

(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
15. Dezember 2016 (15.12.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/198183 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H01L 41/053 (2006.01) *H01L 41/22* (2006.01)
B24C 1/00 (2006.01) *H01L 41/27* (2013.01)
H01L 41/083 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/058097

(22) Internationales Anmeldedatum:
13. April 2016 (13.04.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2015 210 797.3 12. Juni 2015 (12.06.2015) DE

(71) Anmelder: CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH
[DE/DE]; Vahrenwalder Straße 9, 30165 Hannover (DE).

(72) Erfinder: ZUMSTRULL, Claus; Zum Vogelherd 3,
93128 Regenstauf (DE). WILDGEN, Andreas; Blaue
Stern Gasse 9, 93047 Regensburg (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, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
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.

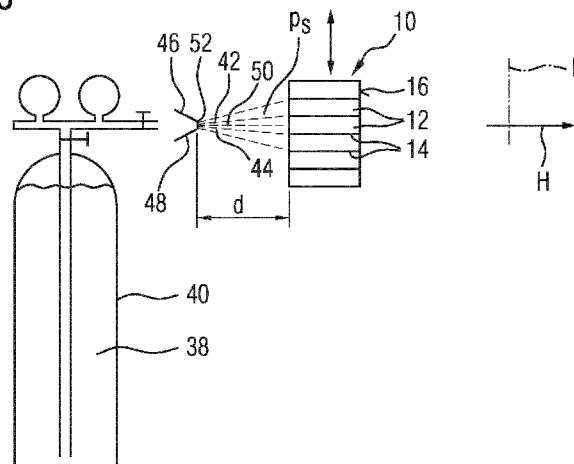
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR THE PRODUCTION OF A PIEZOELECTRIC LAYER STACK, AND PIEZOELECTRIC LAYER
STACK

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES PIEZOELEKTRISCHEN SCHICHTSTAPELS SOWIE
PIEZOELEKTRISCHER SCHICHTSTAPEL

FIG 8



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing a piezoelectric layer stack (10), wherein a layer stack (10) having a plurality of piezoelectric ceramic layers (12) and having a plurality of electrically conductive inner electrodes (14) alternating along a longitudinal axis (L) is provided, wherein, on the surface (16) thereof, the ceramic layers (12) have a first region (18) with a polycrystalline structure (20) and a second region (22) with a loose ceramic material (24) that is purely mechanically adhered to the polycrystalline structure (20), wherein the loose ceramic material (24) is removed from the polycrystalline structure (20) without damaging the polycrystalline structure (20). The invention also relates to a layer stack (10) produced in particular using a method of this type.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2016/198183 A1

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Schichtstapels (10), bei dem ein Schichtstapel (10) mit einer Mehrzahl an piezoelektrischen Keramikschichten (12) und mit einer Mehrzahl an elektrisch leitfähigen Innenelektroden (14), die sich entlang einer Längsachse (L) abwechseln, bereitgestellt wird, wobei die Keramikschichten (12) an ihrer Oberfläche (16) einen ersten Bereich (18) mit einem polykristallinen Gefüge (20) und einen zweiten Bereich (22) mit einem lediglich mechanisch an dem polykristallinen Gefüge (20) anhaftenden losen Keramikmaterial (24) aufweisen, wobei das lose Keramikmaterial (24) von dem polykristallinen Gefüge (20) entfernt wird, ohne das polykristalline Gefüge (20) zu beschädigen. Weiter betrifft die Erfindung einen Schichtstapel (10), der insbesondere mit einem solchen Verfahren hergestellt worden ist.

Beschreibung

Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Schichtstapels sowie piezoelektrischer Schichtstapel

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Schichtstapels sowie einen piezoelektrischen Schichtstapel, der insbesondere mit einem solchen Verfahren hergestellt worden ist.

10

Piezoelektrische Schichtstapel werden als elektronische Bauelemente beispielsweise in Aktuatoreinheiten zum Einspritzen von Kraftstoffen in einen Brennraum eines Zylinders einer Verbrennungskraftmaschine verwendet.

15

Die als beispielsweise Aktuatoreinheit verwendeten Schichtstapel weisen typischerweise eine Mehrzahl an piezoelektrischen Keramiksichten und eine Mehrzahl an elektrisch leitfähigen Innenelektroden auf, wobei jeweils eine der Innenelektroden zwischen zwei piezoelektrischen Keramiksichten angeordnet ist. Besonders häufig werden als elektronische Bauelemente ausgebildete Schichtstapel in Form von Piezoaktoren verwendet, um als Betätigungselement in Einspritzventilen der verschiedensten Motortypen für Kraftfahrzeuge zur Anwendung zu kommen.

25

Mit zunehmender Anforderung an Emission und Verbrauch steigen auch die Anforderungen an die Einspritzung des Kraftstoffes in den Brennraum. Höhere Drücke, Temperaturen, sowie Mehrfacheinspritzungen erfordern demzufolge eine höhere Genauigkeit bei der Zumessung des eingespritzten Kraftstoffes. Dabei geht der Trend zu höheren elektrischen Feldstärken und höheren Laufzeitanforderungen. Dabei steigt die Gefahr von elektrischen Überschlägen an der Oberfläche des Schichtstapels.

30

35

Die Gefahr elektrischer Überschläge an der Oberfläche des Schichtstapels erhöht sich dabei dadurch, dass beispielsweise durch Schleifprozesse des Schichtstapels typischerweise die oberste Kornschicht mechanisch beschädigt wird, wobei sich das

lose Kornmaterial jedoch nicht aus dem gesinterten Keramikverband löst. Dadurch entsteht eine lose Kornschicht, die nur mechanisch mit dem keramischen Kristallkörper verbunden ist. Diese lose Kornschicht bildet unter mechanischer und thermomechanischer Belastung die Basis für Degradationserscheinungen der Keramik sowie einen leitfähigen Pfad im ansonsten hochohmigen Keramikmaterial. Denn durch die lose Kornschicht bilden sich Mikrorisse an der Oberfläche des Schichtstapels aus, in die Feuchtigkeit und/oder Metallionen migrieren und so einen elektrischen Leitpfad zwischen zwei benachbarten Innenelektroden bilden können.

Fig. 14 und Fig. 15 zeigen schematisch die angesprochene Problematik.

In Fig. 14 ist ein Schichtstapel 10 gezeigt, der eine Mehrzahl an piezoelektrischen Keramikschichten 12 und eine Mehrzahl an elektrisch leitfähigen Innenelektroden 14 aufweist, wobei entlang einer Längsachse L des Schichtstapels 10 jeweils eine Elektrode 14 zwischen zwei Keramikschichten 12 angeordnet ist. Fig. 14 zeigt außerdem einen Bereich einer Oberfläche 16 einer der Keramikschichten 12 in einer vergrößerten Ansicht. In dieser vergrößerten Ansicht ist zu sehen, dass an der Oberfläche 16 die Keramikschicht 12 einen ersten Bereich 18 aufweist, in dem das Material der Keramikschicht 12 als ein polykristallines Gefüge 20, d. h. als geschlossener Kristall, vorliegt. Weiter liegt an der Oberfläche 16 der Keramikschicht 12 ein zweiter Bereich 22 vor, in dem ein piezoelektrisches Keramikmaterial 24 vorhanden ist, das nicht mehr Bestandteil des polykristallinen Gefüges 20 ist, sondern lediglich mechanisch an dem polykristallinen Gefüge 20 anhaftet. Dieses Keramikmaterial 24 bildet somit einen im Bezug auf das polykristalline Gefüge 20 losen Kornverbund 26.

Fig. 15 zeigt eine REM-Aufnahme eines von der Oberfläche 16 der Keramikschicht 12 abgezogenen Kornverbundes 26.

Solche losen Kornverbunde 26 sind zwar nicht mehr Teil des polykristallinen Gefüges 20, haften jedoch mechanisch noch relativ stark am polykristallinen Gefüge 20 an.

- 5 Fig. 16 zeigt dazu in Bild a) eine mikroskopische Aufnahme der Oberfläche 16, wobei die losen Kornverbunde 26 durch helle Bereiche dargestellt sind. Im Bild b) ist die Oberfläche 16 gezeigt, nachdem der Schichtstapel 10 zum Entfernen von Verschmutzungen und Partikeln in einem Lösungsmittelbad ultraschallbehandelt worden ist. Da die elektrischen Feldstärken in der Vergangenheit nicht so hoch waren, war diese Art der Vorbehandlung zur Reinigung des Schichtstapels 10 ausreichend. In Bild b) ist jedoch zu sehen, dass auf der Oberfläche 16 auch weiterhin lose Kornverbunde 26 in großer Anzahl vorhanden sind.
- 10 Das mechanische Anhaften der Kornverbunde 26 ist demnach so stark, dass übliche Reinigungsverfahren wie beispielsweise Ultraschall die losen Kornverbunde 26 nicht vom Schichtstapel 10 lösen können.
- 20 Wie in Fig. 14 zu sehen ist, bilden sich im ungünstigsten Fall zwischen dem polykristallinen Gefüge 20 und dem Kornverbund 26 Pfade 28 aus, die einen elektrisch leitfähigen Pfad 28 bilden können, wenn beispielsweise in diesem Bereich der Oberfläche 16 Feuchtigkeit eindringt.
- 25 Dies ist insbesondere nachteilig, wenn der Schichtstapel 10 mit sehr hohen elektrischen Feldstärken beaufschlagt wird, da es dann zu elektrischen Überschlügen in dem Schichtstapel 10 kommen kann.
- 30 Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Schichtstapels sowie einen entsprechenden Schichtstapel vorzuschlagen, durch das die vorgenannten Probleme überwunden werden können.
- 35 Diese Aufgabe wird mit einem Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Schichtstapels gemäß Anspruch 1 gelöst.

Ein piezoelektrischer Schichtstapel, der insbesondere mit einem solchen Verfahren hergestellt worden ist, ist Gegenstand des nebengeordneten Anspruches.

- 5 Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Bei einem Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Schichtstapels werden die folgenden Schritte durchgeführt: In
10 Schritt S1) wird ein Schichtstapel bereitgestellt, der eine Mehrzahl an piezoelektrischen Keramikschichten und eine Mehrzahl an elektrisch leitfähigen Innenelektroden aufweist, wobei entlang einer Längsachse des Schichtstapels jeweils eine In-
nenelektrode zwischen zwei Keramikschichten angeordnet ist. Die
15 piezoelektrischen Keramikschichten weisen an ihrer Oberfläche einen ersten Bereich auf, in dem ein polykristallines Gefüge vorliegt. Weiter weisen die piezoelektrischen Keramikschichten einen zweiten Bereich auf, in dem an dem polykristallinen Gefüge lediglich mechanisch anhaftendes piezoelektrisches Keramik-
20 material vorliegt. In einem Schritt S2) wird das an dem polykristallinen Gefüge lediglich mechanisch anhaftende piezoelektrische Keramikmaterial ohne Beschädigung des polykristallinen Gefüges entfernt.

- 25 Die piezoelektrischen Keramikschichten sind neben ihrer Oberfläche auch im Volumen aus dem polykristallinen Gefüge gebildet.

Unter „Oberfläche“ soll dabei ein Bereich verstanden werden, der
30 sich etwa 15 μm – 20 μm in das Volumen der Keramikschichten des Schichtstapels hinein erstreckt.

Durch ein solches Herstellungsverfahren wird die Oberfläche des Schichtstapels von den losen Kornverbunden befreit, ohne jedoch
35 mechanische Beschädigungen an dem polykristallinen Gefüge zu verursachen, die ihrerseits wieder zur Bildung von neuen losen Kornverbunden führen könnten. Dadurch existieren bzw. entstehen im Betrieb keine losen Korngrenzen mehr, die als niederohmiger

Pfad einen Ausfall des Schichtstapels als Bauteil verursachen könnten.

Vorzugsweise werden bei dem beschriebenen Verfahren die folgenden Schritte durchgeführt:

- 5 S2a) Bereitstellen eines durch Druckbeaufschlagung verflüssigten Gases;
 - S2b) Entspannen des Gases derart, dass sich Mikrokristalle bilden;
 - 10 S2c) Ausrichten und Beschleunigen der Mikrokristalle zu einer gerichteten Strömung;
 - S2d) Beaufschlagen einer Oberfläche des Schichtstapels mit der gerichteten Strömung.
- 15 Die Beschleunigung in Schritt S2c) erfolgt dabei vorzugsweise über Zufuhr von Druckluft zu den sich bildenden bzw. gebildeten Mikrokristallen.

Beim Beaufschlagen der Oberfläche des Schichtstapels mit der Strömung aus Mikrokristallen wirkt vorteilhaft eine mechanische Energie auf das mechanisch anhaftende piezoelektrische Keramikmaterial, d. h. den Kornverbund, welche ausreicht, um dieses nur mechanisch anhaftende Keramikmaterial von dem polykristallinen Gefüge zu entfernen. Die Verwendung von Mikrokristallen, die sich aus einem entspannten, zuvor durch Druckbeaufschlagung verflüssigten Gas, gebildet haben, haben den Vorteil, dass die Mikrokristalle nach Kontakt der Oberfläche mit dem Schichtstapels wieder in den gasförmigen Zustand übergehen und somit keine Rückstände auf der Oberfläche des Schichtstapels zurückbleiben, wie dies beispielsweise bei einem Beaufschlagen der Oberfläche mit Sandpartikeln, Glaspartikeln o. ä. der Fall wäre.

Daher ist es von Vorteil, wenn ein Gas verwendet wird, das bei Standardbedingungen, d. h. Raumtemperatur, insbesondere 20° C, und einem Druck von $p=1013$ mbar gasförmig ist.

Beispielsweise kann daher als verflüssigtes Gas vorteilhaft CO₂, N₂ und/oder ein Edelgas verwendet werden.

Vorzugsweise wird die Oberfläche des Schichtstapels mit einem
5 Abstand von 1 cm – 10 cm, vorzugsweise 2 cm – 8 cm, vorzugsweise
3 cm – 6 cm, insbesondere 4 cm, zu einer Quelle der Strömung über
die Strömung bewegt. Dieser Bereich hat sich in Experimenten als
besonders vorteilhaft erwiesen, Denn bei einem zu geringen
Abstand sind die Mikrokristalle in der Strömung noch nicht
10 ausreichend beschleunigt, um das mechanisch anhaftende
piezoelektrische Keramikmaterial vollständig von der Oberfläche
des Schichtstapels entfernen zu können. Ein zu großer Abstand
dagegen resultiert in einer zu stark aufgefächerten Strömung.
Vorzugsweise hat die Strömung dort, wo sie auf die Oberfläche des
15 Schichtstapels auftrifft, eine Breite, die der Breite des
Schichtstapels entspricht.

Dazu ist es ebenfalls vorteilhaft, wenn die Strömung einen Druck
von 2 bar – 25 bar, insbesondere 5 bar – 20 bar, mehr insbesondere
20 10 bar – 16 bar, aufweist.

Bevorzugte Beaufschlagungszeiten bewegen sich in einem Bereich
zwischen 2 Sekunden und 15 Sekunden, um das mechanisch anhaftende
piezoelektrische Keramikmaterial vollständig von der Oberfläche
25 des Schichtstapels entfernen zu können.

„Vollständig“ bedeutet dabei, dass mehr als 80 % der Oberfläche
der Keramikschicht frei ist von Keramikmaterial, das lediglich
mechanisch an dem polykristallinen Gefüge anhaftet. Das heißt,
30 dass an weniger als 20 % der Oberfläche der Keramikschichten das
lediglich mechanisch anhaftende piezoelektrische
Keramikmaterial vorliegt.

Vorzugsweise wird nach Entfernen des an dem polykristallinen
35 Gefüge lediglich mechanisch anhaftenden piezoelektrischen
Keramikmaterials die Oberfläche des Schichtstapels in einem
Schritt S3) deionisiert. Insbesondere erfolgt dies durch Ab-

blasen mit ionisierter Luft. Alternativ oder zusätzlich kann jedoch der Schichtstapel auch in einem Lösungsmittelbad mit Ultraschall beaufschlagt werden. Das Deionisieren hat den Vorteil, dass dabei die Oberfläche des Schichtstapels ladungsfrei und somit homogen wird.

Vorteilhaft wird die Oberfläche des Schichtstapels nach dem Deionisieren in einem Schritt S4) passiviert. Dazu wird beispielsweise ein Passivierungslack aufgetragen. Die Passivierung der Oberfläche des Schichtstapels hat den Vorteil, dass elektrische Überschlüge im Betrieb des Schichtstapels vermieden werden können.

Ein piezoelektrischer Schichtstapel, der insbesondere mit einem wie oben beschriebenen Verfahren hergestellt worden ist, weist eine Mehrzahl an aus piezoelektrischem Keramikmaterial gebildeten Keramikschichten und eine Mehrzahl an elektrisch leitfähigen Innenelektroden auf. Entlang einer Längsachse des Schichtstapels ist jeweils eine Innenelektrode zwischen zwei Keramikschichten angeordnet. Die piezoelektrischen Keramikschichten weisen an ihrer Oberfläche einen ersten Bereich, in dem ein polykristallines Gefüge vorliegt, und einen zweiten Bereich auf, in dem an dem polykristallinen Gefüge lediglich mechanisch anhaftendes piezoelektrisches Keramikmaterial vorliegt. An weniger als 20 % der Oberfläche der Keramikschichten liegt das lediglich mechanisch anhaftende piezoelektrische Keramikmaterial vor.

Ein solcher piezoelektrischer Schichtstapel hat den Vorteil, dass auch bei Beaufschlagung des Schichtstapels mit sehr hohen Feldstärken in nur geringem Maße mit elektrischen Überschlügen durch unerwünschte leitfähige Pfade, die sich zwischen dem polykristallinen Gefüge und den losen Kornverbunden an der Oberfläche des polykristallinen Gefüges ausbilden, zu rechnen ist. Denn diese losen Kornverbunde sind in dem piezoelektrischen Schichtstapel weitgehend nicht mehr vorhanden.

Vorteilhaft weisen die piezoelektrischen Keramikschichten eine mittlere Rauheit von $0,5\text{ }\mu\text{m}$ – $3\text{ }\mu\text{m}$, insbesondere $1\text{ }\mu\text{m}$ – $2\text{ }\mu\text{m}$, auf. Die Rauheit in diesem Bereich hat den Vorteil, dass nachfolgend auf die Oberfläche des Schichtstapels aufzubringende Materialschichten besonders gut an dem Schichtstapel haften können.

Vorzugsweise ist an der Oberfläche der Keramikschichten eine Passivierungsschicht, insbesondere ein Passivierungslack angeordnet.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung werden nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Darin zeigt:

Fig. 1 ein Flussdiagramm, das schematisch die Schritte darstellt, welche bei einem Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Schichtstapels durchgeführt werden;

Fig. 2 eine erste Möglichkeit zum Deionisieren des Schichtstapels nach Beaufschlagung mit der gerichteten Strömung;

Fig. 3 eine zweite Möglichkeit zur Deionisierung des Schichtstapels nach Beaufschlagung mit der gerichteten Strömung;

Fig. 4 den gemäß Fig. 6 bzw. Fig. 7 deionisierten Schichtstapel, der an seiner Oberfläche eine Passivierungsschicht aufweist;

Fig. 5 ein Flussdiagramm, welches schematisch Teilschritte darstellt, die in dem Verfahren gemäß Fig. 1 durchgeführt werden;

Fig. 6 ein durch Druckbeaufschlagung verflüssigtes Gas, wie es in dem Verfahren gemäß Fig. 1 verwendet wird;

Fig. 7 das druckbeaufschlagte verflüssigte Gas aus Fig. 6, das durch Öffnen des Gasbehälters entspannt und durch eine Ausrichtvorrichtung zu einer gerichteten Strömung ausgerichtet wird;

Fig. 8 einen piezoelektrischen Schichtstapel, der mit der gemäß Fig. 7 gebildeten Strömung beaufschlagt wird;

Fig. 9 eine mikroskopische Aufnahme eines Längsschnittes durch einen Schichtstapel, bei dem das Verfahren gemäß Fig. 1 nicht durchgeführt worden ist;

Fig. 10 eine REM-Aufnahme des Schichtstapels gemäß Fig. 9;

Fig. 11 eine mikroskopische Aufnahme eines Längsschnittes durch einen Schichtstapel, bei dem das Verfahren gemäß Fig. 1 durchgeführt worden ist;

Fig. 12 eine REM-Aufnahme des Schichtstapels gemäß Fig. 11;

Fig. 13 einen Vergleich mikroskopischer Aufnahmen von Schichtstapeln, die a) unbehandelt, b) mit einem Ultraschallbad vorgereinigt, c) mit dem gemäß Fig. 1 beschriebenen Verfahren gereinigt worden sind;

Fig. 14 einen Schichtstapel nach dem Stand der Technik;

Fig. 15 eine REM-Aufnahme einer losen, von dem Schichtstapel aus Fig. 14 abgelösten, Kornschicht; und

Fig. 16 einen Vergleich mikroskopischer Aufnahmen eines a) unbehandelten, b) mit einem Ultraschallbad vorgereinigten Schichtstapels.

Fig. 1 zeigt ein Flussdiagramm, das schematisch Verfahrensschritte zur Herstellung eines piezoelektrischen Schichtstapels darstellt.

Dabei wird im Schritt S1) ein Schichtstapel 10 bereitgestellt, der aus einer Mehrzahl an piezoelektrischen Keramikschichten 12 und einer Mehrzahl an elektrisch leitfähigen Innenelektroden 14 aufgebaut ist, welche sich in Richtung einer Längsachse L des Schichtstapels 10 abwechseln. Die Keramikschichten 12 weisen an ihrer Oberfläche 16 einen ersten Bereich 18 auf, in dem ein Keramikmaterial 24 als polykristallines Gefüge 20 vorliegt, sowie einen zweiten Bereich 22, in dem das Keramikmaterial 24 an dem polykristallinen Gefüge 20 lediglich mechanisch anhaftet, jedoch keinen Teil des polykristallinen Gefüges 20 bildet.

In Schritt S2) wird dann das lediglich mechanisch anhaftende Keramikmaterial 24 von dem polykristallinen Gefüge 20 entfernt, und zwar derart, dass das polykristalline Gefüge 20 nicht beschädigt wird.

Durch das Entfernen des Keramikmaterials 24 von dem polykristallinen Gefüge 20 der Keramikschichten 12 kann sich die Oberfläche 16 der Keramikschicht elektrostatisch aufladen, was für nachfolgende Behandlungsschritte des Schichtstapels 10 ungünstig sein kann. Deshalb wird in Schritt S3) die Oberfläche 16 des Schichtstapels 10 deionisiert.

Fig. 2 und Fig. 3 zeigen dazu schematisch Momentaufnahmen von möglichen Deionisierungsverfahren. In Fig. 2 wird beispielsweise zum Deionisieren die Oberfläche 16 des Schichtstapels 10, die durch das Entfernen des Keramikmaterials 24 elektrostatisch aufgeladen ist, mit ionisierter Luft 30 abgeblasen. Alternativ oder zusätzlich kann auch, wie in Fig. 3 gezeigt, der Schichtstapel 10 in einem Lösungsmittelbad 32 mit Ultraschall 34 beaufschlagt werden.

Um elektrische Überschlüge im Betrieb des Schichtstapels 10 zu vermeiden, wird nach dem Deionisieren der Oberfläche 16 des Schichtstapels 10 die Oberfläche 16 des Schichtstapels 10 in einem Schritt S4) passiviert, beispielsweise indem ein Passivierungslack 36 auf die Oberfläche 16 aufgetragen wird. Ein

solcher mit einem Passivierungslack 36 behandelter Schichtstapel 10 ist in Fig. 4 gezeigt.

5 S3) und S4) sind optionale Verfahrensschritte bei dem Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Schichtstapels 10, die abhängig von der nachfolgenden Weiterbehandlung des Schichtstapels 10 durchgeführt werden können oder nicht.

10 Fig. 5 zeigt ein Flussdiagramm, das schematische Teilschritte darstellt, welche in Schritt S2) zum Entfernen des Keramikmaterials 24 von dem polykristallinen Gefüge 20 durchgeführt werden können.

15 Beispielsweise kann das lose Keramikmaterial 24 durch mechanisches Strahlen von dem polykristallinen Gefüge 20 entfernt werden.

Beispielsweise wird dazu in Schritt S2a) ein Gas 38 bereitgestellt, das durch Druckbeaufschlagung verflüssigt worden ist.
20 Fig. 6 zeigt hierzu das verflüssigte Gas 38, das in einem Druckbehältnis 40 bereitgestellt wird. Das Druckbehältnis 40 sowie das darin angeordnete verflüssigte Gas 38 haben eine Temperatur T , die der Umgebungstemperatur T , beispielsweise der Raumtemperatur, entspricht. Jedoch ist der Druck p in dem Gas 38
25 deutlich höher als der Umgebungsdruck p_0 . Durch diese Druckbeaufschlagung mit dem hohen Druck p liegt das Gas 38 in dem Druckbehältnis 40 als Flüssigkeit vor.

In Schritt S2b) wird das Gas 38 dann entspannt. Dazu wird
30 beispielsweise, wie in Fig. 7 schematisch dargestellt ist, das Druckbehältnis 40 geöffnet, so dass das Gas 38 in die Umgebung außerhalb des Druckbehältnisses 40 entweichen kann, wo ein deutlich niedriger Druck p_0 herrscht als im Druckbehältnis 40. Beim Entspannen des Gases 38 vergrößert sich dessen Volumen, wozu
35 das Gas 38 Volumenarbeit gegen die Umgebung verrichten muss. Die Energie hierzu wird dem Gas selbst entnommen, wodurch es von der Umgebungstemperatur T auf eine Temperatur T_1 abkühlt, die deutlich niedriger ist als die Umgebungstemperatur T . Beim

Abkühlen kondensiert das Gas 38 durch den Energieverlust zu einem Feststoff 42, insbesondere in der Form von Mikrokristallen 44.

Um das aus dem Druckbehältnis 40 austretende, expandierende Gas 38 und die sich dabei bildenden Mikrokristalle 44 als mechanische Partikel zum Behandeln der Oberfläche 16 des Schichtstapels 10 nutzen zu können, wird das expandierende Gas 38 in einem Schritt S2c) ausgerichtet, beispielsweise durch Verwendung einer Ausrichtungsvorrichtung 46, z. B. einer Blende 48, so dass eine gerichtete Strömung 50 aus den sich bildenden Mikrokristallen 44 entsteht. Schematisch sind die Schritte S2b) und S2c) in einer Momentaufnahme des Verfahrens in Fig. 7 gezeigt.

In einem Schritt S2d) wird dann die Oberfläche 16 des Schichtstapels 10 mit der gerichteten Strömung 50 beaufschlagt. In einer schematischen Momentaufnahme ist dies in Fig. 8 gezeigt.

Dabei wird die gerichtete Strömung 50 stationär gehalten, d. h. eine Quelle 52, in Fig. 8 der Austrittspunkt der Mikrokristalle 44 aus der Ausrichtungsvorrichtung 46, verändert die Position im Raum nicht. Um die gesamte Oberfläche 16 des Schichtstapels 10 mit der gerichteten Strömung 50 beaufschlagen zu können, wird jedoch der Schichtstapel 10, wie in Fig. 8 durch den Doppelpfeil dargestellt, über die gerichtete Strömung 50 bewegt. Dies kann beispielsweise so erfolgen, dass die Längsachse L des Schichtstapels 10 exakt senkrecht zu einer Hauptströmungsrichtung H der gerichteten Strömung 50 angeordnet ist, es ist jedoch auch möglich, dass ein geneigter Winkel zwischen 0° und 90° zwischen der Längsachse L und der Hauptströmungsrichtung H angenommen wird.

Vorteilhaft wird der Schichtstapel dabei kontinuierlich um seine Längsachse L gedreht.

Ein Abstand d zwischen der Quelle 52 der gerichteten Strömung 50 und der Oberfläche 16 des Schichtstapels 10 liegt vorteilhaft in einem Bereich zwischen 1 cm – 10 cm. Besonders vorteilhaft ist ein Abstand d von 3 cm bis 6 cm. Je näher die Quelle 52 dabei an

der Oberfläche 16 angeordnet ist, umso mehr Mikrokristalle 44 schlagen auf einem definierten Flächenbereich der Oberfläche 16 ein, d. h. eine umso höhere Kraft pro Fläche wirkt auf die Oberfläche 16 in diesem Flächenbereich. Wird dieser Abstand d zu
5 nahe gewählt, kann dies zu einer Beschädigung des polykristallinen Gefüges 20 führen.

Gleiche Überlegungen sind anzustellen bezüglich des Druckes p_s , mit dem die gerichtete Strömung 50 auf die Oberfläche 16 des
10 Schichtstapels 10 auftrifft. Ist der Druck p_s zu gering, kann das lose Keramikmaterial 24 nicht vollständig von dem polykristallinen Gefüge 20 gelöst werden. Ein optimaler Druckbereich für den Druck p_s liegt daher zwischen 2 bar und 25 bar, insbesondere 10 bar bis 16 bar.

15 Als eine bevorzugte Strahlungszeit, in der die Oberfläche 16 mit der gerichteten Strömung 50 beaufschlagt wird, ist ein Bereich zwischen 2 Sekunden und 15 Sekunden ermittelt worden. Diese Zeit reicht dazu aus, das lose Keramikmaterial 24 von der Oberfläche
20 16 des Schichtstapels 10 zu entfernen.

Kommerziell in Druckbehältnissen 40 erhältliche Gase, die in dem Verfahren zur Herstellung des piezoelektrischen Schichtstapels 10 verwendet werden können, sind beispielsweise CO_2 , N_2 und/oder
25 Edelgase wie beispielsweise Argon. Sie haben allesamt den Vorteil, dass sie einerseits ungiftig sind und andererseits bei Standardbedingungen gasförmig sind, so dass sie nach Kontakt mit der Oberfläche 16 des Schichtstapels 10 wieder in den gasförmigen Zustand übergehen und sich von der Oberfläche 16 des
30 Schichtstapels 10 verflüchtigen. Dadurch entstehen keinerlei Rückstände durch den verwendeten Feststoff 42, der zum Behandeln der Oberfläche 16 des Schichtstapels 10 verwendet wird.

Fig. 9 bis Fig. 12 zeigen Aufnahmen von Oberflächen 16 von
35 Schichtstapeln 10, die einerseits nicht mit dem beschriebenen Verfahren behandelt worden sind (Fig. 9 und Fig. 10), und andererseits mit dem Verfahren wie beschrieben behandelt worden sind (Fig. 11, Fig. 12).

Fig. 9 und Fig. 11 zeigen dabei jeweils eine mikroskopische Aufnahme eines Längsschnittes des Schichtstapels 10, während Fig. 10 und Fig. 12 jeweils eine REM-Aufnahme der Oberfläche 16 des Schichtstapels 10 gemäß Fig. 9 bzw. Fig. 11 zeigen.

5

In Fig. 9 ist, durch die Pfeile gekennzeichnet, zu erkennen, dass sich loses Keramikmaterial 24 an dem polykristallinen Gefüge 20 befindet.

10 In Fig. 10 stellt sich dieses lose Keramikmaterial 24 durch die unregelmäßige Verteilung von Kristallkörnern 54 an der Oberfläche 16 dar.

In Fig. 11 ist zu erkennen, dass sich an dem polykristallinen
15 Gefüge 20 im Vergleich zu Fig. 9 kein loses Keramikmaterial 24 mehr befindet. In Fig. 12 zeigt sich daher die Oberfläche 16 des mit dem Verfahren behandelten Schichtstapels 10 als eine regelmäßige Struktur aus Kristallkörnern 54. Die mittlere Rauheit R_a bewegt sich bei dem mit dem Verfahren behandelten
20 Schichtstapel 10 dabei im Bereich von $0,5\ \mu\text{m}$ – $3\ \mu\text{m}$, was besonders vorteilhaft ist, wenn die Oberfläche 16 des Schichtstapels 10 später mit weiteren Materialien beschichtet werden soll, beispielsweise mit dem Passivierungslack 36.

25 Fig. 13 zeigt zusammenfassend mikroskopische Aufnahmen der Oberfläche 16 von Schichtstapeln 10, die a) vollkommen unbehandelt sind, b) lediglich mit Ultraschall 34 in einem Lösungsmittelbad 32 behandelt worden sind, und c) mit dem oben beschriebenen Verfahren behandelt worden sind, d. h. wobei loses
30 Keramikmaterial 24 durch Beaufschlagen mit verflüssigtem Gas 38 entfernt worden ist.

Das lose Keramikmaterial stellt sich in den Aufnahmen gemäß a), b) und c) als helle Flecke dar. Es ist zu erkennen, dass durch
35 die Ultraschall-Reinigung des Schichtstapels 10 an der Oberfläche 16 kleinere lose Partikel aus Keramikmaterial 24 im Vergleich zu dem unbehandelten Schichtstapel 10 entfernt werden

konnten. Probleme im späteren Betrieb des Schichtstapels 10 bringen jedoch nicht die kleineren, durch Ultraschall entfernbaren Partikel, mit sich, sondern die größeren Kornverbunde 26, die, wie in Aufnahme b) zu sehen ist, weiterhin auf der Oberfläche 16 des Schichtstapels 10 verbleiben und somit nicht von dem polykristallinen Gefüge 20 entfernt worden sind. In Aufnahme c) ist dagegen zu erkennen, dass weitgehend sämtliche Partikel, die das lose Keramikmaterial 24 bilden, entfernt werden konnten. Mehr als 80 % der Oberfläche 16 des Schichtstapels 10 sind somit frei von dem losen Keramikmaterial 24 und an weniger als 20 % der Oberfläche 16 der Keramikschichten 12 liegt das lediglich mechanisch anhaftende piezoelektrische Keramikmaterial 24 vor.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Schichtstapels (10), aufweisend die Schritte:

- 5 S1) Bereitstellen eines Schichtstapels (10) mit einer Mehrzahl an piezoelektrischen Keramikschichten (12) und einer Mehrzahl an elektrisch leitfähigen Innenelektroden (14), wobei entlang einer Längsachse (L) des Schichtstapels (10) jeweils eine Innenelektrode (14) zwischen zwei
- 10 Keramikschichten (12) angeordnet ist, und wobei die piezoelektrischen Keramikschichten (12) an ihrer Oberfläche (16) einen ersten Bereich (18), in dem ein polykristallines Gefüge (20) vorliegt, und einen zweiten Bereich (22) aufweisen, in dem an dem polykristallinen
- 15 Gefüge (20) lediglich mechanisch anhaftendes piezoelektrisches Keramikmaterial (24) vorliegt;
- S2) Entfernen des an dem polykristallinen Gefüge (20) lediglich mechanisch anhaftenden piezoelektrischen Keramikmaterials (24) ohne Beschädigung des polykristallinen Gefüges (20).

20

2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch die Schritte:

- S2a) Bereitstellen eines durch Druckbeaufschlagung verflüssigten Gases (38);
- 25 S2b) Entspannen des Gases (38) derart, dass sich Mikrokristalle (44) bilden;
- S2c) Ausrichten der Mikrokristalle (44) zu einer gerichteten Strömung (50);
- S2d) Beaufschlagen einer Oberfläche (16) des Schichtstapels (10)
- 30 mit der gerichteten Strömung (50).

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass als verflüssigtes Gas (38) CO₂ und/oder N₂ und/oder ein Edelgas verwendet wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3,
dadurch gekennzeichnet, dass die Oberfläche (16) des
Schichtstapels (10) mit einem Abstand (d) von 1 cm bis 10 cm,
vorzugsweise 2 cm bis 8 cm, vorzugsweise 3 cm bis 6 cm, ins-
5 besondere 4 cm, zu einer Quelle (52) der Strömung (50) über die
Strömung (50) bewegt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass die Strömung (50) einen Druck (p_s)
10 von 2 bar bis 25 bar, insbesondere 5 bar bis 20 bar, insbesondere
10 bar bis 16 bar, insbesondere 14 bar, aufweist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, dass nach Entfernen des an dem
15 polykristallinen Gefüge (20) lediglich mechanisch anhaftenden
piezoelektrischen Keramikmaterials (24) die Oberfläche (16) des
Schichtstapels (10) in einem Schritt S3) deionisiert wird,
insbesondere durch Abblasen mit ionisierter Luft (30) und/oder
durch Beaufschlagen mit Ultraschall (34) in einem Lösungs-
20 mittelbad (32).
7. Verfahren nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass die Oberfläche (16) des
Schichtstapels (10) nach dem Deionisieren in einem Schritt S4)
25 passiviert wird, insbesondere durch Auftragen eines Passi-
vierungslacks (36).
8. Piezoelektrischer Schichtstapel (10), insbesondere her-
gestellt mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
30 aufweisend eine Mehrzahl an aus piezoelektrischem
Keramikmaterial (24) gebildeten Keramiksichten (12) und eine
Mehrzahl an elektrisch leitfähigen Innenelektroden (14), wobei
entlang einer Längsachse (L) des Schichtstapels (10) jeweils eine
Innenelektrode (14) zwischen zwei Keramiksichten (12) an-

geordnet ist, wobei die piezoelektrischen Keramiksichten (12) an ihrer Oberfläche (16) einen ersten Bereich (18), in dem ein polykristallines Gefüge (20) vorliegt, und einen zweiten Bereich (22) aufweisen, in dem an dem polykristallinen Gefüge (20) lediglich mechanisch anhaftendes piezoelektrisches Keramikmaterial (24) vorliegt, wobei an weniger als 20 % der Oberfläche (16) der Keramiksichten (12) das lediglich mechanisch anhaftende piezoelektrische Keramikmaterial (24) vorliegt.

10

9. Piezoelektrischer Schichtstapel (10) nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die piezoelektrischen Keramiksichten (12) eine mittlere Rauheit (Ra) von 0,5 μm bis 3 μm , insbesondere 1 μm bis 2 μm , aufweisen.

15

10. Piezoelektrischer Schichtstapel (10) nach einem der Ansprüche 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass an der Oberfläche (16) der Keramiksichten (12) eine Passivierungsschicht, insbesondere ein Passivierungslack (36), angeordnet ist.

20

1/9

FIG 1

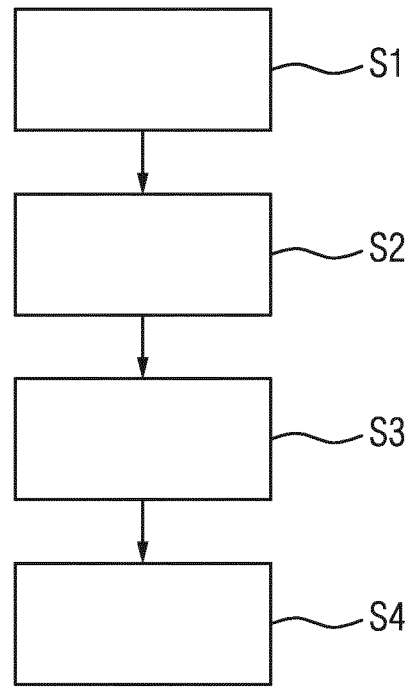


FIG 2

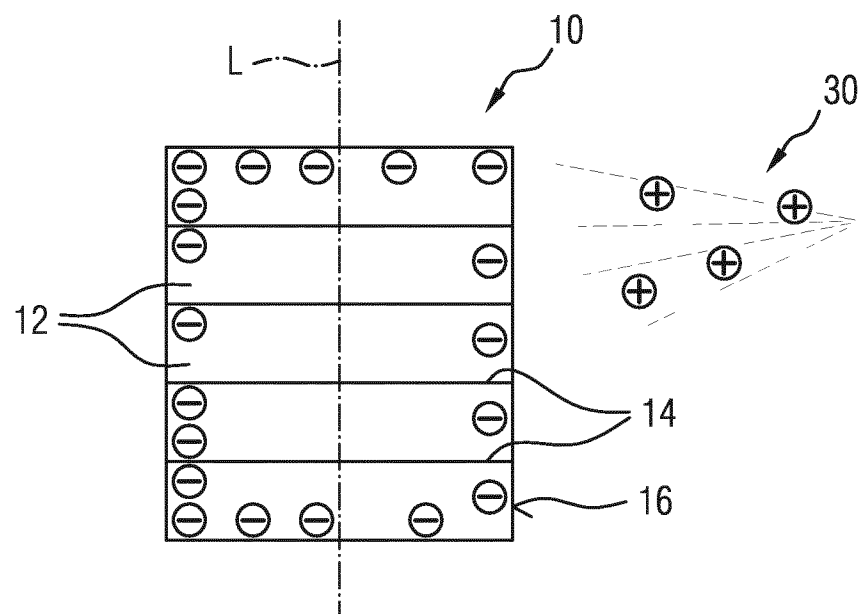


FIG 3

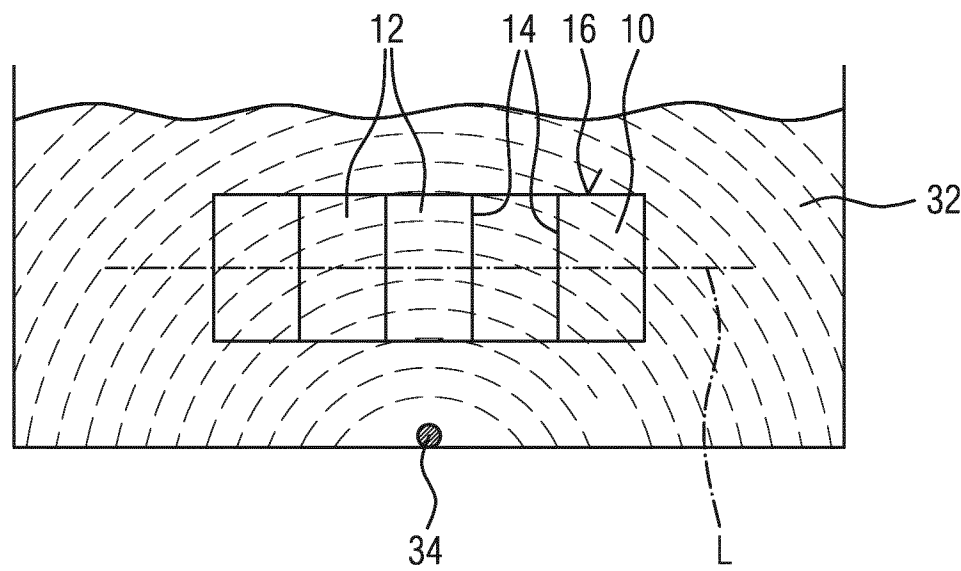
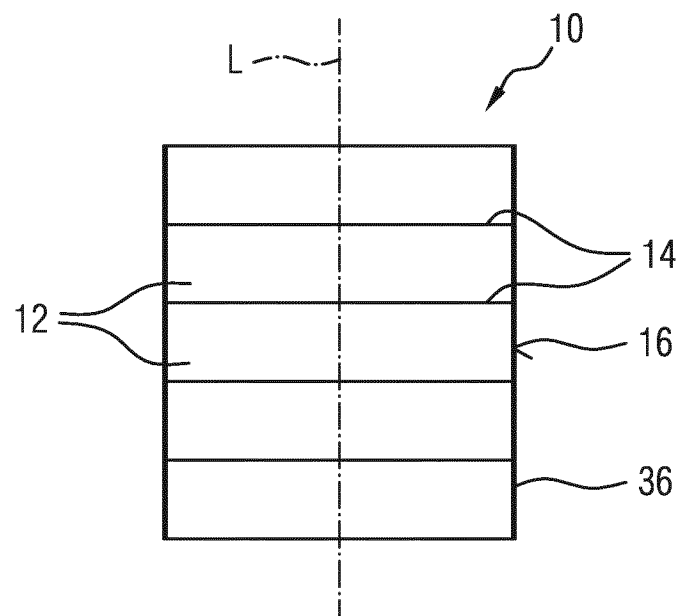


FIG 4



3/9

FIG 5

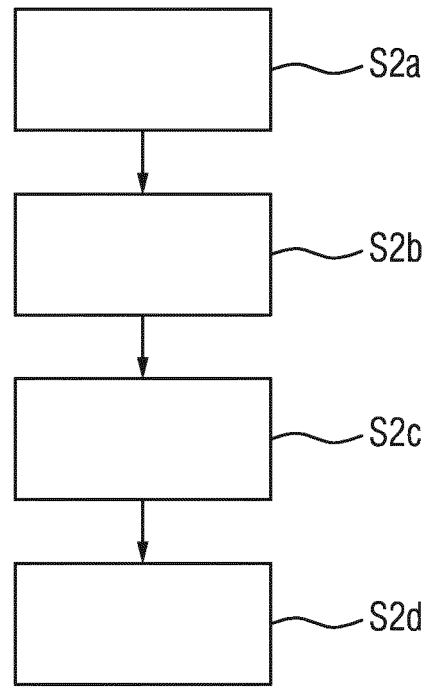


FIG 6

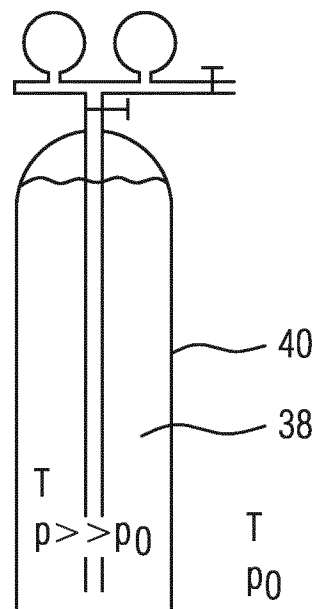


FIG 7

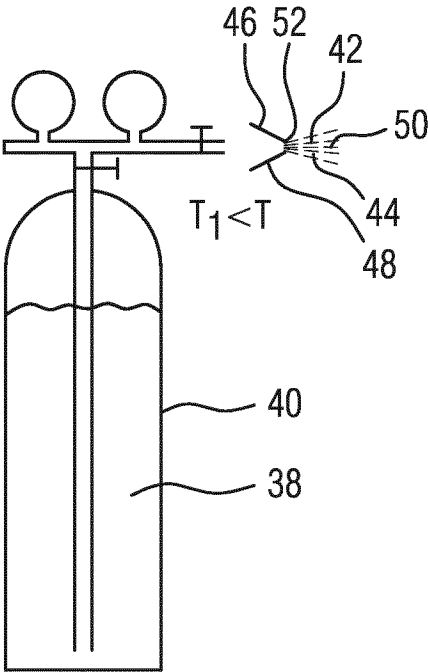


FIG 8

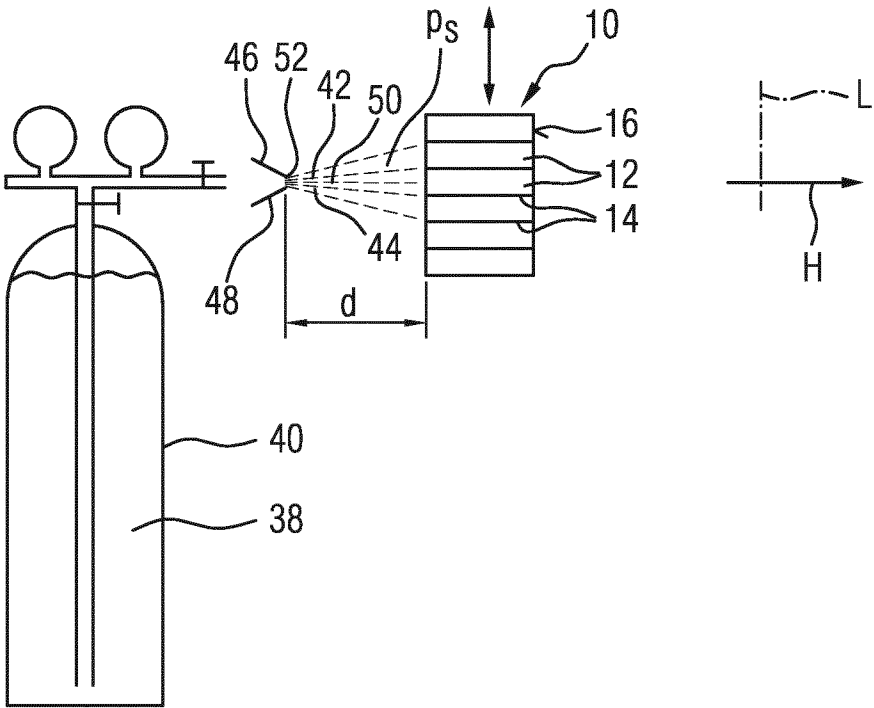


FIG 9

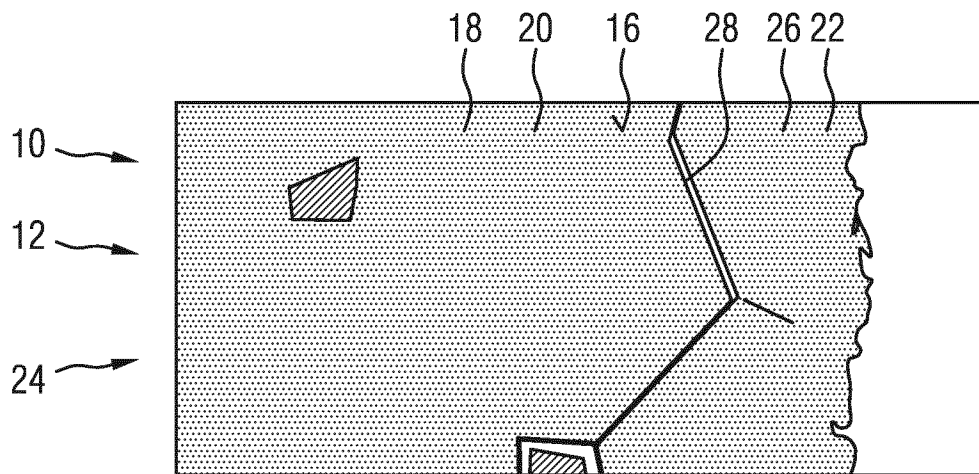


FIG 10

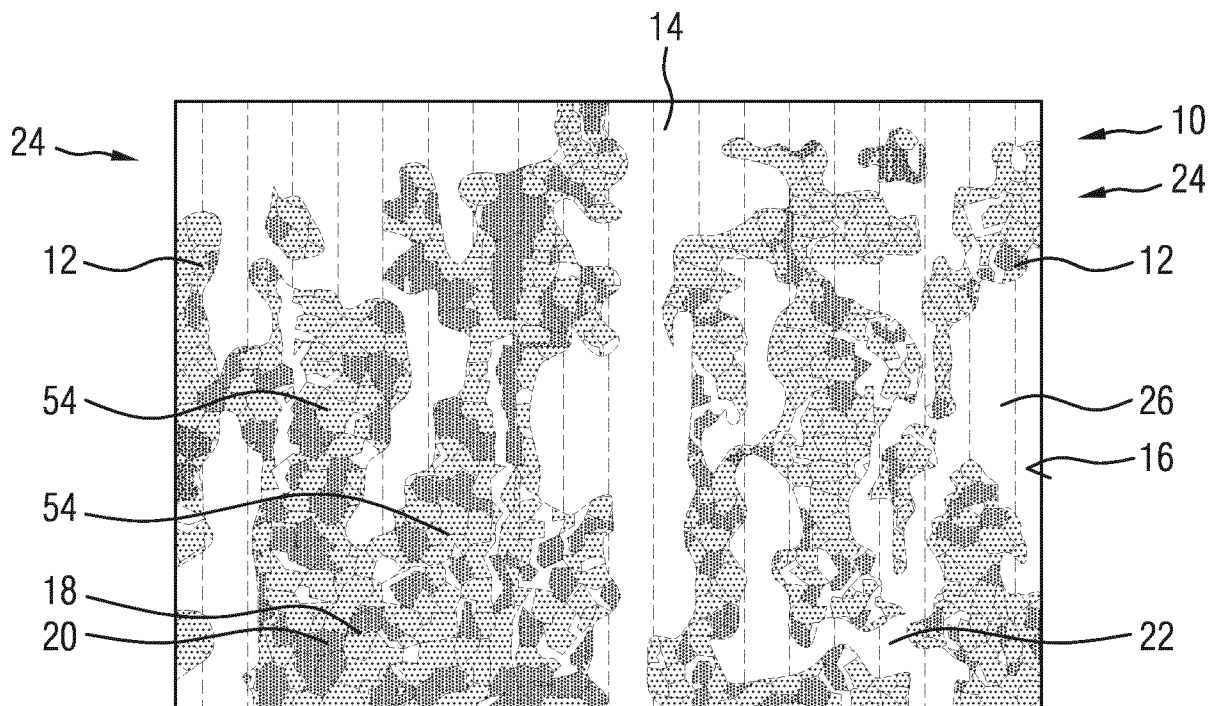


FIG 11

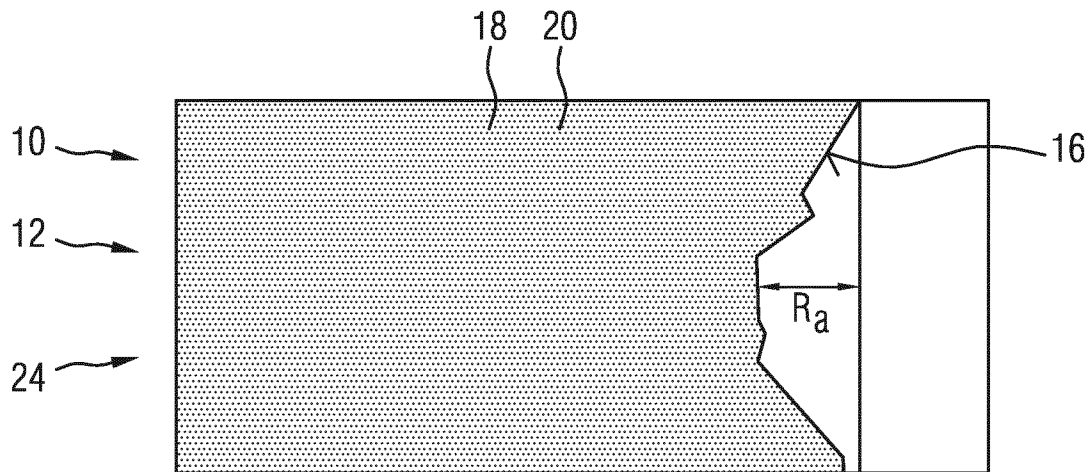


FIG 12

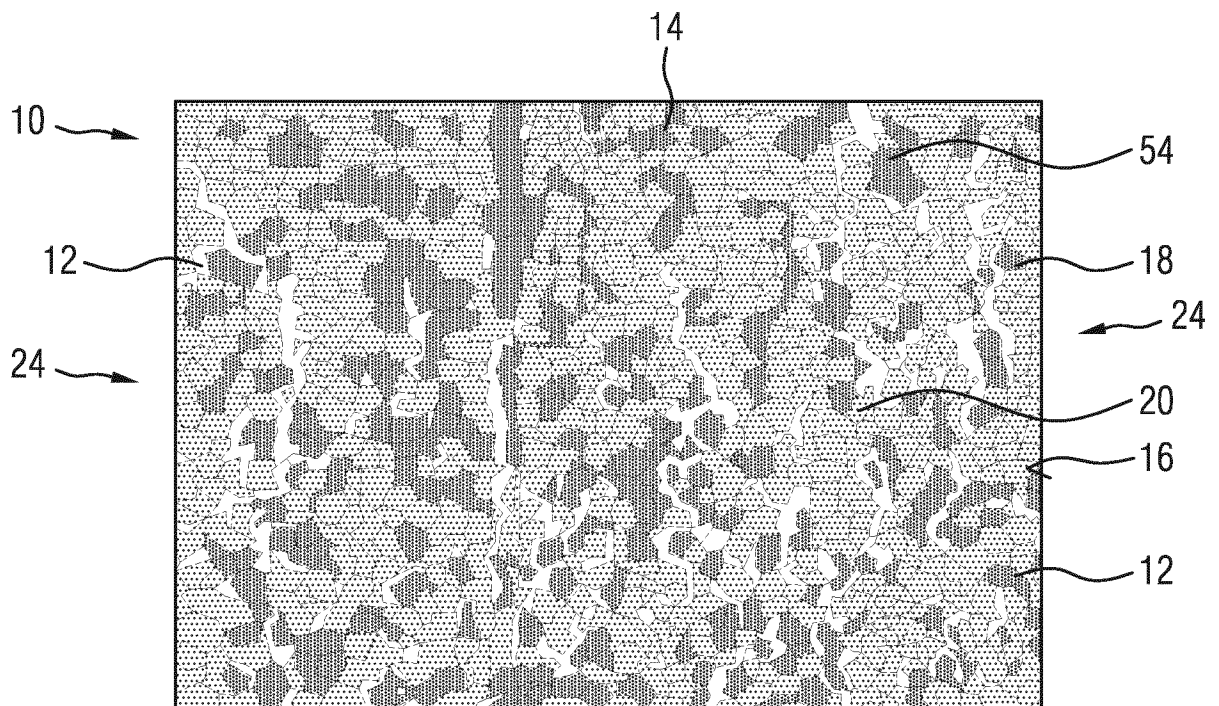


FIG 13

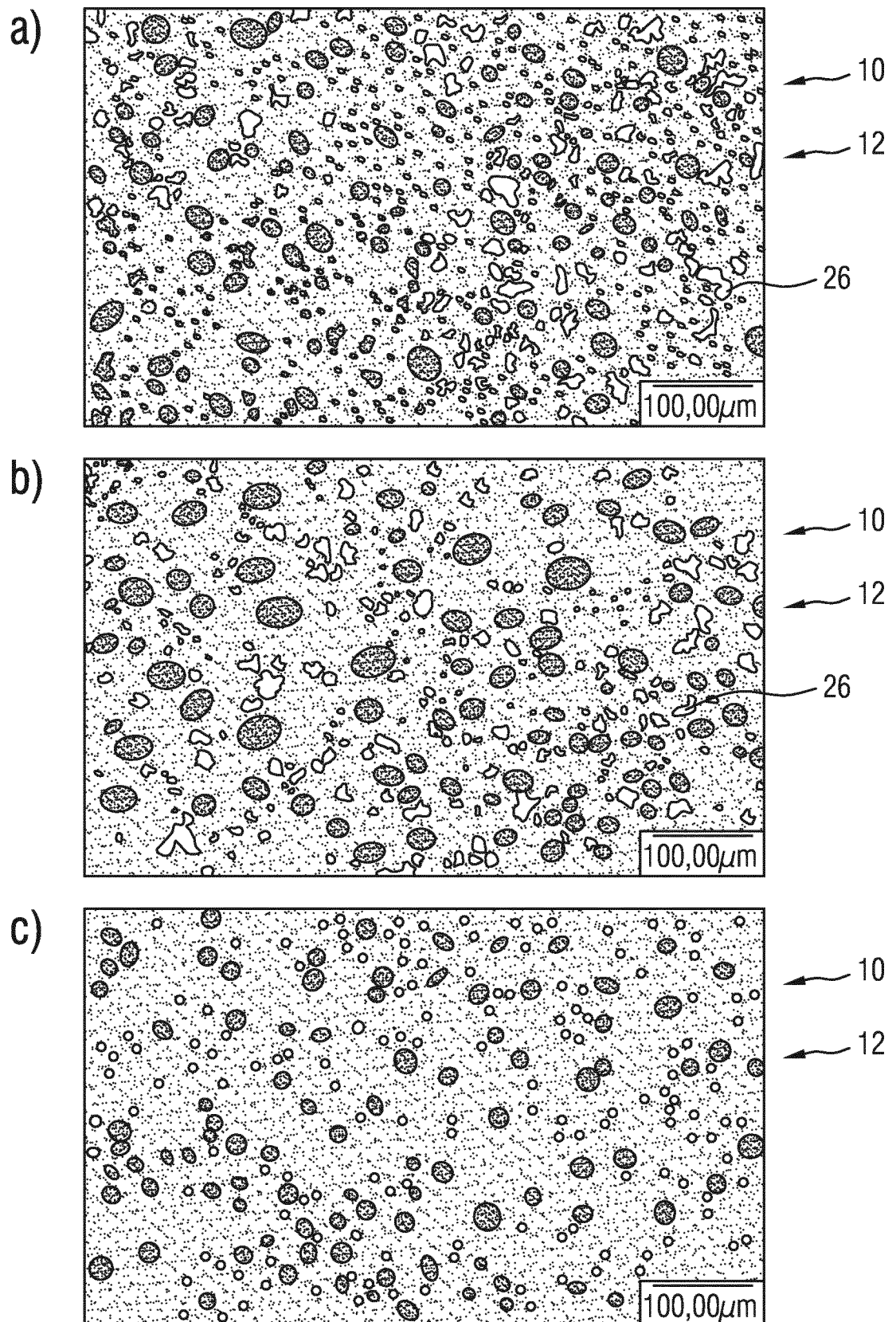


FIG 14
Stand der Technik

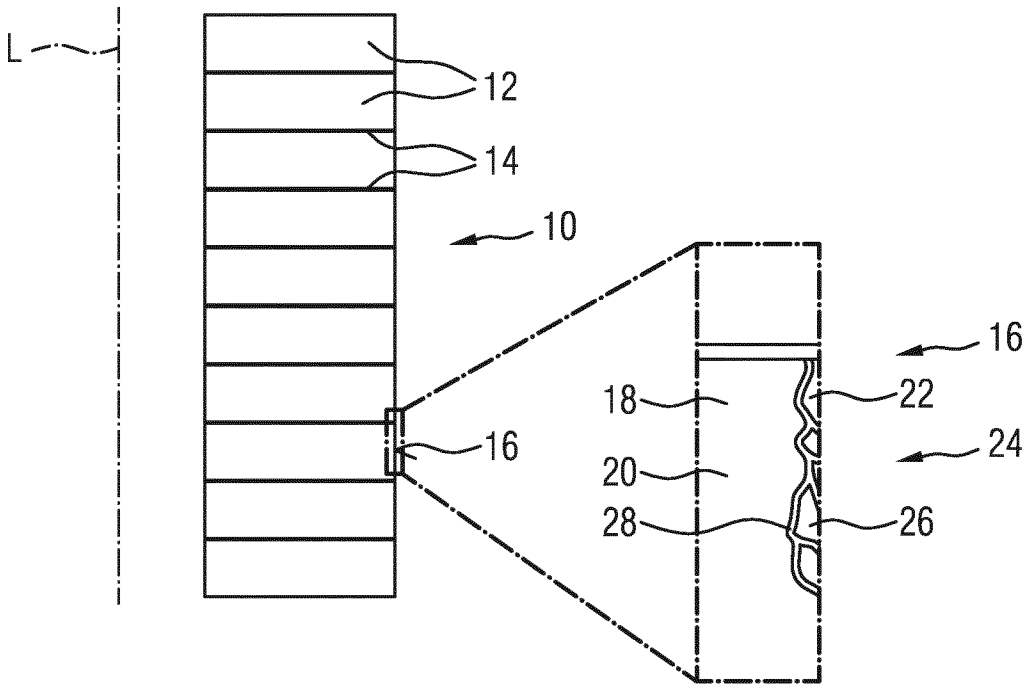


FIG 15
Stand der Technik

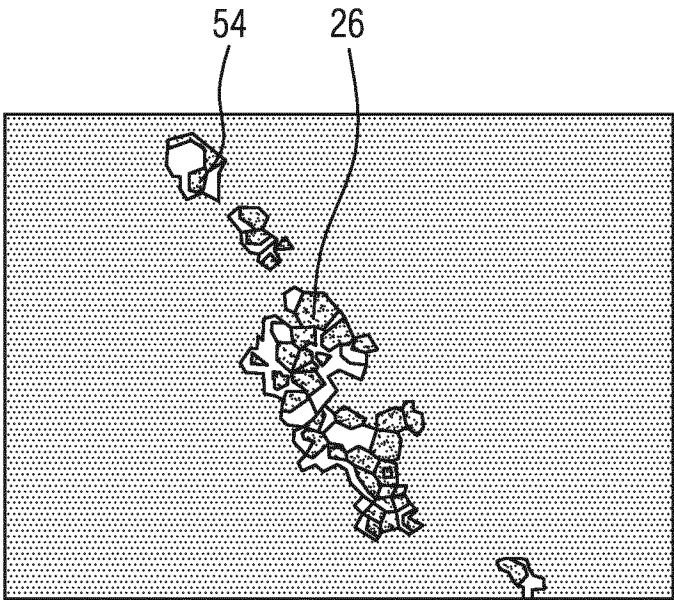
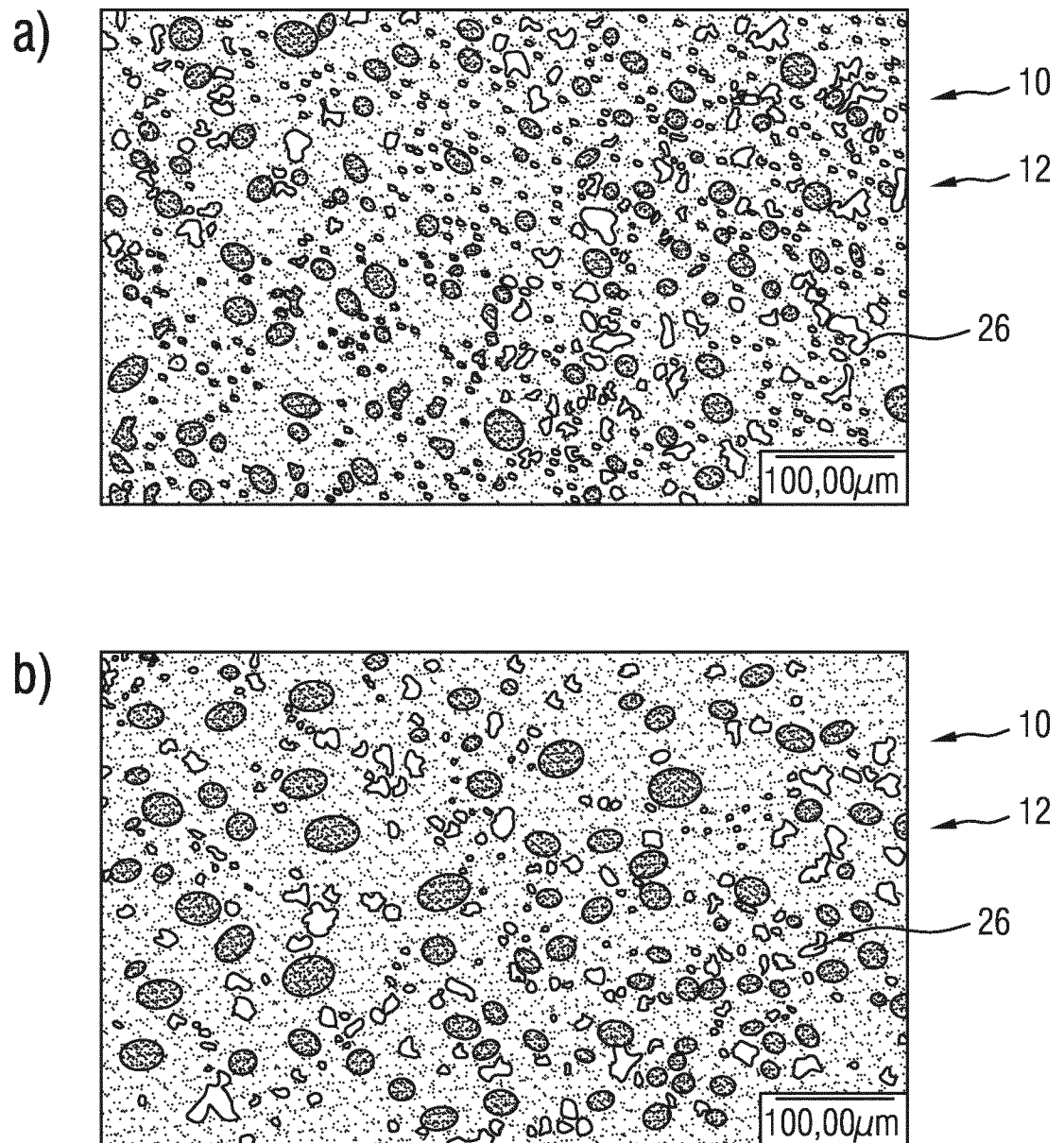


FIG 16

Stand der Technik



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/058097

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. H01L41/053 B24C1/00 H01L41/083 H01L41/22 H01L41/27 ADD.																	
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC																	
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L B24C Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, INSPEC, COMPENDEX																	
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>US 2003/164660 A1 (IKEDA KOJI [JP] ET AL) 4 September 2003 (2003-09-04) paragraph [0118] - paragraph [0156]; figures 4-11B -----</td> <td>1,8,9</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>EP 2 472 619 A1 (KYOCERA CORP [JP]) 4 July 2012 (2012-07-04) paragraph [0040] - paragraph [0068]; figures 1-3 -----</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>US 2006/124156 A1 (JACKSON DAVID P [US]) 15 June 2006 (2006-06-15) paragraph [0015] paragraph [0036] - paragraph [0038] paragraph [0067] - paragraph [0068] -----</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>DE 10 2013 104621 A1 (EPCOS AG [DE]) 6 November 2014 (2014-11-06) paragraphs [0011], [0050] - [0055] -----</td> <td>6,7</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X	US 2003/164660 A1 (IKEDA KOJI [JP] ET AL) 4 September 2003 (2003-09-04) paragraph [0118] - paragraph [0156]; figures 4-11B -----	1,8,9	Y	EP 2 472 619 A1 (KYOCERA CORP [JP]) 4 July 2012 (2012-07-04) paragraph [0040] - paragraph [0068]; figures 1-3 -----	1-10	Y	US 2006/124156 A1 (JACKSON DAVID P [US]) 15 June 2006 (2006-06-15) paragraph [0015] paragraph [0036] - paragraph [0038] paragraph [0067] - paragraph [0068] -----	1-10	Y	DE 10 2013 104621 A1 (EPCOS AG [DE]) 6 November 2014 (2014-11-06) paragraphs [0011], [0050] - [0055] -----	6,7
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.															
X	US 2003/164660 A1 (IKEDA KOJI [JP] ET AL) 4 September 2003 (2003-09-04) paragraph [0118] - paragraph [0156]; figures 4-11B -----	1,8,9															
Y	EP 2 472 619 A1 (KYOCERA CORP [JP]) 4 July 2012 (2012-07-04) paragraph [0040] - paragraph [0068]; figures 1-3 -----	1-10															
Y	US 2006/124156 A1 (JACKSON DAVID P [US]) 15 June 2006 (2006-06-15) paragraph [0015] paragraph [0036] - paragraph [0038] paragraph [0067] - paragraph [0068] -----	1-10															
Y	DE 10 2013 104621 A1 (EPCOS AG [DE]) 6 November 2014 (2014-11-06) paragraphs [0011], [0050] - [0055] -----	6,7															
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.																	
* Special categories of cited documents : <table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed </td> <td style="vertical-align: top;"> "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family </td> </tr> </table>			"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family													
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family																
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report															
17 June 2016		23/06/2016															
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Gröger, Andreas															

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/058097

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2003164660 A1	04-09-2003	AU 2003201862 A1 US 2003164660 A1 US 2004251787 A1 US 2006038464 A1 WO 03061023 A1	30-07-2003 04-09-2003 16-12-2004 23-02-2006 24-07-2003
EP 2472619 A1	04-07-2012	CN 102473835 A EP 2472619 A1 JP 5414798 B2 US 2012187213 A1 WO 2011024894 A1	23-05-2012 04-07-2012 12-02-2014 26-07-2012 03-03-2011
US 2006124156 A1	15-06-2006	US 2006124156 A1 WO 2006065725 A1	15-06-2006 22-06-2006
DE 102013104621 A1	06-11-2014	DE 102013104621 A1 EP 2994934 A1 US 2016071648 A1 WO 2014180608 A1	06-11-2014 16-03-2016 10-03-2016 13-11-2014

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H01L41/053 B24C1/00 H01L41/083 H01L41/22 H01L41/27 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) H01L B24C		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, INSPEC, COMPENDEX		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2003/164660 A1 (IKEDA KOJI [JP] ET AL) 4. September 2003 (2003-09-04) Absatz [0118] - Absatz [0156]; Abbildungen 4-11B	1,8,9
Y	EP 2 472 619 A1 (KYOCERA CORP [JP]) 4. Juli 2012 (2012-07-04) Absatz [0040] - Absatz [0068]; Abbildungen 1-3	1-10
Y	US 2006/124156 A1 (JACKSON DAVID P [US]) 15. Juni 2006 (2006-06-15) Absatz [0015] Absatz [0036] - Absatz [0038] Absatz [0067] - Absatz [0068]	1-10
Y	DE 10 2013 104621 A1 (EPCOS AG [DE]) 6. November 2014 (2014-11-06) Absätze [0011], [0050] - [0055]	6,7
☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
17. Juni 2016		23/06/2016
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Gröger, Andreas

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/058097

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument			Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung	
US 2003164660	A1	04-09-2003	AU	2003201862	A1		30-07-2003	
			US	2003164660	A1		04-09-2003	
			US	2004251787	A1		16-12-2004	
			US	2006038464	A1		23-02-2006	
			WO	03061023	A1		24-07-2003	

EP 2472619	A1	04-07-2012	CN	102473835	A		23-05-2012	
			EP	2472619	A1		04-07-2012	
			JP	5414798	B2		12-02-2014	
			US	2012187213	A1		26-07-2012	
			WO	2011024894	A1		03-03-2011	

US 2006124156	A1	15-06-2006	US	2006124156	A1		15-06-2006	
			WO	2006065725	A1		22-06-2006	

DE 102013104621	A1	06-11-2014	DE	102013104621	A1		06-11-2014	
			EP	2994934	A1		16-03-2016	
			US	2016071648	A1		10-03-2016	
			WO	2014180608	A1		13-11-2014	
