

(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
11. Juni 2015 (11.06.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/082399 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 41/047 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/076100

(22) Internationales Anmeldedatum:
1. Dezember 2014 (01.12.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2013 224 839.3
4. Dezember 2013 (04.12.2013) DE

(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE];
Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder: **CROMME, Peter**; Theodor Heuss Ring 58,
96050 Bamberg (DE). **HEDRICH, Alexander**; Karl-May-
Str. 30, 96049 Bamberg (DE). **VENDULET, Joachim**
Dietmar; Holbornerhof 13, 67700 Niederkirchen (DE).
BENES, Jan; Steinertstr. 10, 96047 Bamberg (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,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: PIEZO ACTUATOR AND CONTROL VALVE WITH SUCH A PIEZO ACTUATOR

(54) Bezeichnung : PIEZOAKTOR UND STEUERVENTIL MIT EINEM SOLCHEN PIEZOAKTOR

Fig. 1

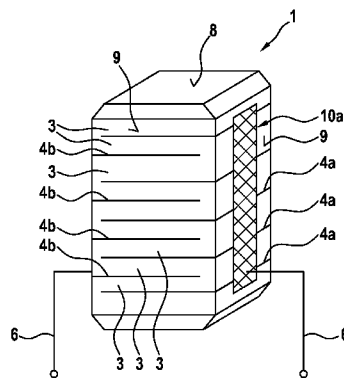
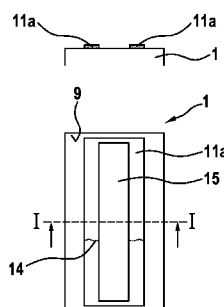


Fig. 4a



(57) **Abstract:** The invention relates to a piezo actuator (1) with a plurality of parallel piezo active layers (3), a metal layer electrode (4a; 4b) being arranged between each two adjacent layers (3). The layer electrodes (4a; 4b) are alternately guided to the lateral surface (9), where the layer electrodes contact an outer electrode (10a; 10b) applied onto one lateral surface (9) of the piezo actuator (1). The outer electrode (10a; 10b) has a contact layer (IIa; IIb) in the form of a metal layer applied directly onto the lateral surface (9) and a sieve electrode (12a; 12b) which is applied onto the contact layer (IIa; IIb) and electrically contacts same over the entire region where the sieve electrode and the contact layer overlap. The contact layer (IIa; IIb) has regions which are cut out in the region where the contact layer and the sieve electrode (12; 12b) overlap, one cut-out region (15) being provided at the height of each layer electrode (4a; 4b).

(57) **Zusammenfassung:** Piezoaktor (1) mit einer Vielzahl von parallelen, piezoaktiven Schichten (3), wobei zwischen jeweils zwei benachbarten Schichten (3) eine metallische Schichtelektrode (4a; 4b) angeordnet ist. Die Schichtelektroden (4a; 4b) sind wechselseitig bis an die Seitenfläche (9) geführt und dort mit einer auf eine Seitenfläche (9) des Piezoaktors (1) aufgetragenen Außenelektrode (10a; 10b) kontaktiert, wobei die Außenelektrode (10a; 10b) eine Kontaktierungsschicht (IIa; IIb) in Form einer auf die Seitenfläche (9) direkt aufgetragenen metallischen Schicht aufweist und eine Siebelektrode (12a; 12b), die auf die Kontaktierungsschicht (IIa; IIb) aufgebracht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2015/082399 A1



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).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

und mit dieser im gesamten Überdeckungsbereich elektrisch kontaktiert ist. Die Kontaktierungsschicht (IIa; IIb) weist im Überdeckungsbereich mit der Siebelektrode (12a; 12b) ausgesparte Bereiche auf, wobei auf Höhe jeder Schichtelektrode (4a; 4b) ein ausgesparter Bereich (15) vorhanden ist.

5

Beschreibung

10

Titel

Piezoaktor und Steuerventil mit einem solchen Piezoaktor

15

Die Erfindung betrifft einen Piezoaktor, wie er beispielsweise zur Steuerung von elektrisch betriebenen Ventilen zur Flüssigkeitssteuerung verwendet werden kann.

Stand der Technik

20

25

30

35

Die Erfindung geht von einem Piezoaktor aus, wie er beispielsweise aus der Offenlegungsschrift DE 10 2006 001 134 A1 bekannt ist. Ein solcher Piezoaktor weist eine Vielzahl von piezoaktiven Schichten auf, zwischen denen jeweils eine metallische Schichtelektrode angeordnet ist. Die metallischen Schichtelektroden sind wechselseitig bis zur Oberfläche des Piezoaktors geführt, sodass sie seitlich am Piezoaktor kontaktiert werden können. Durch das Anlegen einer elektrischen Spannung an die Schichtelektroden, wobei an jeweils benachbarten Schichtelektroden unterschiedliche Polaritäten anliegen, ergibt sich ein starkes elektrisches Feld innerhalb der piezoaktiven keramischen Schichten des Piezoaktors, die abhängig von der Feldstärke und Richtung ihre Dicke ändern gemäß dem bekannten piezoelektrischen Effekt. Diese Dickenänderung der einzelnen piezoaktiven Schichten führt zu einer Gesamtlängenänderung des Piezoaktors, und diese Längenänderung kann dazu benutzt werden, beispielsweise ein Steuerventil anzusteuern, das zur Steuerung des Flusses eines Fluids, beispielsweise Kraftstoff, verwendet werden kann.

Die Kontaktierung der Schichtelektroden erfolgt in der bekannten Weise dadurch, dass direkt auf eine Seitenfläche des Piezoaktors eine elektrisch leitfähige Schicht, eine sogenannte Kontaktierungsschicht, aufgebracht wird. Diese Kontaktierungsschicht stellt einen elektrischen Kontakt zu den Schichtelektroden her, die auf dieser Seite des Piezoaktors an die Oberfläche geführt sind, und kann aus metallischen Werkstoffen oder auch auf anderen elektrisch leitfähigen Werkstoffen hergestellt werden, beispielsweise auf Kohlenstoffbasis. Allein die Kontaktierungsschicht ist jedoch zur Kontaktierung während des Betriebs des Piezoaktors nicht ausreichend, da aufgrund der Längenänderung des Piezoaktors sehr schnell Risse in dieser Kontaktierungsschicht auftreten, sodass die Kontaktierungsschicht nicht mehr über ihre gesamte Länge elektrisch leitend ist.

Um diesem Problem zu begegnen, wird auf die Kontaktierungsschicht eine sogenannte Siebelektrode aufgebracht, beispielsweise in Form eines elastischen Drahtgeflechts. Wichtig ist hierbei, dass diese Siebelektrode über eine genügende Elastizität verfügt, um den Bewegungen des Piezoaktors zu folgen. Im Kontext dieser Patentanmeldung soll deshalb unter einer Siebelektrode nicht nur Elektroden verstanden werden, die aus einem Drahtgeflecht bestehen, sondern auch andere Ausführungsformen, beispielsweise aus gefaltetem, dünnem Blech oder anderen elastischen Strukturen, die über eine ausreichende elektrische Leitfähigkeit verfügen.

Die Siebelektrode wird vollflächig mit der Kontaktierungsschicht verlötet, so dass im Überlappungsbereich von Siebelektrode und Kontaktierungsschicht eine elektrische Verbindung der Siebelektrode zur darunterliegenden Kontaktierungsschicht und damit zu den in diesem Bereich an die Oberfläche tretenden Schichtelektroden besteht. Die Siebelektrode ist ausreichend flexibel, sodass auch bei einem Riss innerhalb der Kontaktierungsschicht eine elektrische Kontaktierung im gesamten Überlappungsbereich von Kontaktierungsschicht und Siebelektrode gewährleistet ist. Die Spannung wird schließlich dadurch angelegt, dass die Siebelektrode elektrisch mit einer Zuleitung verbunden wird, sodass beispielsweise über ein Steuergerät die notwendige elektrische Spannung an den Piezoaktor angelegt werden kann.

Ist die Siebelektrode nur einschichtig ausgeführt, kann durch die Längenänderung des Piezoaktors nicht nur die Kontaktierungsschicht, sondern auch die Siebelektrode einreißen, was ebenfalls zu einem Verlust der elektrischen Kontaktierung einzelner Schichtelektroden führen kann. Um dies zu vermeiden, wird die Siebelektrode in der Regel zweilagig ausgeführt, d. h. eine erste Lage ist direkt mit der Kontaktierungsschicht verbunden, beispielsweise durch einen Lötprozess, und eine zweite, darüber liegende Siebelage ist mit der darunterliegenden Siebelage elektrisch verbunden. Die zweite Sieblage weist aufgrund ihrer fehlenden Verbindung zur Kontaktierungsschicht eine größere Flexibilität auf, so dass auch dann, wenn die in direktem Kontakt mit der Kontaktierungsschicht stehende erste Sieblage einreißt, eine elektrische Verbindung über die zweite Sieblage zu allen Bereichen der darunterliegenden ersten Sieblage möglich ist und stets alle Schichtelektroden des Piezoaktors elektrisch ansteuerbar bleiben.

Um die Lötbarkeit der Siebelektrode sicherzustellen und um die notwendige Flexibilisierung zu erhalten, werden die Siebelektroden relativ aufwendig hergestellt und sind aus relativ teuren Materialien gefertigt, sodass durch die zweilagige Ausführung der Siebelektrode die Herstellungskosten des Piezoaktors nicht unerheblich gesteigert werden und damit auch die Kosten der Produkte, in denen solche Piezoaktoren verbaut werden. Darüber hinaus vergrößert die zweite Sieblage den Bauraum des Piezoaktors.

Offenbarung der Erfindung

Der erfindungsgemäße Piezoaktor hat demgegenüber den Vorteil, dass eine zuverlässige Kontaktierung der Schichtelektroden in günstiger und zuverlässiger Weise möglich ist, ohne dass eine zweilagige Siebelektrode notwendig ist. Hierzu weist der Piezoaktor eine Vielzahl von parallelen piezoaktiven Schichten auf, wobei zwischen jeweils zwei benachbarten Schichten eine metallische Schichtelektrode angeordnet ist und wobei die Schichtelektroden wechselseitig an zwei Seitenflächen des Piezoaktors geführt sind. Dort sind die Schichtelektroden mit einer auf der jeweiligen Seitenfläche des Piezoaktors aufgetragenen Außenelektrode kontaktiert, wobei jede Außenelektrode eine Kontaktierungsschicht in Form einer

auf die Seitenfläche direkt aufgebrachten metallischen Schicht aufweist und darüber hinaus eine Siebelektrode, die auf die Kontaktierungsschicht aufgebracht und mit dieser im gesamten Überdeckungsbereich elektrisch kontaktiert ist. Die Kontaktierungsschicht weist im Überdeckungsbereich mit der Siebelektrode ausgesparte Bereiche auf, wobei in jeder Außenelektrode ein ausgesparter Bereich vorhanden ist.

Durch die Ausbildung der Kontaktierungsschicht gemäß dem Anspruch 1 ergibt sich folgender Effekt: Durch die Längung des Piezoaktors ergeben sich zwangsläufig Risse innerhalb der Kontaktierungsschicht, die sich bis in die Siebelektrode fortsetzen können. Es kann jedoch nur dort zu einem Einreißen der Siebelektrode kommen, wo die Kontaktierungsschicht sich mit der Siebelektrode überdeckt, weil nur dort die Bewegung des Piezoaktors über die vollflächige, feste Verbindung von Siebelektrode und Kontaktierungsschicht direkt an die Siebelektrode weitergegeben wird. Durch die Ausbildung von ausgesparten Bereichen in der Kontaktierungsschicht ergibt sich in diesen Bereichen jedoch eine höhere Flexibilisierung der Siebelektrode, sodass diese in diesen ausgesparten Bereichen nicht einreißt. Damit ergibt sich auch dann ein elektrischer Kontakt zu jeder Schichtelektrode, wenn sich Risse innerhalb der Siebelektrode aufgrund der Bewegung der Kontaktierungsschicht bilden, da diese fehlende Kontaktierung und Weiterleitung der elektrischen Spannung innerhalb der Siebelektrode durch die Bereiche kompensiert wird, in denen die Siebelektrode einen ausgesparten Bereich überdeckt. Wichtig ist hierbei, dass auf Höhe jeder Schichtelektrode sowohl eine Kontaktierungsschicht vorhanden ist als auch ein ausgesparter Bereich. Auf diese Weise lässt sich eine einlagige Siebelektrode verwenden, ohne dass sich Nachteile hinsichtlich der Zuverlässigkeit der elektrischen Kontaktierung ergeben. Dies verringert die Herstellungskosten und verbessert damit die Wirtschaftlichkeit des Piezoaktors, wenn er beispielsweise in einem Steuerventil eingesetzt wird, wie es in einem Kraftstoffinjektor Verwendung findet.

In einer ersten vorteilhaften Ausgestaltung des Gegenstandes der Erfindung ist die Siebelektrode einschichtig aufgebaut, wodurch sie kostengünstiger und dünner wird und damit auch der Piezoaktor billiger und schmaler im Bereich der Elektroden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung weist die Kontaktierungsschicht zwei zumindest im Wesentlichen senkrecht zu den piezoaktiven Schichten verlaufende Streifen auf, so dass zwischen den beiden Streifen ein ebenfalls streifenförmiger ausgesparter Bereich gebildet wird. Diese Ausgestaltung ist einfach umzusetzen und erlaubt es, die Siebelektrode so anzubinden, dass sie auf beiden Streifen der Kontaktierungsschicht angebunden ist und diese elektrisch kontaktiert, während sie den dazwischenliegenden, streifenförmigen ausgesparten Bereich überspannt. Dabei ist es auch möglich, in vorteilhafter Weise mehr als zwei parallel verlaufende Streifen der Kontaktierungsschicht auszubilden, sodass die Siebelektrode an mehreren metallischen Streifen elektrischen Kontakt aufweist, sodass sie insgesamt flächiger auf der Kontaktierungsschicht aufliegt.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist die Kontaktierungsschicht aus einer Vielzahl von zumindest im Wesentlichen kreisförmigen Flächen gebildet, sodass zwischen den kreisförmigen Flächen der ausgesparte Bereich gebildet wird. Auch hier liegt die Siebelektrode relativ flächig auf der Kontaktierungsschicht auf, sodass ein kompakter und stabiler Aufbau erreicht wird.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung weist die Kontaktierungsschicht eine Vielzahl von parallelen, schräg zu den piezoaktiven Schichten verlaufenden Streifen auf, zwischen denen die ausgesparten Bereiche ausgebildet sind. Diese Streifenstruktur ist ebenfalls relativ einfach auf den Piezoaktor aufbringbar und erlaubt eine stabile Befestigung der Siebelektrode auf der Seitenfläche des Piezoaktors.

In vorteilhafter Weise ist ein Steuerventil mit einem Piezoaktor zur Steuerung eines Fluidflusses ausgestattet, wobei der Piezoaktor gemäß den oben genannten Merkmalen ausgebildet ist.

Zeichnung

In der Zeichnung ist ein erfindungsgemäßer Piezoaktor schematisch dargestellt. Es zeigt

Figur 1 in einer schematischen Darstellung einen Piezoaktor, wie er aus dem Stand der Technik bekannt ist,

Figur 2 einen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen Piezoaktor, wobei nur der obere Bereich des Piezoaktors gezeigt ist,

Figuren 3a und 3b zeigen aus dem Stand der Technik bekannte Piezoaktoren in einer schematischen Seitenansicht,

Figuren 4a und 4b eine Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Piezoaktors und die

Figuren 5a, 5b, 5c, 5d, 5e, 5f, 5g, und 5h zeigen verschiedene Ausgestaltungen der Kontaktierungsschicht von erfindungsgemäßen Piezoaktoren.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

In Figur 1 ist ein aus dem Stand der Technik bekannter Piezoaktor 1 schematisch dargestellt. Der Piezoaktor 1 ist als keramischer Piezoaktor ausgebildet und weist eine Vielzahl von piezoaktiven Schichten 3 auf, die parallel zueinander ausgebildet sind. Der Piezoaktor 1 ist dabei im Wesentlichen quaderförmig ausgebildet und weist eine obere Stirnfläche 8 und vier Seitenflächen 9 auf, die an die obere Stirnfläche 8 grenzen, wobei die Kanten angefast sind. Zwischen den parallel verlaufenden piezoaktiven Schichten 3 sind jeweils metallische Schichtelektroden 4a, 4b angeordnet, die abwechselnd an gegenüberliegende Seitenflächen 9 des Piezoaktors 1 geführt sind, sodass ein Teil der Schichtelektroden 4a auf die in der Zeichnung rechte Seitenfläche 9 des Piezoaktors 1 geführt ist, während die anderen Schichtelektroden 4b auf die gegenüberliegende Seitenfläche 9 des Piezoaktors 1 hinausgeführt sind. Die piezoaktiven Schichten 3 weisen dabei eine Schichtdicke von vorzugsweise etwa 100 µm auf, während die metallischen Schichtelektroden 4a, 4b eine Schichtdicke von nur wenigen Mikrometern aufweisen. Auf diese Weise können Piezoaktoren hergestellt werden, die eine Vielzahl von piezoaktiven Schichten 3 aufweisen, die von metallischen Schichtelektroden 4a, 4b durchzogen sind, die einen Abstand von typischerweise 100 µm aufweisen. Durch den relativ geringen Abstand der metallischen Schichtelektroden 4a, 4b voneinander lassen sich zwischen den einzelnen metallischen Schichtelektroden beim Anlegen einer relativ moderaten Spannung von typischerweise etwa 150 bis 200 V sehr hohe elektrische Feldstärken erreichen, die

einen starken piezoelektrischen Effekt auf die piezoaktiven Schichten 3 haben, sodass sich der Piezoaktor 1 beim Anlegen einer elektrischen Spannung insgesamt in der Länge vergrößert und dieser Hub des Piezoaktors 1 zur Steuerung beispielsweise eines Steuerventils verwendet werden kann.

5 Zum Anlegen der elektrischen Spannung zwischen den Schichtelektroden 4a, 4b sind auf der Seitenfläche 9 Außenelektroden 10a und an der gegenüberliegenden Seitenfläche 9 nicht dargestellte Außenelektroden 10b angeordnet. Die Außenelektroden 10a, 10b sind ihrerseits jeweils mit elektrischen Anschlüssen 6
10 verbunden, sodass sich eine Spannungsquelle mit den elektrischen Anschlüssen 6 verbinden lässt, um eine elektrische Spannung zwischen den Schichtelektroden 4a, 4b anzulegen.

15 In Figur 2 ist ein Längsschnitt durch einen erfindungsgemäßen Piezoaktor 1 dargestellt, wobei nur der obere Bereich des Piezoaktors 1 schematisch gezeichnet ist. Der Piezoaktor 1 weist an seinem oberen Ende einen piezoelektrisch inaktiven Bereich auf, in dem keine Schichtelektroden vorhanden sind, und anschließend daran piezoaktive Schichten 3 mit jeweils dazwischen angeordneten Schichtelektroden 4a, 4b. Die Außenelektroden 10a, 10b, die auf den Seitenflächen 9 des Piezoaktors 1 aufgebracht sind, bestehen aus einer Kontaktierungsschicht 11a, 11b, also einer metallischen Schicht, die direkt auf die Oberfläche des Piezoaktors 1 aufgebracht ist, und aus Siebelektroden 12a, 12b, die auf die Kontaktierungsschicht 11a, 11b aufgebracht sind. Die Siebelektroden 12a, 12b
20 bestehen aus einem Geflecht von metallischen Drähten, die elektrisch leitend sind und die über einen Fügeprozess mit der darunterliegenden Kontaktierungsschicht 11a, 11b im gesamten Überdeckungsbereich der Siebelektroden 12a, 12b mit der jeweiligen Kontaktierungsschicht 11a, 11b verbunden sind. Die Kontaktierungsschicht 11a, 11b übernimmt die elektrische Kontaktierung der Schichtelektroden 4a, 4b, während die elektrischen Anschlüsse 6 an der Siebelektrode 12a bzw. 12b angebracht sind, sodass ein flexibler elektrischer Kontakt
25 zwischen den elektrischen Anschlüssen 6 und der Kontaktierungsschicht 11a, 11b und damit der Schichtelektroden 4a, 4b erfolgt.

35 Die Figur 3a zeigt eine Seitenansicht eines aus dem Stand der Technik bekannten Piezoaktors in schematischer Darstellung. Es sind wieder die piezoaktiven

Schichten 3 und die dazwischen angeordneten Schichtelektroden 4a dargestellt, die an die Oberfläche der Seitenfläche 9 geführt sind. Die Kontaktierungsschicht 11a ist als rechteckige Metallschicht ausgeführt, auf die die Siebelektrode 12a vollflächig gefügt ist. Wird nun eine elektrische Spannung angelegt zwischen den Schichtelektroden 4a und 4b, so längt sich der Piezoaktor 1, was in Figur 3b dargestellt ist. Dies führt zu feinen Rissen innerhalb der Piezokeramik des Piezoaktors 9, die sich in die Kontaktierungsschicht 11a fortsetzen können, so dass die Kontaktierungsschicht 11a nicht mehr über ihre gesamte Länge den elektrischen Strom leiten kann. Diese Risse in der Kontaktierungsschicht 11a können sich bis in die Siebelektrode 12a fortsetzen, die dann ebenfalls einen Riss 14' aufweist, sodass eine elektrische Leitung über die gesamte Länge der Siebelektrode 12a ebenfalls nicht mehr erfolgt. Wird nun eine Spannung über den elektrischen Anschluss 6 eingeleitet, so wird im Wesentlichen nur die in der Abbildung untere Hälfte der Schichtelektroden 4a mit einer elektrischen Spannung versorgt, während die in der Abbildung obere Hälfte des Piezoaktors 1 nicht mehr von der elektrischen Spannung erreicht wird, sodass dieser Bereich des Piezoaktors 9 inaktiv wird und sich der Gesamthub des Piezoaktors 1 in dieser Darstellung entsprechend reduziert. Wird ein Steuerventil mit Hilfe dieses Piezoaktors angesteuert, so reagiert dieses nicht mehr wie beabsichtigt und es kann zu Fehlfunktionen dieses Steuerventils kommen.

Um stets eine elektrische Kontaktierung aller Schichtelektroden 4a, 4b zu gewährleisten, wird erfindungsgemäß die Kontaktierungsschicht 11a beispielsweise in der Form durchgeführt, wie es in Figur 4a dargestellt ist. Die Kontaktierungsschicht 11a wird hier im Wesentlichen durch zwei parallele, auf die Seitenfläche 9 des Piezoaktors 1 aufgebrachte Streifen gebildet, die noch durch zwei schmale Streifen am oberen und unteren Ende des Piezoaktors 1 miteinander verbunden sind. Im oberen Teil der Figur 4a ist ein Querschnitt durch den Piezoaktor 1 entlang der Linie I-I angedeutet, der die Lage der Kontaktierungsschicht zeigt. Fig. 4b zeigt denselben Piezoaktor mit aufgebrachter Siebelektrode 12a, die sich mit den beiden Streifen der Kontaktierungsschicht 11a überlappt, was im Querschnitt entlang der Linie I-I im oberen Bereich der Figur 4b nochmals dargestellt ist. Der ausgesparte Bereich 15 der Kontaktierungsschicht wird durch die Siebelektrode 12a überspannt.

Wird nun der Piezoaktor 1 elektrisch angesteuert, so vergrößert sich seine Länge und es kommt, wie in Figur 4a dargestellt, eventuell zu Mikrorissen innerhalb der Piezokeramik, die auch zu Rissen 14 innerhalb der Kontaktierungsschicht 11a führen. Der Riss kann sich auf die Siebelektrode 12a fortsetzen, die jedoch nur in dem Bereich einreißen kann, in dem sie mit der Kontaktierungsschicht 11a verbunden ist, also im Bereich der Streifen, die parallel und senkrecht zu den piezoaktiven Schichten verlaufen. Die Unterbrechung der elektrischen Leitung durch diese Polungsrisse 14 wird jedoch durch den Bereich der Siebelektrode 12a überbrückt, der den ausgesparten Bereich 15 überdeckt, sodass trotz der Polungsrisse 14 eine elektrische Verbindung zwischen der Siebelektrode 12a und sämtlichen Schichtelektroden 4a gegeben ist.

In den Figuren 5a bis 5h sind verschiedene Ausführungsbeispiele für das Design der Kontaktierungsschichten aufgeführt. Die Siebelektrode 12a ist hier jeweils nur durch ein gestrichelt gezeichnetes Rechteck angedeutet.

In Figur 5a ist eine sehr ähnliche Kontaktierungsschicht wie in Figur 4a dargestellt, bei dem die parallelen metallischen Streifen der Kontaktierungsschicht 11a jedoch nicht mehr über einen Querstreifen miteinander verbunden sind. Die Siebelektrode 12a wird über die metallischen Streifen der Kontaktierungsschicht 11a angebracht, sodass sie im Überlappungsbereich von Kontaktierungsschicht 11a und Siebelektrode 12a mit der Kontaktierungsschicht 11a verfügt ist. Auch in Figur 5b ist eine ähnliche Kontaktierungsschicht 11a dargestellt, bei der drei metallische Streifen parallel und senkrecht zu den Schichtelektroden auf die Seitenfläche 9 des Piezoaktors 1 aufgebracht sind. Das Wirkprinzip ist gleich mit dem oben beschriebenen in der Figur 4a.

Figur 5c zeigt eine Kontaktierungsschicht 11a, die im Wesentlichen einen zackenförmigen Verlauf aufweist, so dass dreieckförmige ausgesparte Bereiche 15 gebildet werden, die die elektrische Verbindung zu den einzelnen piezoaktiven Schichten herstellen. In Figur 5d ist eine ähnliche Kontaktierungsschicht wie in Figur 5c dargestellt, die den gleichen Zweck erfüllt. Auch die Figur 5e zeigt eine Kontaktierungsschicht, bei der Streifen parallel zueinander, jetzt jedoch schräg zu den Schichtelektroden verlaufen, zwischen denen jeweils die ausgesparten Bereiche 15 ausgebildet sind.

In Figur 5f ist ein weiteres Ausführungsbeispiel der Kontaktierungsschicht dargestellt, wobei die Kontaktierungsschicht 11a hier durch eine Vielzahl von ovalen oder näherungsweise kreisförmigen kleineren Metallschichten gebildet ist, zwischen denen sich der ausgesparte Bereich 15 bildet. Eine Kombination aus dieser Ausgestaltung der Kontaktierungsschicht 11a und den streifenförmigen Kontaktierungsschichten zeigt das Ausführungsbeispiel der Figur 5g, ebenso wie das Ausführungsbeispiel der Figur 5h.

Wesentlich für die Erfindung ist, dass jede Schichtelektrode 4a, 4b einerseits einen elektrischen Kontakt zu einer Kontaktierungsschicht 11a aufweist und andererseits auf dieser Höhe ein ausgesparter Bereich 15 der Kontaktierungsschicht 11a gebildet ist, bei dem also keine Kontaktierungsschicht vorhanden ist, der jedoch von der Siebelektrode 12a, 12b überspannt wird.

Neben dem gezeigten Ausführungsbeispiel der Kontaktierungsschicht 11a sind auch andere Formen denkbar, die eine ähnliche oder eine Kombination aus den gezeigten Formen aufweist.

5 Ansprüche

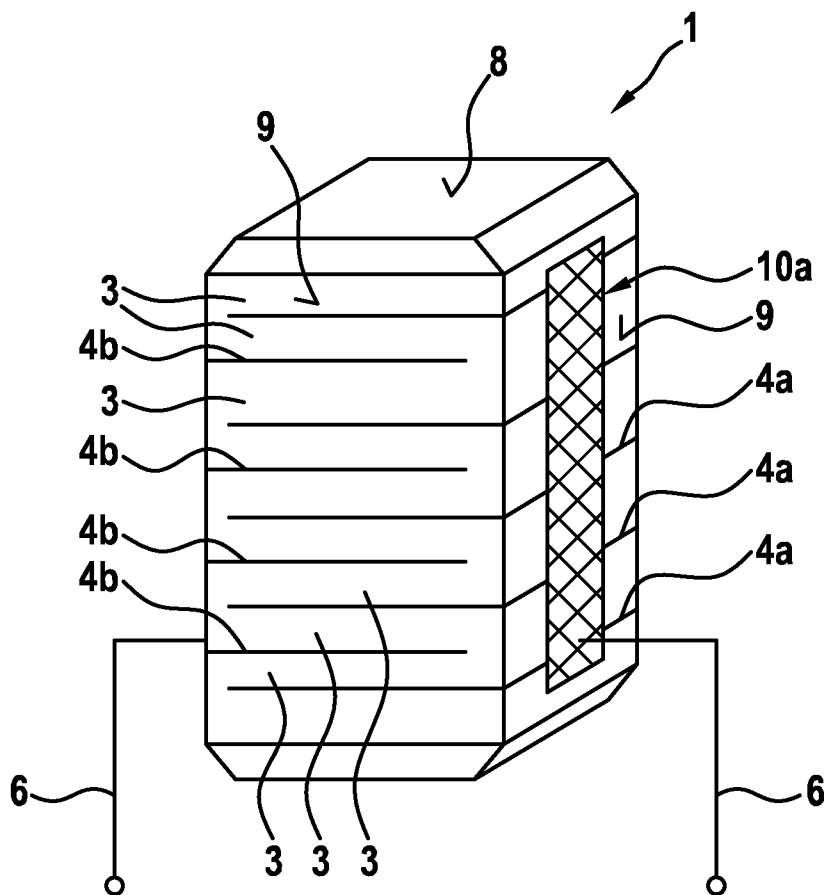
1. Piezoaktor (1) mit einer Vielzahl von parallelen, piezoaktiven Schichten (3), wobei zwischen jeweils zwei benachbarten piezoaktiven Schichten (3) eine metallische Schichtelektrode (4a; 4b) angeordnet ist und die Schichtelektroden (4a; 4b) wechselseitig bis an die Seitenfläche (9) geführt sind und dort mit einer auf eine Seitenfläche (9) des Piezoaktors (1) aufgetragenen Außenelektrode (10a; 10b) kontaktiert sind, wobei die Außenelektrode (10a; 10b) eine Kontaktierungsschicht (11a; 11b) in Form einer auf die Seitenfläche (9) direkt aufgetragenen metallischen Schicht aufweist und eine Siebelektrode (12a; 12b), die auf die Kontaktierungsschicht (11a; 11b) aufgebracht und mit dieser im gesamten Überdeckungsbereich elektrisch kontaktiert ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kontaktierungsschicht (11a; 11b) im Überdeckungsbereich mit der Siebelektrode (12a; 12b) ausgesparte Bereiche aufweist, wobei auf Höhe jeder Schichtelektrode (4a; 4b) ein ausgesparter Bereich (15) vorhanden ist.
2. Piezoaktor (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Siebelektrode (12a; 12b) einschichtig aufgebaut ist.
3. Piezoaktor (1) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontaktierungsschicht (11a; 11b) so ausgebildet ist, dass jede der auf die entsprechende Seitenfläche (9) des Piezoaktors (1) geführte Schichtelektrode (4a; 4b) direkten elektrischen Kontakt zur Kontaktierungsschicht (11a; 11b) aufweist.
4. Piezoaktor (1) nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontaktierungsschicht (11a; 11b) zwei zumindest im Wesentlichen senkrecht zu den piezoaktiven Schichten (3) verlaufende Streifen aufweist, so dass zwischen den beiden Streifen ein ebenfalls streifenförmiger ausgesparter Bereich (15) gebildet wird.

- 12 -

5. Piezoaktor (1) nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontaktierungsschicht (11a; 11b) mehr als zwei im Wesentlichen senkrecht zu den piezoaktiven Schichten (3) verlaufende Streifen aufweist, zwischen denen jeweils streifenförmige ausgesparte Bereiche (15) ausgebildet sind.
- 5 6. Piezoaktor (1) nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontaktierungsschicht (11a; 11b) aus einer Vielzahl von ovalen oder kreisförmigen Flächen gebildet ist, so dass zwischen den kreisförmigen Flächen der ausgesparte Bereich (15) gebildet wird.
- 10 7. Piezoaktor (1) nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontaktierungsschicht (11a; 11b) eine Vielzahl von parallelen, schräg zu den piezoaktiven Schichten (3) verlaufende Streifen aufweist, zwischen denen die ausgesparten Bereiche (15) ausgebildet sind.
- 15 8. Steuerventil zum Steuern eines Fluidflusses mittels eines Piezoaktors (1), dadurch gekennzeichnet, dass der Piezoaktor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7 ausgebildet ist.

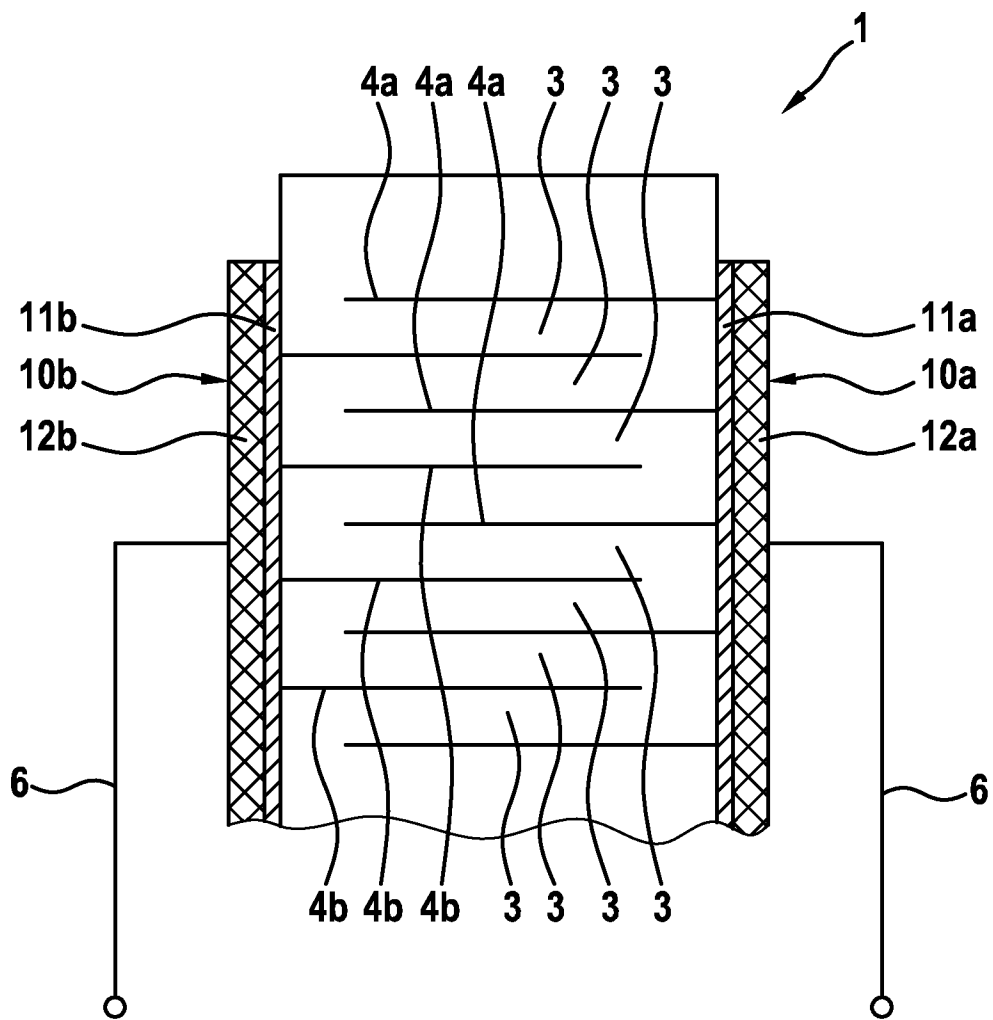
1 / 8

Fig. 1



2 / 8

Fig. 2



3 / 8

Fig. 3a

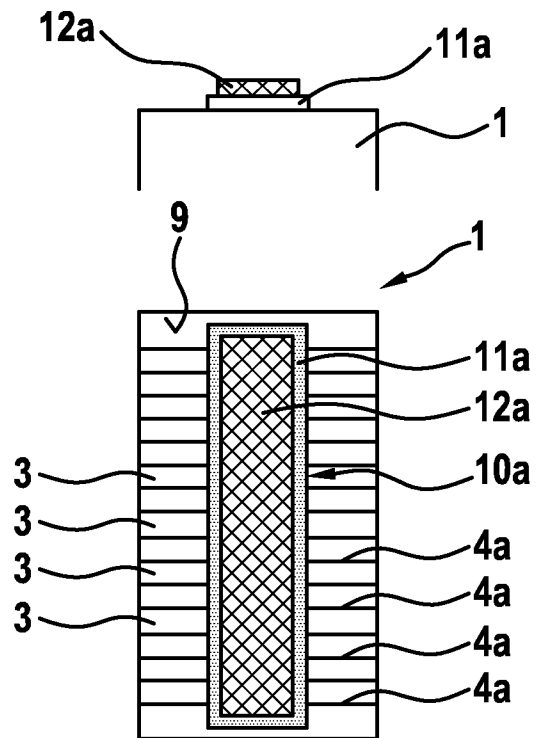
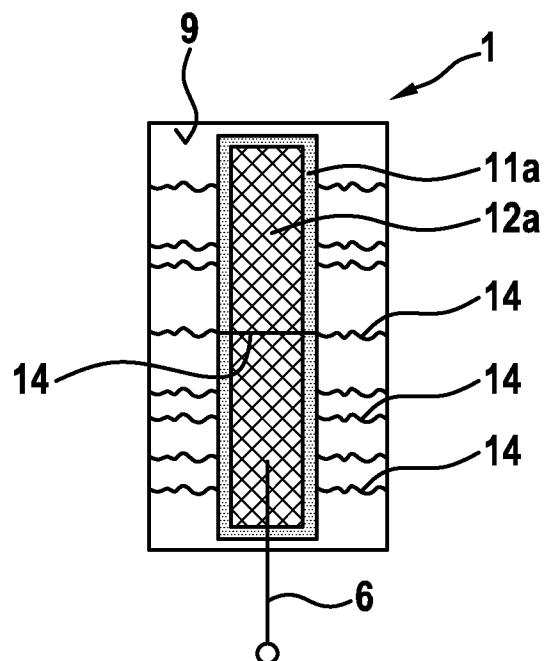


Fig. 3b



4 / 8

Fig. 4a

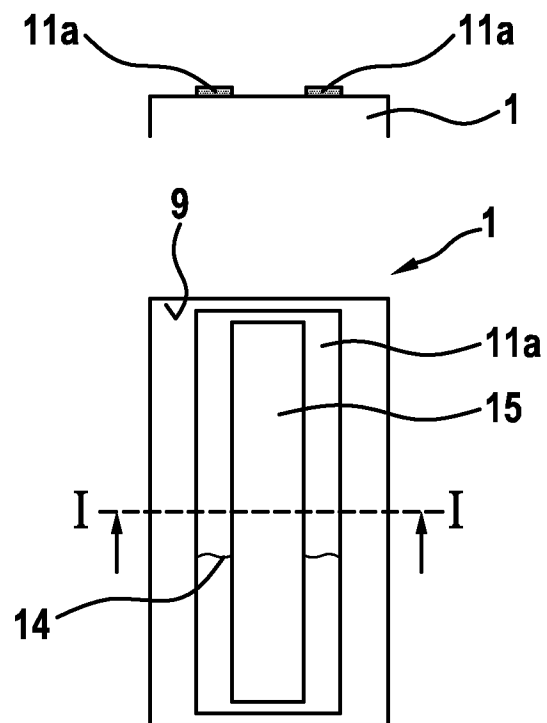
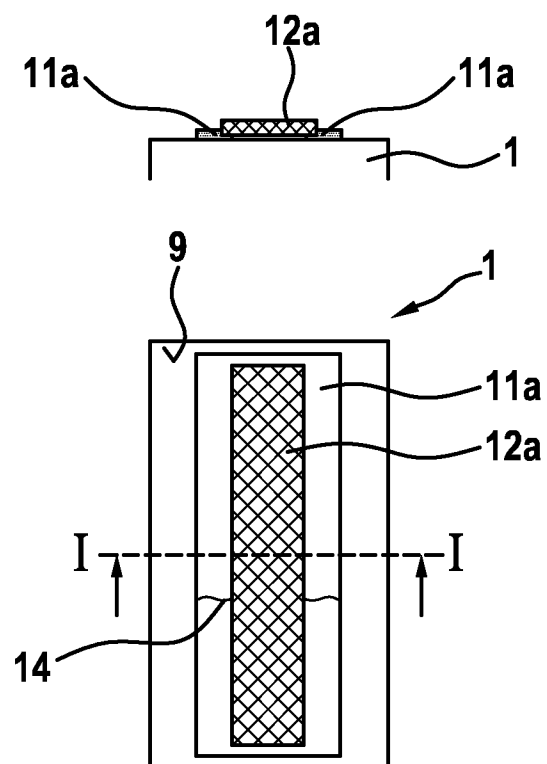


Fig. 4b



5 / 8

Fig. 5a

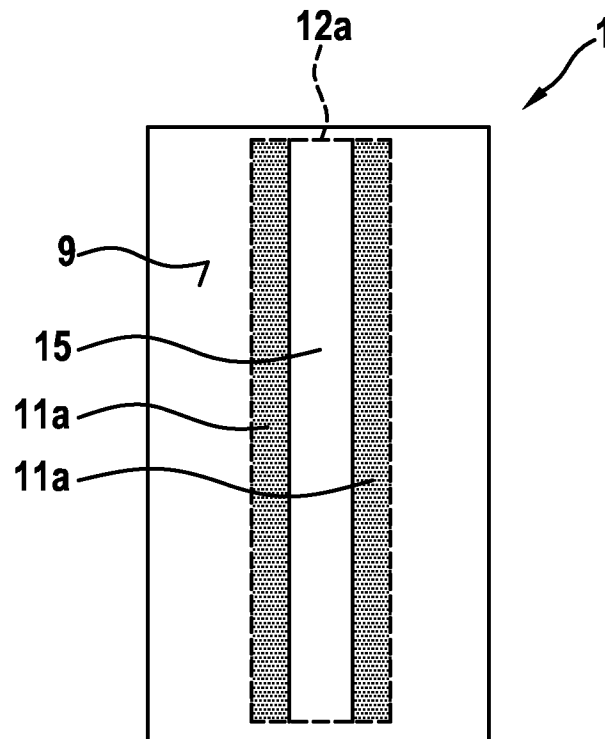
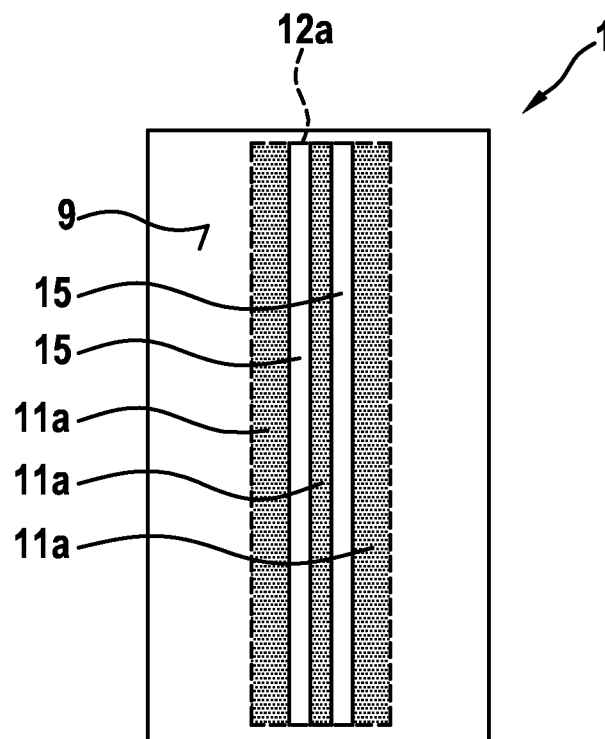


Fig. 5b



6 / 8

Fig. 5c

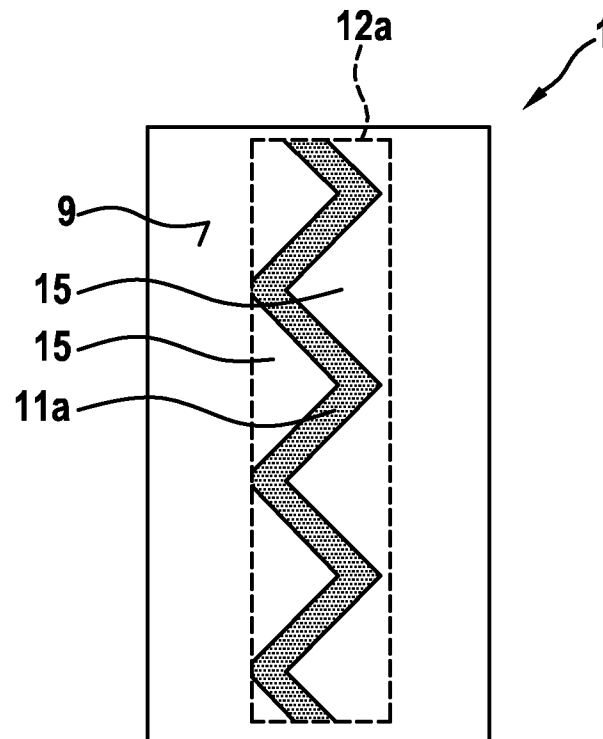
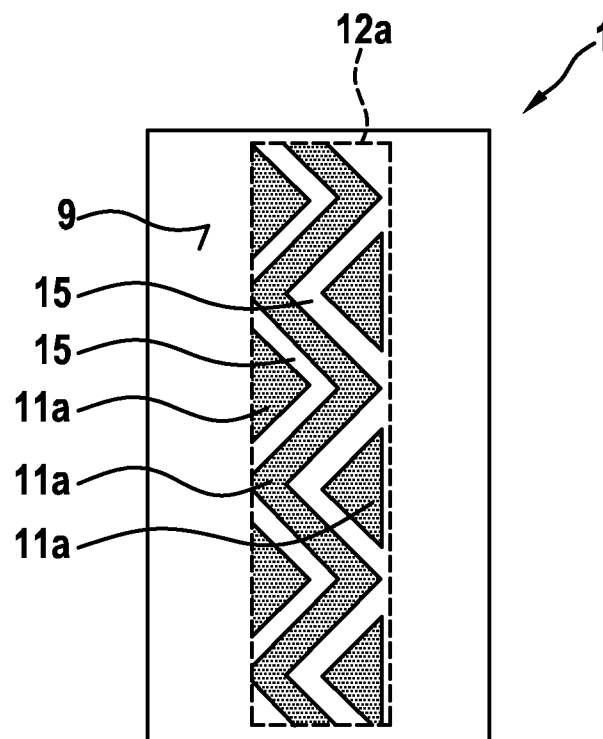


Fig. 5d



7 / 8

Fig. 5e

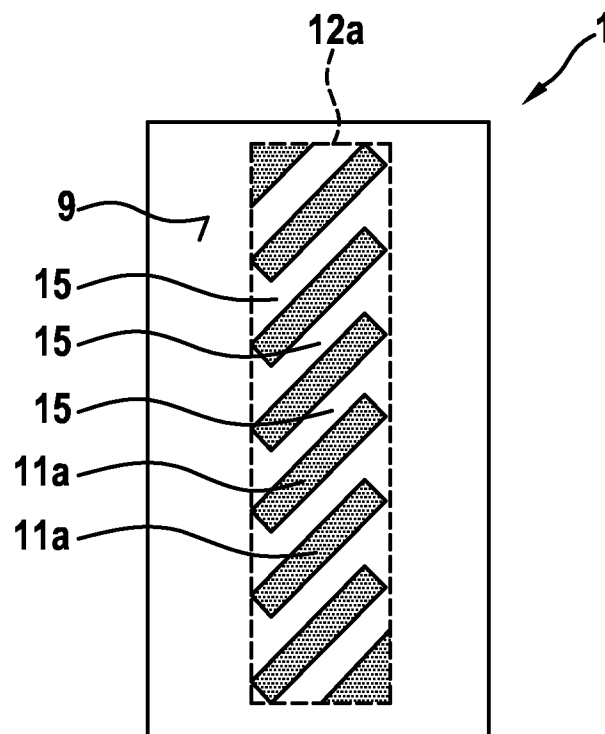
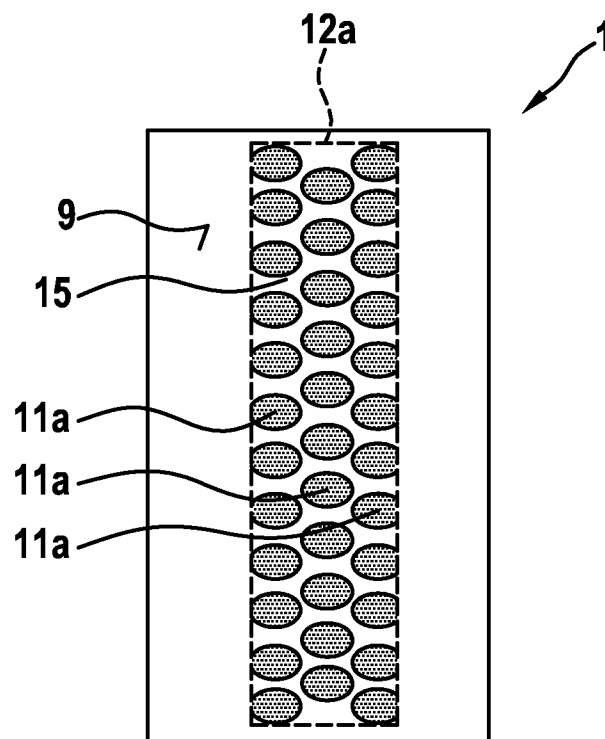


Fig. 5f



8 / 8

Fig. 5g

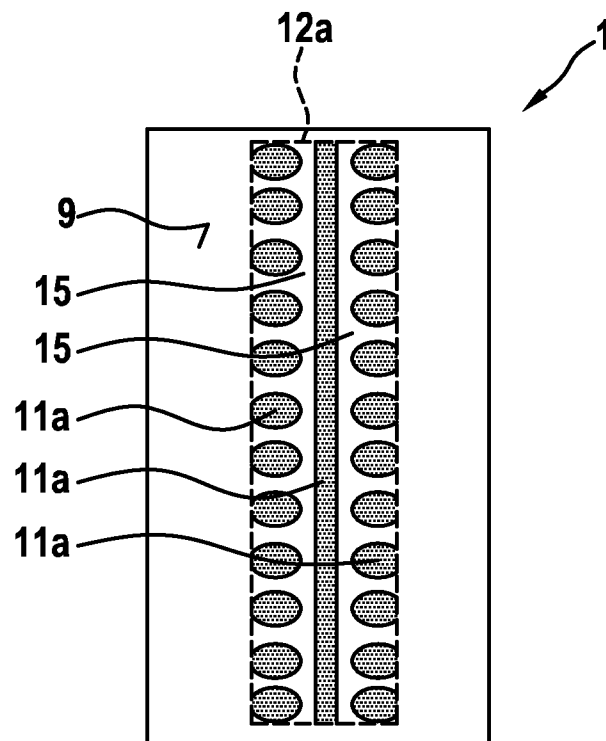
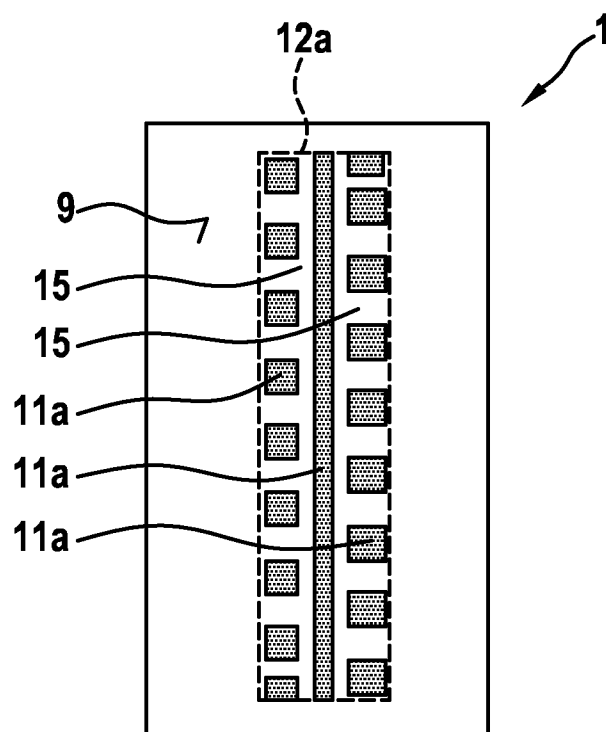


Fig. 5h



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2014/076100

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L41/047
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

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, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 239 525 A2 (CERAM TEC AG INNOVATIVE CERAMI [DE]) 11 September 2002 (2002-09-11) paragraph [0008] - paragraph [0030]; figures 1-5 -----	1-3,7,8
X	EP 1 204 152 A2 (CERAMTEC AG [DE]) 8 May 2002 (2002-05-08) paragraph [0017] - paragraph [0031]; figures 1-7 -----	1-3,6-8
X	JP 2008 243924 A (NGK SPARK PLUG CO) 9 October 2008 (2008-10-09) paragraph [0013] - paragraph [0022]; figures 1-5 -----	1-5,8
A	WO 01/78158 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 18 October 2001 (2001-10-18) page 7, line 1 - line 29 -----	1-8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"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

3 February 2015

Date of mailing of the international search report

18/02/2015

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/EP2014/076100

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1239525	A2	11-09-2002	AT 373321 T 15-09-2007
		DE 10206115 A1 19-09-2002	
		DK 1239525 T3 07-01-2008	
		EP 1239525 A2 11-09-2002	
		JP 2002280630 A 27-09-2002	
		US 2002158551 A1 31-10-2002	
EP 1204152	A2	08-05-2002	AT 326769 T 15-06-2006
		DE 10152490 A1 08-05-2002	
		EP 1204152 A2 08-05-2002	
		JP 4338341 B2 07-10-2009	
		JP 2002171004 A 14-06-2002	
		US 2002089266 A1 11-07-2002	
JP 2008243924	A	09-10-2008	NONE
WO 0178158	A1	18-10-2001	CZ 20023364 A3 14-05-2003
		DE 10017975 A1 25-10-2001	
		EP 1275160 A1 15-01-2003	
		ES 2292569 T3 16-03-2008	
		JP 4921675 B2 25-04-2012	
		JP 2004508695 A 18-03-2004	
		WO 0178158 A1 18-10-2001	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H01L41/047
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H01L

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, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 239 525 A2 (CERAM TEC AG INNOVATIVE CERAMI [DE]) 11. September 2002 (2002-09-11) Absatz [0008] - Absatz [0030]; Abbildungen 1-5 -----	1-3,7,8
X	EP 1 204 152 A2 (CERAMTEC AG [DE]) 8. Mai 2002 (2002-05-08) Absatz [0017] - Absatz [0031]; Abbildungen 1-7 -----	1-3,6-8
X	JP 2008 243924 A (NGK SPARK PLUG CO) 9. Oktober 2008 (2008-10-09) Absatz [0013] - Absatz [0022]; Abbildungen 1-5 -----	1-5,8
A	WO 01/78158 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 18. Oktober 2001 (2001-10-18) Seite 7, Zeile 1 - Zeile 29 -----	1-8



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

3. Februar 2015

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

18/02/2015

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/EP2014/076100

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1239525	A2	11-09-2002	AT 373321 T 15-09-2007
		DE 10206115 A1	19-09-2002
		DK 1239525 T3	07-01-2008
		EP 1239525 A2	11-09-2002
		JP 2002280630 A	27-09-2002
		US 2002158551 A1	31-10-2002
EP 1204152	A2	08-05-2002	AT 326769 T 15-06-2006
		DE 10152490 A1	08-05-2002
		EP 1204152 A2	08-05-2002
		JP 4338341 B2	07-10-2009
		JP 2002171004 A	14-06-2002
		US 2002089266 A1	11-07-2002
JP 2008243924	A	09-10-2008	KEINE
WO 0178158	A1	18-10-2001	CZ 20023364 A3 14-05-2003
		DE 10017975 A1	25-10-2001
		EP 1275160 A1	15-01-2003
		ES 2292569 T3	16-03-2008
		JP 4921675 B2	25-04-2012
		JP 2004508695 A	18-03-2004
		WO 0178158 A1	18-10-2001