elektrische Isolation sichergestellt werden. Die zur Passivierung abgeschiedene Schicht kann die Funktion einer Isolationsschicht erfüllen. Weiter kann die Diffusion von Wasser oder anderen Medien verhindert werden.

Weiter kann durch das Tempern der Sauerstoffgehalt der abgeschiedenen Keramikschicht erhöht werden. Dies ist insbesondere vorteilhaft, da die elektrische Leitfähigkeit der abgeschiedenen Schicht steigt, wenn Sauerstoff beispielsweise während der Herstellung entweicht. Daher kann in vorteilhafter Weise durch das Tempern die elektrische Leitfähigkeit der passivierenden Schicht gesenkt werden.

In bevorzugten Ausführungsformen weist die Keramikschicht eine Schichtdicke im Bereich von ≥ 0,5 µm bis ≤ 100 µm, vorzugsweise im Bereich von ≥ 1 µm bis ≤ 50 µm, bevorzugt im Be-

reich von ≥ 5 µm bis ≤ 20 µm, auf. Mittels Aerosol-Abscheidung können in vorteilhafter Weise Flächen einer Dicke im Bereich von ≥ 0,5 µm bis ≤ 100 µm sowohl auf ebene als auch auf unebene beispielsweise konkave oder konvexe Konturen abgeschieden werden. Dies erlaubt auch ein so genannten 3D-shaping. Weiterhin bewirkt eine geringe Dicke der Passivierungsschicht eine gute Wärmeableitfähigkeit. Dies ist insbesondere bei Vielschichtaktoren vorteilhaft.

Bevorzugte elektromechanische Bauelemente sind piezoelektrische Bauelemente, die neben der wenigstens einen Elektrode wenigstens eine piezoelektrische Keramikschicht aufweisen. Diese aktive piezoelektrische Keramikschicht dehnt sich aufgrund des piezoelektrischen Effektes beim Anlegen einer elektrischen Spannung über die Innenelektroden aus.

Vorzugsweise ist die zur elektrischen Passivierung abgeschiedene Keramikschicht ausgebildet aus Materialien, die Perowskite ausbilden. In bevorzugten Ausführungsformen ist die Keramikschicht ausgebildet aus Materialien ausgewählt aus der Gruppe umfassend Blei-Zirkonat-Titanat, Lithiumniobat, Kalium-Natrium-Niobat, Barium-Titanat, Blei-Magnesium-Niobat – Blei-Titanat (PMN-PT), Blei-Zirkonium-Niobat – Blei-Titanat und/oder Bismuth-Natrium-Titanat. Es versteht sich, dass das Material der zur Ausbildung der Schicht abgeschiedenen Partikel dem Material der abgeschiedenen Schicht entspricht und beispielsweise ausgewählt sein kann aus Materialien ausgewählt aus der Gruppe umfassend Blei-Zirkonat-Titanat, Lithiumniobat, Kalium-Natrium-Niobat, Barium-Titanat, Blei-Magnesium-Niobat – Blei-Titanat (PMN-PT), Blei-Zirkonium-Niobat – Blei-Titanat und/oder Bismuth-Natrium-Titanat.

Bevorzugt entspricht das Material der zur elektrischen Passivierung abgeschiedenen Keramikschicht dem Material der piezoelektrischen Schicht(en) eines piezoelektrischen Bauelementes. Insbesondere ist bevorzugt, dass das Material der Keramikschicht aus dem selben Material ausgebildet ist, wie die aktive piezoelektrische Schicht.

Die Begriffe "piezokeramisches" Material und "piezoelektrische Keramik" bezeichnen im Sinne der vorliegenden Erfindung ein keramisches Material, welches piezoelektrisch aktiv ist, als auch ein solches keramisches Material, welches erst durch Polarisation oder eine sonstige Vorbehandlung piezoelektrisch aktiv wird. Eine Piezokeramik wird durch Polarisation in einem homogenen elektrischen Feld piezoelektrisch aktiv.

Schichten aus artgleichem oder gleichem Material weisen in vorteilhafter Weise eine ähnliche oder gleiche Dehnungsfähigkeit und/oder thermischen Ausdehnungskoeffizienten wie das piezolektrische Bauelement auf und ermöglichen dadurch eine Verwendung bei Temperaturwechselbeanspruchung. Weiterhin kann durch gleiche thermische Ausdehnungskoeffizienten eine längere Lebensdauer des Bauelementes bei Temperaturwechselbelastung zur Verfügung gestellt werden. Bei einer Verwendung artgleicher piezoelektrischer Schutzschichten kann insbesondere sogar ein piezoelektrischer Effekt der Isolationsschicht ausgenutzt werden.

In weiter bevorzugten Ausführungsformen ist die Keramikschicht ausgebildet aus einem keramischen elektrisch isolierenden Material ausgewählt aus der Gruppe umfassend Aluminiumoxid, Magnesiumoxid, Zirkonoxid, Titanoxid und/oder Siliziumoxid.

Schichten aus einem elektrisch isolierenden Material weisen den Vorteil einer guten elektrischen Isolation auf. Weiterhin weisen keramische Materialien ausgewählt aus der Gruppe umfassend Aluminiumoxid, Magnesiumoxid, Zirkonoxid, Titanoxid und/oder Siliziumoxid in vorteilhafter Weise eine ähnliche Dehnungsfähigkeit und/oder thermischen Ausdehnungskoeffizienten wie piezoelektrische Keramikschichten auf. Diese ermöglichen ebenfalls eine Verwendung des Bauelementes bei Temperaturwechselbeanspruchung und können eine längere Lebensdauer des Bauelementes bei Temperaturwechselbelastung zur Verfügung stellen.

In bevorzugten Ausführungsformen ist die Keramikschicht dotiert, vorzugsweise mit Metallen ausgewählt aus der Gruppe umfassend Silber, Nickel, Mangan, Antimon, Molybdän, Tantal, Wolfram, Hafnium, Kalium, Calcium, Strontium, Lithium und/oder Seltenerdmetalle. Seltenerdmetalle sind ausgewählt aus der Gruppe umfassend Scandium, Yttrium, Lanthan, Cer, Praesodym, Neodym, Promethium, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium und/oder Lutetium. Bevorzugte Dotierstoffe sind insbesondere ausgewählt aus der Gruppe umfassend Silber, Nickel, Mangan, Antimon, Molybdän, Tantal, Wolfram, Hafnium, Kalium, Calcium, Strontium, Lithium oder Seltenerdmetalle. Dotierstoffe werden vorzugsweise in Form ihrer Oxide zugesetzt. Vorzugsweise weist die Keramikschicht einen Anteil an Dotierstoffen im Bereich von $\geq$ 0,5 Gew.-% bis $\leq$ 30 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Schicht, auf.

Die Passivierung mittels Aerosol-Abscheidung kann während oder nach der Herstellung eines Bauelementes aufgebracht werden. Es ist durch eine Aerosol-Abscheidung der Keramikschicht insbesondere nicht erforderlich, diese gemeinsam mit zur Herstellung eines piezokeramischen Bauelementes verwendeten Grünfolien zu sintern oder das Bauelement aufgrund der Aufbringung der Passivierungsschicht erneut zu sintern. So ist die Keramikschicht mittels Aerosol-Abscheidung nach und unabhängig von einem Sintervorgang eines piezokeramischen Bauelementes aufbringbar. Ebenso kann eine Passivierung mittels Aerosol-Abscheidung jederzeit während einer Nachbearbeitung eines Bauelementes aufgebracht werden. In bevorzugten Ausführungsformen kann das piezoelektrische Bauelement gesintert und/oder bearbeitet sein.

Vorzugsweise ist das elektromechanische insbesondere piezoelektrische Bauelement ein Mehrschicht-Bauelement. In bevorzugten Ausführungsformen ist das piezokeramische Bauelement als piezoelektrischer Aktor insbesondere Vielschichtaktor oder piezoelektrischer Wandler ausgebildet. In weiter bevor-

zugten Ausführungsformen ist das piezokeramische Bauelement als Piezosensor, Piezogenerator oder Piezotransformator ausgebildet.

Die Abscheidung einer Keramikschicht mittels Aerosol-Abscheidung ermöglicht eine selektive Abdeckung eines Bauelementes. Beispielsweise können die Elektrodenflächen, die in einem Bauelement offenliegen, gezielt abgedeckt oder frei gelassen werden. So ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren den Aufbau von dünnen strukturierten Schichten zur selektiven Abdeckung von Innenelektrodenlagen an piezoelektrischen Vielschichtaktoren. In bevorzugten Ausführungsformen umfasst die zu passivierende Fläche wenigstens eine Elektrodenfläche. Die passivierende Fläche kann die gesamten Elektrodenflächen eines Bauelementes umfassen, oder selektiv beispielsweise alternierende Elektrodenflächen eines Bauelementes, die nicht angesteuert werden sollen. Die abgeschiedene Passivierung kann beispielsweise als Abdeckschicht oder Isolationswall für eine über ein weiteres auftragendes Verfahren anschließend aufgebrachte Metallisierungslage dienen. Aufgrund der vorteilhaften Temperaturstabilität der Keramikschicht kann eine Metallisierungslage bei Temperaturen bis 1000°C eingebracht werden. Dies ermöglicht zusätzlich eine weiterführende Kontaktierung, die beispielsweise mittels Löten oder Schweißen angebracht werden kann.

Alternativ kann die zu passivierende Fläche auch die gesamte freiliegende Fläche eines Bauelements bedecken und die Keramikschicht als geschlossene Umhüllung des elektromechanischen insbesondere piezoelektrischen Bauelementes ausgebildet sein.

In bevorzugten Ausführungsformen bildet die zu passivierende Fläche eine Oberfläche insbesondere eine Seitenfläche des elektromechanischen insbesondere piezoelektrischen Bauelementes aus.

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung betrifft ein elektromechanisches insbesondere piezoelektrisches Bauelement umfas-

send wenigstens eine Elektrode aufweisend eine auf das Bauelement aufgebrachte keramische Passivierungsschicht hergestellt nach dem erfindungsgemäßen Verfahren.

Ein weiterer Gegenstand der Erfindung betrifft ein elektromechanisches insbesondere piezoelektrisches Bauelement umfassend wenigstens eine Elektrode, wobei das Bauelement eine keramische Passivierungsschicht aufweist, und wobei die Keramikschicht eine Schichtdicke im Bereich von ≥ 0,5 µm bis ≤ 100 µm, vorzugsweise im Bereich von ≥ 1 µm bis ≤ 50 µm, bevorzugt im Bereich von ≥ 5 µm bis ≤ 20 µm, aufweist. Eine Passivierungsschicht dieser Dicke kann insbesondere eine gute Wärmeableitfähigkeit aufweisen.

In bevorzugten Ausführungsformen ist die Keramikschicht ausgebildet aus Materialien ausgewählt aus der Gruppe umfassend Blei-Zirkonat-Titanat, Lithiumniobat, Kalium-Natrium-Niobat, Barium-Titanat, Blei-Magnesium-Niobat – Blei-Titanat, Blei-Zirkonium-Niobat – Blei-Titanat und/oder Bismuth-Natrium-Titanat.

Bevorzugte elektromechanische Bauelemente sind piezoelektrische Bauelemente, die neben der wenigstens einen Elektrode wenigstens eine piezoelektrische Keramikschicht aufweisen. Bevorzugt entspricht das Material der keramischen Passivierungsschicht dem Material der piezoelektrischen Schicht(en). Insbesondere ist bevorzugt, dass die keramische Passivierungsschicht aus demselben Material ausgebildet ist wie die aktive piezoelektrische Schicht.

Die Begriffe "keramische Passivierungsschicht" und "Keramikschicht" werden im Sinne der vorliegenden Erfindung synonym verwendet und bezeichnen eine zur elektrischen Passivierung abgeschiedene Keramikschicht. Die Keramikschicht ist insbesondere mittels Aerosol-Abscheidung keramischer Partikel vorzugsweise mittels der sogenannten aerosol deposition method abgeschieden. Die Passivierungsschicht kann eine insbesondere elektrische Isolationsschicht sein.

In alternativen Ausführungsformen kann das elektromechanische insbesondere piezoelektrische Bauelement umfassend wenigstens eine Elektrode, wobei das Bauelement eine keramische Passivierungsschicht aufweist, eine Keramikschicht ausgebildet aus einem keramischen elektrisch isolierenden Material ausgewählt aus der Gruppe umfassend Aluminiumoxid, Magnesiumoxid, Zirkonoxid, Titanoxid und/oder Siliziumoxid aufweisen.

Vorzugsweise weist die Keramikschicht eine theoretische Dichte oder eine technologisch erreichbare Maximaldichte im Bereich von 98 % bis 100 %, insbesondere im Bereich von 99 % bis 100 % einer möglichen theoretischen Dichte oder technologisch erreichbaren Maximaldichte von 100 % auf.

In bevorzugten Ausführungsformen ist die Keramikschicht dotiert, vorzugsweise mit Metallen ausgewählt aus der Gruppe umfassend Silber, Nickel, Mangan, Antimon, Molybdän, Tantal, Wolfram, Hafnium, Kalium, Calcium, Strontium, Lithium und/oder Seltenerdmetalle. Seltenerdmetalle sind ausgewählt aus der Gruppe umfassend Scandium, Yttrium, Lanthan, Cer, Praesodym, Neodym, Promethium, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium und/oder Lutetium. Bevorzugte Dotierstoffe sind insbesondere ausgewählt aus der Gruppe umfassend Silber, Nickel, Mangan, Antimon, Molybdän, Tantal, Wolfram, Hafnium, Kalium, Calcium, Strontium, Lithium oder Seltenerdmetalle. Dotierstoffe sind vorzugsweise in Form ihrer Oxide zugesetzt. Vorzugsweise weist die Keramikschicht einen Anteil an Dotierstoffen im Bereich von $\geq$ 0,5 Gew.-% bis $\leq$ 30 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Schicht, auf.

In bevorzugten Ausführungsformen bildet die Keramikschicht eine Oberfläche insbesondere eine Seitenfläche des Bauelementes aus. Die Oberfläche insbesondere Seitenfläche des Bauelementes kann eine ebene wie auch eine unebene beispielsweise konkave oder konvexe Kontur aufweisen. Die keramische Passivierungsschicht kann auch die gesamte freiliegende Fläche ei-

nes Bauelements bedecken. So kann die Keramikschicht als geschlossene Umhüllung des elektromechanischen insbesondere piezoelektrischen Bauelementes ausgebildet sein.

Alternativ kann die Keramikschicht Elektrodenflächen, die in einem Bauelement offen liegen, gezielt abdecken. So kann die Keramikschicht eine selektive Abdeckung von Innenelektrodenlagen an piezoelektrischen Vielschichtaktoren ausbilden. In bevorzugten Ausführungsformen umfasst die keramische Passivierungsschicht wenigstens eine Elektrodenfläche. Die keramische Passivierungsschicht kann die gesamten Elektrodenflächen eines Bauelementes bedecken, oder selektiv beispielsweise alternierende Elektrodenflächen eines Bauelementes. Die keramische Passivierungsschicht kann beispielsweise als Abdeckschicht oder Isolationswall für eine über ein weiteres auftragendes Verfahren anschließend aufgebrachte Metallisierungslage dienen.

Vorzugsweise ist das elektromechanische insbesondere piezoelektrische Bauelement ein Mehrschicht-Bauelement. Bevorzugt ist das piezokeramische Bauelement als piezoelektrischer Aktor insbesondere Vielschichtaktor oder piezoelektrischer Wandler ausgebildet. Weiter bevorzugt ist das piezokeramische Bauelement als Piezosensor, Piezogenerator oder Piezotransformator ausgebildet.

Beispiele und schematische Figuren, die der Veranschaulichung der vorliegenden Erfindung dienen, sind nachstehend angegeben.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines passivierten Piezoaktors 1.

Fig. 2 zeigt eine Draufsicht auf den in Fig. 1 dargestellten Piezoaktor.

Fig. 3 zeigt eine weitere schematische Darstellung eines passivierten Piezoaktors 11.

Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung eines strukturkonform passivierten Piezoaktors 11 mit einer zur Passivierung aufgebrachte Keramikschicht sowie einer nicht passivierten Fläche.

Fig. 5 zeigt eine Draufsicht auf den in Fig. 4 dargestellten Piezoaktor.

Der in Fig. 1 im Schnitt dargestellte Piezoaktor 1 umfasst einen Schichtenstapel, in dem piezoelektrische Keramikschichten 10 und Elektrodenschichten 20 alternierend angeordnet sind. Der Schichtenstapel weist seitlich jeweils eine zur Passivierung aufgebrachte Keramikschicht 80 sowie eine Außenmetallisierung 50 auf.

Die Keramikschicht 80 wurde mittels Aerosol-Abscheidung aufgebracht. Die Keramikschicht 80 ist ausgebildet aus Blei-Zirkonat-Titanat und wurde durch Abscheiden eines Aerosols von Blei-Zirkonat-Titanat-Partikeln in einem Trägergas abgeschieden. Hierzu wurden die Blei-Zirkonat-Titanat-Partikel in Pulverform einem Trägergas unter Bildung eines Aerosols zugeführt, das auf dem Piezoaktor abgeschieden wurde. Auf die Keramikschicht 80 wurde eine Metallisierung 50 ausgebildet aus Silber aufgebracht.

Fig. 2 zeigt eine Draufsicht auf den in Fig. 1 dargestellten Piezoaktor 1, wobei eine piezoelektrische Keramikschicht 10 sowie die seitlich aufgebrachte Keramikschicht 80 und die Außenmetallisierung 50 dargestellt sind.

Fig. 3 zeigt einen Schnitt eines Piezoaktors 11 umfassend einen Schichtenstapel, in dem piezoelektrische Keramikschichten 10 und Elektrodenschichten 20 alternierend angeordnet sind. Der Schichtenstapel weist eine zur Passivierung seitlich aufgebrachte Keramikschicht 80 auf. Die Keramikschicht 80 ist ausgebildet aus Blei-Zirkonat-Titanat wurde mittels Aerosol-

Abscheidung von Blei-Zirkonat-Titanat-Partikeln in einem Trägergas aufgebracht.

Die in Fig. 4 dargestellte Seitenansicht eines Piezoaktors 11 zeigt eine zur Passivierung aufgebrachte Keramikschicht 80 sowie eine nicht passivierte Fläche 70. Die Keramikschicht 80 ist auf einen Schichtenstapel, in dem piezoelektrische Keramikschichten und Elektrodenschichten alternierend angeordnet sind, aufgebracht. Die Keramikschicht 80 ist ausgebildet aus Blei-Zirkonat-Titanat wurde mittels Aerosol-Abscheidung von Blei-Zirkonat-Titanat-Partikeln in einem Trägergas aufgebracht.

Fig. 5 zeigt eine Draufsicht auf den in Fig. 4 dargestellten Piezoaktor 11, wobei die Keramikschicht 80 die piezoelektrische Keramikschicht 10 an einer Seitenfläche vollständig umhüllt, während an zwei gegenüberliegenden Seitenflächen jeweils eine nicht passivierte Fläche 70 verbleibt. Dies verdeutlicht die Möglichkeit zur strukturkonformen Passivierung eines elektromechanischen insbesondere piezoelektrischen Bauelementes mittels Aerosol-Abscheidung.

Patentansprüche

1. Verfahren zur elektrischen Passivierung wenigstens einer Fläche eines elektromechanischen insbesondere piezoelektrischen Bauelementes umfassend wenigstens eine Elektrode, dadurch gekennzeichnet, dass man auf die zu passivierende Fläche mittels Aerosol-Abscheidung von keramischen Partikeln eine Keramikschicht (80) aufbringt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass man die Keramikschicht (80) bei Temperaturen im Bereich von ≥ 400°C bis ≤ 800°C tempert.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Keramikschicht (80) eine Schichtdicke im Bereich von ≥ 0,5 µm bis ≤ 100 µm, vorzugsweise im Bereich von ≥ 1 µm bis ≤ 50 µm, bevorzugt im Bereich von ≥ 5 µm bis ≤ 20 µm, aufweist.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Keramikschicht (80) ausgebildet ist aus Materialien ausgewählt aus der Gruppe umfassend Blei-Zirkonat-Titanat, Lithiumniobat, Kalium-Natrium-Niobat, Barium-Titanat, Blei-Magnesium-Niobat – Blei-Titanat, Blei-Zirkonium-Niobat – Blei-Titanat und/oder Bismuth-Natrium-Titanat, wobei das Material vorzugsweise dem Material der piezoelektrischen Schicht(en) eines piezoelektrischen Bauelementes entspricht.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Keramikschicht (80) ausgebildet ist aus einem keramischen elektrisch isolierenden Material ausgewählt aus der Gruppe umfassend Aluminiumoxid, Magnesiumoxid, Zirkonoxid, Titanoxid und/oder Siliziumoxid.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Keramikschicht (80) dotiert ist, vorzugsweise mit Metallen ausgewählt aus der Gruppe umfassend

Silber, Nickel, Mangan, Antimon, Molybdän, Tantal, Wolfram, Hafnium, Kalium, Calcium, Strontium, Lithium und/oder Seltenerdmetalle.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das elektromechanische insbesondere piezoelektrische Bauelement als piezoelektrischer Aktor insbesondere Vielschichtaktor oder piezoelektrischer Wandler ausgebildet ist, insbesondere als Piezosensor, Piezogenerator oder Piezotransformator.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zu passivierende Fläche wenigstens eine Elektrodenfläche umfasst.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zu passivierende Fläche eine Oberfläche insbesondere eine Seitenfläche des elektromechanischen insbesondere piezoelektrischen Bauelementes ausbildet.

10. Elektromechanisches insbesondere piezoelektrisches Bauelement umfassend wenigstens eine Elektrode aufweisend eine auf das Bauelement aufgebrachte keramische Passivierungsschicht (80) hergestellt nach einem Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche.

11. Elektromechanisches insbesondere piezoelektrisches Bauelement umfassend wenigstens eine Elektrode (20), wobei das Bauelement eine keramische Passivierungsschicht (80) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Keramikschicht (80) eine Schichtdicke im Bereich von ≥ 0,5 µm bis ≤ 100 µm, vorzugsweise im Bereich von ≥ 1 µm bis ≤ 50 µm, bevorzugt im Bereich von ≥ 5 µm bis ≤ 20 µm, aufweist.

12. Bauelement nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Keramikschicht (80) ausgebildet ist aus Materialien ausgewählt aus der Gruppe umfassend Blei-Zirkonat-Titanat, Lithiumniobat, Kalium-Natrium-Niobat, Barium-Titanat, Blei-

Magnesium-Niobat – Blei-Titanat, Blei-Zirkonium-Niobat – Blei-Titanat und/oder Bismuth-Natrium-Titanat, wobei das Material vorzugsweise dem Material der piezoelektrischen Schicht(en) (10) eines piezoelektrischen Bauelementes entspricht.

13. Bauelement nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Keramikschicht (80) ausgebildet ist aus einem keramischen elektrisch isolierenden Material ausgewählt aus der Gruppe umfassend Aluminiumoxid, Magnesiumoxid, Zirkonoxid, Titanoxid und/oder Siliziumoxid.

14. Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Keramikschicht (80) dotiert ist, vorzugsweise mit Metallen ausgewählt aus der Gruppe umfassend Silber, Nickel, Mangan, Antimon, Molybdän, Tantal, Wolfram, Hafnium, Kalium, Calcium, Strontium, Lithium und/oder Seltenerdmetalle.

15. Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Keramikschicht (80) eine Oberfläche insbesondere eine Seitenfläche des Bauelementes ausbildet.

FIG 1

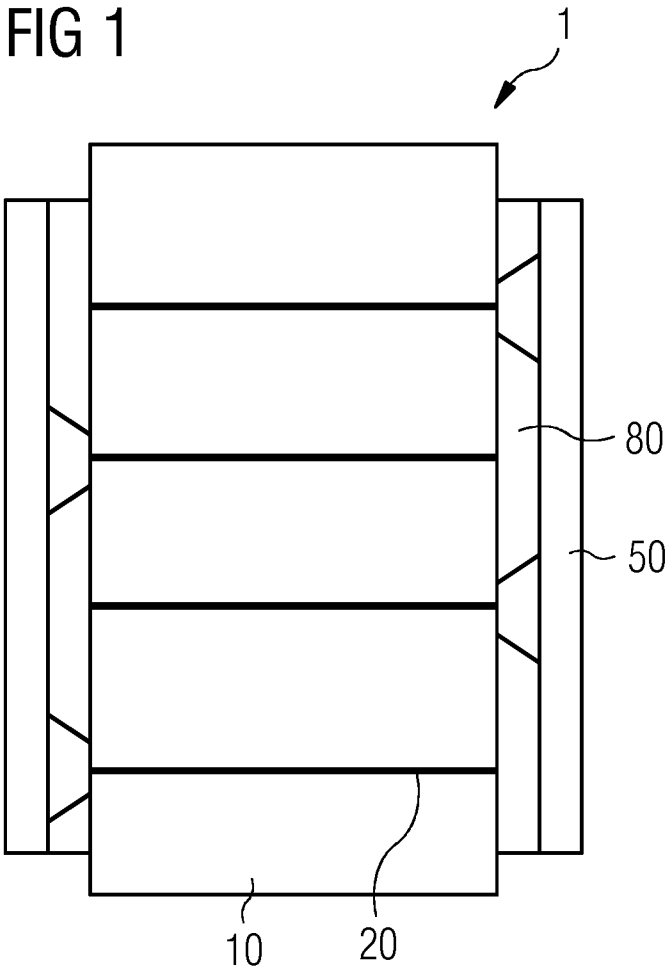


FIG 2

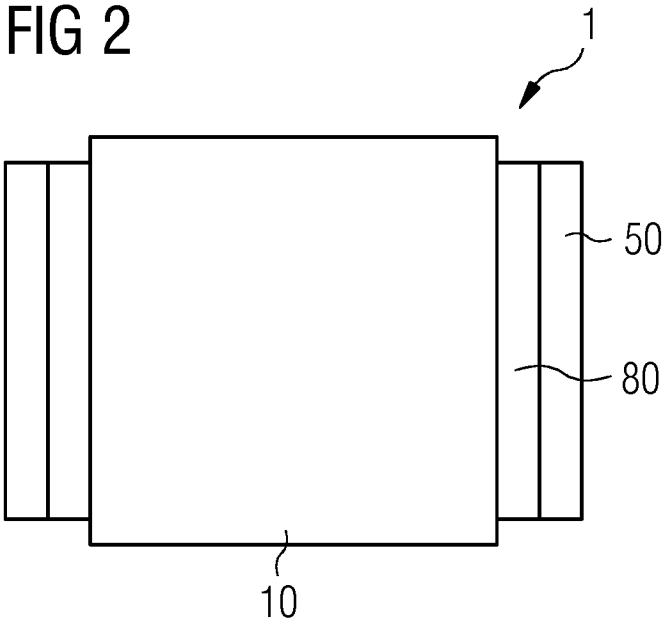


FIG 3

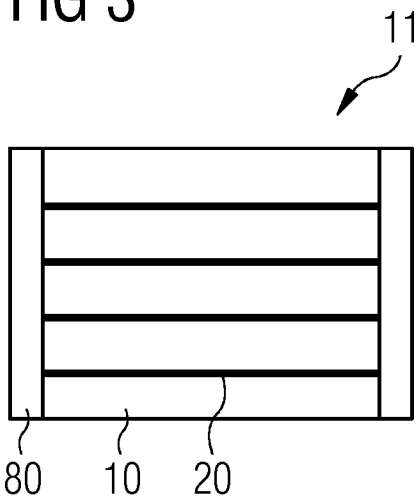


FIG 4

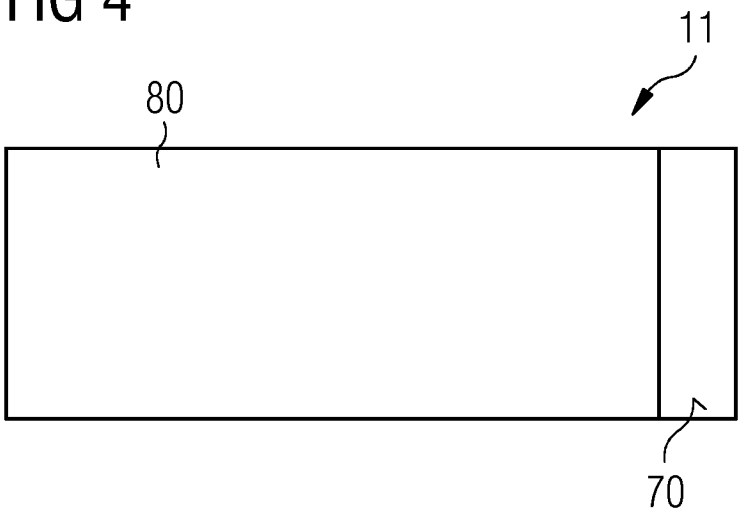


FIG 5

