

(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
16. Januar 2014 (16.01.2014)



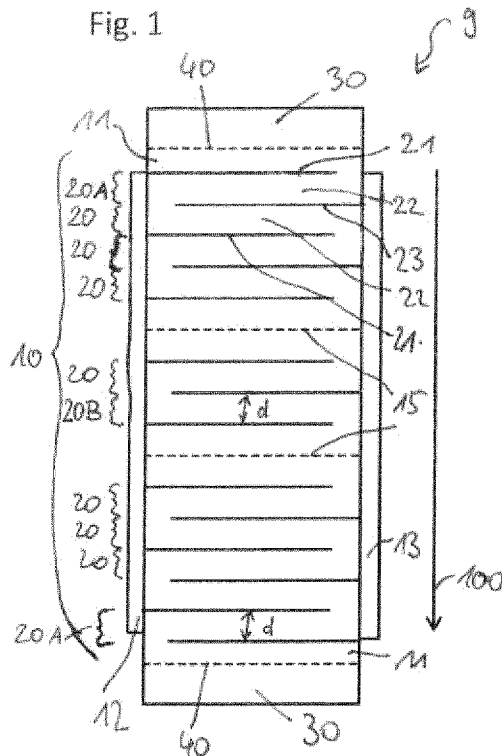
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/009303 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
F02M 51/06 (2006.01) *H01L 41/083* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/064350
- (22) Internationales Anmeldedatum:
8. Juli 2013 (08.07.2013)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2012 211 957.4 9. Juli 2012 (09.07.2012) DE
- (71) Anmelder: CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH
[DE/DE]; Vahrenwalder Straße 9, 30165 Hannover (DE).
- (72) Erfinder: DENZLER, Michael; Ceresweg 4, 93055 Regensburg (DE). RICHTER, Thomas; Großprüfening 12a, 93049 Regensburg (DE). KEMPE, Marco; Heiligenstr. 55, 90762 Fürth (DE). STEMPLINGER, Thomas; Freudensee 22, 94051 Hauzenberg (DE). ZHAO, Yanfei; Unterislinger Weg 24, 93053 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, IS, JP, KE, KG, 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, PA, 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: PIEZOELECTRIC MULTILAYER ACTUATOR AND INJECTION VALVE

(54) Bezeichnung : PIEZOELEKTRISCHER VIELSCHICHTAKTOR UND EINSPRITZVENTIL



(57) Abstract: A piezoelectric multilayer actuator (9) is specified. The multilayer actuator (9) has a layer stack (10) which contains a plurality of piezoelectric elements (20) stacked one above the other in a longitudinal direction. It also has an end region (30) which follows the piezoelectric elements (20) in the longitudinal direction and is piezoelectrically inactive. Between the end region (30) and the layer stack (10), the multilayer actuator (9) has a decoupling layer (40), the brittleness or fluidity of which is increased with respect to the end region (30). An injection valve (1) with such a multilayer actuator (9) is also specified.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein piezoelektrischer Vielschichtaktor (9) angegeben. Der Vielschichtaktor (9) weist einen Schichtstapel (10) auf, welcher eine Mehrzahl piezoelektrischer Elemente (20) enthält, die in einer Längsrichtung übereinander gestapelt sind. Er weist zudem einen Endbereich (30) auf, der den piezoelektrischen Elementen (20) in der Längsrichtung nachfolgt und piezoelektrisch inaktiv ist. Zwischen dem Endbereich (30) und dem Schichtstapel (10) weist der Vielschichtaktor (9) eine Entkopplungsschicht (40) auf, deren Sprödigkeit oder Fluidität gegenüber dem Endbereich (30) vergrößert ist. Zudem wird ein Einspritzventil (1) mit einem solchen Vielschichtaktor (9) angegeben.

WO 2014/009303 A1



(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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Beschreibung

Piezoelektrischer Vielschichtaktor und Einspritzventil

5 Die vorliegende Offenbarung betrifft einen piezoelektrischen Vielschichtaktor. Zudem betrifft sie ein Einspritzventil mit einem piezoelektrischen Vielschichtaktor.

10 Piezoelektrische Vielschichtaktoren, die für Einspritzventile geeignet sind, sind beispielsweise aus der Druckschrift EP 2082444 B1 bekannt. Sie enthalten einen monolithischen Schichtstapel mit einer Mehrzahl von piezoaktiven Elementen und inaktive Deckschichten an den Endflächen des Schichtstapels.

15 Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Offenbarung, einen piezoelektrischen Vielschichtaktor anzugeben, bei dem die Gefahr der Bildung unkontrollierter Risse in den inaktiven Deckschichten besonders gering ist.

20 Diese Aufgabe wird durch einen piezoelektrischen Vielschichtaktor mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Vielschichtaktors sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

25 Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Offenbarung, ein Einspritzventil anzugeben, das bei hohen Drücken besonders zuverlässig ist. Diese Aufgabe wird durch ein Einspritzventil gemäß dem Anspruch 10 gelöst.

30 Es wird ein piezoelektrischer Vielschichtaktor angegeben. Der piezoelektrische Vielschichtaktor weist einen monolithischen Schichtstapel auf, der eine Mehrzahl piezoelektrischer Elemente enthält, die in einer Längsrichtung übereinander gestapelt sind.

35 Jedes piezoelektrische Element enthält eine erste Elektrodenschicht, eine zweite Elektrodenschicht und eine piezokeramische Schicht zwischen den Elektrodenschichten. Die piezokeramische Schicht grenzt insbesondere an gegenüberlie-

genden Seiten an die erste bzw. zweite Elektrodenschicht an. Die Schichtdicke der piezokeramischen Schicht hat zum Beispiel einen Wert zwischen 40 μm und 200 μm , vorzugsweise hat sie einen Wert zwischen 50 μm und 130 μm , insbesondere zwischen 60 μm und 80 μm ,
5 wobei die Grenzen jeweils eingeschlossen sind.

Unter einer „piezokeramischen“ Schicht wird im vorliegenden Zusammenhang insbesondere eine Schicht verstanden, die einen keramischen Werkstoff enthält, der sich unter Einwirkung eines
10 elektrischen Feldes verformt. Insbesondere ist jedes der piezoelektrischen Elemente derart aufgebaut, dass das Anlegen einer elektrischen Spannung an die erste und zweite Elektrodenschicht eine Auslenkung der piezokeramischen Schicht in der Längsrichtung hervorruft. Auf diese Weise vergrößert sich die
15 Länge des Schichtstapels, das heißt seine Ausdehnung in der Längsrichtung, bei Anlegen einer elektrischen Spannung an die piezoelektrischen Elemente.

Darunter, dass der Schichtstapel ein „monolithischer“
20 Schichtstapel ist, wird im vorliegenden Zusammenhang insbesondere verstanden, dass die zur Bildung des Schichtstapels vorgesehenen Ausgangsschichten – insbesondere die zur Bildung der ersten und zweiten Elektrodenschichten und der piezokeramischen Schichten vorgesehenen Ausgangsschichten – zu
25 einem gemeinsamen Grünkörper gestapelt und gemeinsam zu dem Schichtstapel gesintert werden. Dabei bildet sich zweckmäßigerweise eine stabile Verbindung der Schichten untereinander aus, so dass die einzelnen piezoelektrischen Elemente insbesondere nicht mittels Klebstoffschichten miteinander verbunden
30 werden müssen. Insbesondere ist der Schichtstapel frei von Klebstoffschichten.

Zudem weist der piezoelektrische Vielschichtaktor einen Endbereich auf, der den piezoelektrischen Elementen in der
35 Längsrichtung nachfolgt. Insbesondere weist er einen weiteren – vorzugsweise baugleichen – Endbereich auf, der den piezoelektrischen Elementen in der Längsrichtung vorausgeht. Zur

Vereinfachung bezieht sich die nachfolgende Beschreibung nur auf einen der Endbereiche.

Der Endbereich ist zweckmäßigerweise piezoelektrisch inaktiv. Vorzugsweise ist er auch elektrisch isolierend, insbesondere um den Vielschichtaktor von anderen Bauteilen elektrisch zu isolieren. Vorzugsweise ist der Endbereich somit frei von metallischen Schichten. Insbesondere enthält er keine Elektroden-schicht.

10

Bei einer Ausgestaltung hat eine Schichtdicke des Endbereichs einen Wert zwischen 0,2 mm und 5 mm, zum Beispiel hat sie einen Wert zwischen 0,5 mm und 3 mm, insbesondere zwischen 0,8 mm und 1,6 mm, wobei die Grenzen jeweils eingeschlossen sind. Die Schichtdicke ist dabei die Abmessung des Endbereichs in Längsrichtung.

15

Bei einer Ausgestaltung enthält der Endbereich ein keramisches Material wie Aluminiumoxid oder ein piezokeramisches Material. Bei dem piezokeramischen Material handelt es sich insbesondere um ein Oxid mit Perowskit-Struktur, beispielsweise Blei-Zirkonat-Titanat.

20

Bei einer Ausgestaltung ist der Endbereich monolithisch in den Schichtstapel integriert und vorzugsweise aus dem gleichen piezokeramischen Werkstoff gefertigt wie die piezokeramischen Schichten der piezoelektrischen Elemente. „Monolithisch in den Schichtstapel integriert“ bedeutet dabei insbesondere, dass die zur Bildung des Endbereichs vorgesehene Ausgangsschicht und die zur Bildung des Schichtstapels vorgesehenen Ausgangsschichten zu einem gemeinsamen Grünkörper zusammengefügt und gemeinsam gesintert werden.

25

30

Ist der Endbereich aus einem piezokeramischen Werkstoff gefertigt, wird die piezoelektrische Inaktivität insbesondere dadurch erzielt, dass der Vielschichtaktor nicht dazu vorgesehen ist, mittels Elektroden-schichten ein elektrisches Feld in dem Endbereich hervorzurufen. Insbesondere ist der Endbereich frei

35

von Elektrodenschichten, die im Betrieb des Vielschichtaktors mit der an den Vielschichtaktor angelegten elektrischen Betriebsspannung versorgt sind.

5 Weiter weist der Vielschichtaktor eine Entkopplungsschicht zwischen dem Endbereich und dem Schichtstapel auf. Insbesondere folgen der Schichtstapel, die Entkopplungsschicht und der Endbereich unmittelbar aufeinander. Mit anderen Worten grenzt die Entkopplungsschicht vorzugsweise an gegenüber liegenden
10 Seiten an den Schichtstapel und den Endbereich an.

Die mechanische Stabilität der Entkopplungsschicht ist gegenüber dem Endbereich verringert. Vorzugsweise ist sie auch gegenüber der mechanischen Stabilität eines dem Endabschnitt zugewandten
15 Rand-Abschnitts des Schichtstapels verringert.

Darunter, dass die Entkopplungsschicht eine geringere mechanische Stabilität hat als der Endbereich bzw. als der der Entkopplungsschicht zugewandte Rand-Abschnitt des Schichtstapels, wird im vorliegenden Zusammenhang insbesondere verstanden, dass sich unter hinreichender Zugbelastung und/oder unter hinreichender Scherbelastung zwischen dem Endbereich und dem Schichtstapel der Endbereich im Bereich der Entkopplungsschicht von dem Schichtstapel ablöst. Insbesondere verläuft
20 die Bruchkante dabei in der Entkopplungsschicht oder an einer Grenzfläche der Entkopplungsschicht.
25

Dehnen sich die piezoelektrischen Elemente im Betrieb des Vielschichtaktors aufgrund des inversen Piezoeffekts in
30 Längsrichtung aus, geht dies mit einer Verjüngung quer zur Längsrichtung einher, das heißt mit einer Verringerung des Querschnitts, sodass insbesondere das Volumen der piezokeramischen Schichten konstant oder zumindest näherungsweise konstant bleibt. Dieses Verhalten wird auch als
35 „Querkontraktion“ bezeichnet. Der piezoelektrisch inaktive Endbereich ist keiner solchen Querkontraktion aufgrund des inversen piezoelektrischen Effekts unterworfen, so dass er bestrebt ist, seine Querschnittsabmessungen beizubehalten.

Bei herkömmlichen piezoelektrischen Vielschichtaktoren ist der Endbereich starr mit dem Schichtstapel gekoppelt. Beispielsweise grenzt er direkt an den Schichtstapel an, etwa an eine Elektrodenschicht eines der piezoelektrischen Elemente, und ist monolithisch in den Schichtstapel integriert.

Als Folge dieser unterschiedlichen Querkontraktion können bei herkömmlichen piezoelektrischen Vielschichtaktoren mechanische Spannungen entstehen. Die mechanischen Spannungen rufen insbesondere eine Biegung oder zumindest eine Biegespannung in dem Endbereich hervor. Die Biegespannung ist insbesondere so gerichtet, dass die seitlichen, vorzugsweise zur Längsrichtung parallelen Außenflächen des Endbereichs in Richtung zum Schichtstapel hingezogen werden. Die ggf. hervorgerufene Biegung führt somit insbesondere zu einer konvexen Krümmung der vom Schichtstapel abgewandten Außenfläche des Endbereichs.

Mittels der Entkopplungsschicht sind derartige Biegespannungen in dem Endbereich vorteilhafterweise reduziert. So ist mit Vorteil die Gefahr verringert, dass in dem Vielschichtaktor unkontrollierte Risse entstehen, welche ausgehend von dem Endbereich in Längsrichtung zu den piezoelektrischen Elementen des Schichtstapels wachsen und deren Funktionsfähigkeit beeinträchtigen können, beispielsweise indem sie zu elektrischen Überschlügen und damit zum Ausfall des Vielschichtaktors führen.

Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung ist mittels der Entkopplungsschicht der Formschluss und/oder der Kraftschluss zwischen dem Endbereich und dem Schichtstapel aufgehoben. „Aufhebung des Formschlusses“ bedeutet dabei insbesondere, dass der Abstand zwischen dem Endbereich und dem Schichtstapel – oder zumindest zwischen in Draufsicht auf die Längsrichtung überlappenden Teilbereichen von Endbereich und Schichtstapel – mittels der Entkopplungsschicht veränderlich ist. „Aufhebung des Kraftschlusses“ bedeutet insbesondere, dass der Endbereich und der Schichtstapel – oder in Draufsicht auf die Längsrichtung überlappende Teilbereiche von Endbereich und Schichtstapel – quer zur Längsrichtung gegeneinander beweglich sind.

Zweckmäßigerweise ist mittels der Entkopplungsschicht die Übertragung von quer zur Längsrichtung wirkenden Scherkräften von dem Schichtstapel auf den Endbereich gegenüber einer starren Kopplung verringert. Alternativ oder zusätzlich kann die
5 Übertragung von Zugkräften in Längsrichtung gegenüber einer starren Kopplung verringert sein.

Insbesondere ist die Kopplung des Endbereichs an Querschnittsänderungen des Schichtstapels gegenüber einer
10 starren Kopplung reduziert, oder der Endbereich ist vollständig gegenüber Querschnittsänderungen des Schichtstapels entkoppelt.

Gemäß zumindest einer Ausgestaltung sind in der Entkopplungsschicht ein oder mehrerer Risse ausgebildet, so dass eine
15 stellenweise oder vollständige Ablösung des Endbereichs vom Schichtstapel erzielt ist. Vorzugsweise ist der Endbereich im Bereich der Entkopplungsschicht vollständig von dem Schichtstapel abgerissen. Unter einem Riss, der „in der Entkopplungsschicht ausgebildet ist“, wird dabei im vorliegenden
20 Zusammenhang auch ein Riss verstanden, der an einer Grenzfläche der Entkopplungsschicht zum Endbereich und/oder an einer Grenzfläche der Entkopplungsschicht zum Schichtstapel verläuft.

Die Ausbildung der Risse bzw. die Ablösung des Endbereichs von
25 dem Schichtstapel erfolgen insbesondere nachfolgend auf die Herstellung des piezoelektrischen Vielschichtaktors infolge von Querkontraktionen und Längsausdehnungen des Schichtstapels im Betrieb des Vielschichtaktors. Beispielsweise können sich die Risse mit der Betriebsdauer des Vielschichtaktors vergrößern und
30 erst nach und nach zu einer vollständigen Ablösung führen.

Vorteilhafterweise ist mittels der gegenüber dem Endbereich verringerten mechanischen Stabilität der Entkopplungsschicht die Gefahr reduziert, dass sich die Risse in den Endbereich oder
35 in den Schichtstapel hinein ausbreiten. Vielmehr verlaufen die Risse bzw. erfolgt die Ablösung aufgrund deren geringerer mechanischer Stabilität gezielt in der Entkopplungsschicht.

Die Gefahr von Funktionsausfällen aufgrund biegespannungs-induzierter Risse besteht bei Anwendungen mit hohen mechanischen Belastungen im besonderen Maße. Eine solche Anwendung ist ein Einspritzventil für einen Dieselmotor, bei dem
5 Treibstoff in der Regel mit einem Druck im Bereich von 2000 bar dosiert werden muss. Der piezoelektrische Vielschichtaktor gemäß der vorliegenden Offenbarung ist daher besonders gut für ein Einspritzventil für einen Dieselmotor geeignet.

10 Bei einer Ausgestaltung besitzt die Entkopplungsschicht eine größere Sprödigkeit als der Endbereich und vorzugsweise auch eine größere Sprödigkeit als ein an die Entkopplungsschicht angrenzender Rand-Abschnitt des Schichtstapels, wodurch die verringerte mechanische Stabilität erzielt ist.

15

Beispielsweise ist die Entkopplungsschicht eine poröse keramische Schicht. Eine „keramische Schicht“ ist aus einem keramischen Material gefertigt. Ein keramisches Material weist Partikel und Hohlräume auf. Unter einer „porösen keramischen
20 Schicht“ wird im vorliegenden Zusammenhang eine keramische Schicht verstanden, bei der der Volumenanteil der Hohlräume größer ist als der Volumenanteil der Hohlräume in dem Endbereich, falls dieses keramische Material enthält, oder in dem keramischen Material der piezokeramischen Schichten, wodurch
25 insbesondere die verringerte mechanische Stabilität erzielt ist.

Bei einer anderen Ausgestaltung ist die Entkopplungsschicht eine durchbrochene Metallschicht. Die durchbrochene Metallschicht weist beispielsweise eine Vielzahl von Metallinseln und mindestens einen Hohlraum auf, der die Metallinseln umgibt. Alternativ kann es sich bei der durchbrochenen Metallschicht auch um eine Metallschicht handeln, die mit einer Vielzahl von Hohlräumen durchsetzt ist, wobei der Hohlraum bzw. die Hohlräume die Entkopplungsschicht in Längsrichtung vorzugsweise vollständig durchdringen. Die Metallschicht bzw. die Metallinseln weisen bei einer Weiterbildung Silber auf oder bestehen daraus.
35

Vorteilhafterweise ist die Bindung zwischen dem Endbereich und einer durchbrochenen Metallschicht vergleichsweise gering und die Metallinseln bzw. die mit Hohlräumen durchsetzte Metallschicht ist vergleichsweise leicht verformbar, wodurch insbesondere die verringerte mechanische Stabilität der durchbrochenen Metallschicht erzielt ist. So erfolgt vorzugsweise bei Querkontraktion und Längsausdehnung des Schichtstapels eine Verformung und/oder eine zumindest partielle Ablösung der Metallschicht von dem Endbereich und/oder von dem Schichtstapel. Auf diese Weise werden Scher- und Zugkräfte nur in vergleichsweise geringem Maß vom Schichtstapel auf den Endbereich übertragen, so dass der Endbereich auch nur mit einer vergleichsweise geringen Biegespannung beaufschlagt wird.

Bei einer weiteren Ausgestaltung ist die Entkopplungsschicht eine keramische Schicht, bei der die Partikel des keramischen Materials nur schwach untereinander verbunden sind. Beispielsweise sind die Partikel der keramischen Entkopplungsschicht schwächer untereinander verbunden als die Partikel des Endbereichs wenn dieser aus einem keramischen Werkstoff gefertigt ist. In diesem Fall haben die Sinterhalse zwischen den Partikeln der Entkopplungsschicht insbesondere im Mittel einen geringeren Querschnitt als die Sinterhalse zwischen den Partikeln des Endbereichs. Vorzugsweise ist die als keramische Schicht ausgeführte Entkopplungsschicht frei von metallischen Schichten, insbesondere Innenelektrodenschichten.

Die beispielsweise als durchbrochene Metallschicht oder als poröse keramische Schicht ausgebildete Entkopplungsschicht ist bei einer Ausgestaltung monolithisch in den Schichtstapel integriert. Bei einer vorteilhaften Weiterbildung ist in diesem Fall auch der Endbereich monolithisch mit dem Schichtstapel und der Entkopplungsschicht gefertigt. Das bedeutet insbesondere, dass bei der Herstellung des Vielschichtaktors die zu Bildung des Schichtstapels, der Entkopplungsschicht und ggf. des Endbereichs vorgesehenen Ausgangsschichten zu einem gemeinsamen Grünkörper zusammengefügt und zu gemeinsam gesintert werden.

Beispielsweise in diesem Fall der monolithischen Integration der Entkopplungsschicht bzw. der Entkopplungsschicht und des Endbereichs kann es - zum Beispiel aus fertigungstechnischen Gründen - erforderlich oder erwünscht sein, dass der

5 Schichtstapel einen piezoelektrisch inaktiven Rand-Abschnitt aufweist, der zwischen den piezoelektrischen Elementen und der Entkopplungsschicht angeordnet ist und insbesondere an die Entkopplungsschicht und an eines der piezoelektrischen Elemente angrenzt. Der piezoelektrisch inaktive Rand-Abschnitt ist

10 beispielsweise aus dem gleichen piezokeramischen Material gefertigt wie die piezokeramischen Schichten der piezoelektrischen Elemente. Der piezoelektrisch inaktive Rand-Abschnitt ist vorzugsweise frei von metallischen Schichten, insbesondere Innenelektrodenschichten.

15

Weist der Schichtstapel einen piezoelektrisch inaktiven Rand-Abschnitt auf, ist dessen Schichtdicke zweckmäßigerweise möglichst klein. Beispielsweise hat sie einen Wert von 100 Mikrometer oder weniger, bei einer Weiterbildung von 50 μm oder

20 weniger, zum Beispiel von 30 μm oder weniger. Insbesondere hat die Schichtdicke einen Wert von einem Mikrometer oder größer, wobei die Grenzen eingeschlossen sind.

25

Bei einer anderen Ausgestaltung ist die Entkopplungsschicht von einer Klebstoffschicht gebildet. Beispielsweise bei dieser Ausführungsform ist der Endbereich vorzugsweise als separat gefertigtes Endstück ausgebildet.

30

Bei einer Ausgestaltung hat die Klebstoffschicht eine größere Fluidität - und damit eine geringere mechanische Stabilität - als der Endbereich. Die Fluidität ist dabei der Kehrwert der Viskosität. Auf diese Weise ist die Klebstoffschicht insbesondere dazu ausgebildet, Scher- und/oder Zugkräfte aufzunehmen, so dass diese nicht oder nur in vergleichsweise geringem Maß vom

35 Schichtstapel auf den Endbereich übertragen werden. Als Klebstoff ist beispielsweise ein Silikonharz geeignet.

Alternativ kann auch ein Klebstoff verwendet sein, der eine größere Sprödigkeit als der Endbereich aufweist, so dass sich bei Längsausdehnung und Querkontraktion des Schichtstapels im Betrieb des Vielschichtaktors innerhalb der Klebstoffschicht oder an der Grenzfläche zwischen Klebstoffschicht und Endbereich bzw. Schichtstapel Risse bilden oder eine vollflächige Ablösung erfolgt.

Bei einer anderen Ausgestaltung ist der Endbereich von dem Schichtstapel separat gefertigt und liegt lose auf dem Schichtstapel auf. Insbesondere ist bei dieser Ausgestaltung kein zusätzliches Material zwischen dem Schichtstapel und dem Endbereich eingebracht. Vielmehr wird die Entkopplungsschicht von den einander gegenüber liegenden Außenflächen des Endbereichs und des Schichtstapels gebildet. Insbesondere aufgrund der vergleichsweise geringen Bindungskräfte, die zwischen diesen Grenzflächen wirken, ist in diesem Fall die verringerte mechanische Stabilität der Entkopplungsschicht erzielt. Der Endbereich ist auf diese Weise insbesondere quer zur Längsrichtung auf dem Schichtstapel gleitend gelagert und ist in Längsrichtung von dem Schichtstapel abnehmbar. Mit Vorteil wird auf diese Weise eine besonders gute Entkopplung des Endbereichs von dem Schichtstapel hinsichtlich Scher- und Zugkräften erzielt. Gemäß einer Weiterbildung kann hierbei der Endbereich direkt an eine Elektrodenschicht eines piezoelektrischen Elementes des Schichtstapels angrenzen.

Der Schichtstapel kann einen Übergangsbereich aufweisen, der mehrere der piezoelektrischen Elemente enthält, wobei in dem Übergangsbereich die Schichtdicke jeweils in Längsrichtung aufeinander folgender piezoelektrischer Elemente in Richtung zu dem Endbereich hin zunimmt. Beispielsweise haben die in dem Übergangsbereich angeordneten piezoelektrischen Elemente größere Schichtdicken als piezoelektrische Elemente, die auf der vom Endbereich abgewandten Seite des Übergangsbereichs in Schichtstapel angeordnet sind. Als „Schichtdicke“ wird im vorliegenden Zusammenhang die jeweilige Ausdehnung in Längsrichtung verstanden.

Mit zunehmender Schichtdicke nimmt die Längsauslenkung der piezoelektrischen Elemente in Längsrichtung ab, womit auch die Querkontraktion des jeweiligen piezoelektrischen Elements
5 geringer wird. Auf diese Weise kann mit dem Übergangsbereich die auf den Endbereich wirkende Biegespannung weiter reduziert sein.

Bei den mit der Entkopplungsschicht ausgestatteten Vielschichtaktoren gemäß der vorliegenden Offenbarung kann mit
10 Vorteil auf einen solchen Übergangsbereich verzichtet sein, so dass die piezoelektrischen Elemente, die dem Endbereich benachbart sind, dieselben Schichtdicken haben können wie die von dem Endbereich weiter entfernten piezoelektrischen Elemente. Beispielsweise enthält der piezoelektrische Vielschichtaktor
15 ein erstes piezoelektrisches Element, das dem Endbereich benachbart ist und ein zweites piezoelektrisches Element, das einen größeren Abstand von dem Endbereich hat, wobei das erste und das zweite piezoelektrische Element gleiche Schichtdicken haben. Dass das erste piezoelektrische Element dem Endbereich be-
20 nachbart ist, bedeutet dabei insbesondere, dass keine weiteren piezoelektrischen Elemente des Schichtstapels zwischen dem ersten piezoelektrischen Element und dem Endbereich angeordnet sind. Auf diese Weise ist bei gleicher Längsausdehnung des Schichtstapels gegenüber Schichtstapeln mit Übergangsbereich
25 eine größere Auslenkung in Längsrichtung erzielbar.

Figurenbeschreibung

Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des piezoelektrischen Vielschichtaktors und des Einspritzventils ergeben sich aus den folgenden, im Zusammenhang mit den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen.
30

Es zeigen:

35

Figur 1 einen schematischen Querschnitt durch einen piezoelektrischen Vielschichtaktor gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel,

- Figur 2a einen Ausschnitt des Vielschichtaktors gemäß der Figur 1 im spannungslosen Zustand,
- 5 Figur 2b den Ausschnitt der Figur 2a bei anliegender Betriebsspannung,
- Figur 3 einen piezoelektrischen Vielschichtaktor gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel, und
- 10 Figur 4 ein Einspritzventil mit einem piezoelektrischen Vielschichtaktor gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel.
- 15 In den Figuren und Ausführungsbeispielen sind gleiche, gleichartige oder gleichwirkende Elemente mit denselben Bezugszeichen versehen. Die Figuren und die Größenverhältnisse der in den Figuren dargestellten Elemente sind nicht als maßstabsgetreu zu betrachten. Beispielsweise können einzelne
- 20 Elemente zur besseren Darstellbarkeit oder zum besseren Verständnis übertrieben groß bzw. dick dargestellt sein.
- Figur 1 zeigt eine schematische Querschnittsdarstellung eines piezoelektrischen Vielschichtaktors 9 gemäß einem ersten
- 25 Ausführungsbeispiel.
- Der piezoelektrische Vielschichtaktor 9 weist einen Schichtstapel 10 auf, der eine Mehrzahl von piezoelektrischen Elementen 20 enthält. Jedes piezoelektrische Element 20 ist aus einer
- 30 ersten Elektrodenschicht 21, einer piezokeramischen Schicht 22 und einer zweiten Elektrodenschicht 23 aufgebaut. Die piezokeramische Schicht 22 ist zwischen den beiden Elektrodenschichten 21, 23 angeordnet und grenzt insbesondere an diese an.
- 35 Vorliegend enthält der Schichtstapel 10 an mehreren Stellen zwischen zwei aufeinanderfolgenden piezoelektrischen Elementen 20 jeweils eine Sollbruchschicht 15. Vorliegend sind die Sollbruchschichten 15 dazu ungeeignet, als Elektrodenschichten

zu fungieren. Insbesondere haben sie eine für Elektroden-
schichten unzureichende Leitfähigkeit quer zur Längsrichtung
100. Die Sollbruchschichten 15 können zum Beispiel zwischen
piezoelektrisch inaktiven keramischen Schichten des Schicht-
5 stapels 10 angeordnet sein.

Solche Sollbruchschichten sind dem Fachmann im Prinzip bekannt.
Beispielsweise handelt es sich bei den Sollbruchschichten um
durchbrochene Metallschichten oder poröse keramische Schichten.
10 Derartige Sollbruchschichten sind beispielsweise in der
WO2009/092584 A1, der EP 2082444 B1 und der DE 10 2010 006587 A1
bekannt, deren Offenbarungsgehalt hinsichtlich der Ausge-
staltung und Anordnung der Sollbruchschichten in die vorliegende
Offenbarung durch Rückbezug aufgenommen wird.

15 Bei einer anderen, in den Figuren nicht dargestellten Ausge-
staltung sind die Sollbruchschichten 15 jeweils in einem der
piezoelektrischen Elemente 20 enthalten. Beispielsweise folgen
in oder entgegen der Längsrichtung 100 die erste Elektroden-
20 schicht 21, ein erster Abschnitt der piezokeramischen Schicht 22,
die Sollbruchschicht 15, ein zweiter Abschnitt der
piezokeramischen Schicht 22 und die zweite Elektrodenschicht 23
in dieser Reihenfolge aufeinander.

25 Den piezoelektrischen Elementen 20 folgt in der Längsrichtung 100
ein optionaler Rand-Abschnitt 11 des Schichtstapels nach, der
beispielsweise von einer piezoelektrisch inaktiven keramischen
Schicht gebildet ist. Der Rand-Abschnitt 11 weist vorzugsweise
das gleiche piezokeramische Material auf wie die
30 piezokeramischen Schichten 22. Er hat vorzugsweise eine
Schichtdicke von 100 μm oder weniger, vorzugsweise von 50 μm oder
weniger.

Bei dem Schichtstapel 10 handelt es sich vorliegend um einen
35 monolithischen Schichtstapel, das bedeutet insbesondere, dass
die zur Bildung der piezoelektrischen Elemente 20, der Soll-
bruchschichten 15 sowie gegebenenfalls des Rand-Abschnitts 11
und der piezoelektrisch inaktiven keramischen Schichten vor-

gesehenen Ausgangsschichten zu einem gemeinsamen Grünkörper gestapelt und gemeinsam gesintert werden. Insbesondere sind die einzelnen piezoelektrischen Elemente nicht mittels Klebstoffschichten miteinander verbunden.

5

Der Rand-Abschnitt 11 grenzt an seiner von den piezoelektrischen Elementen 20 abgewandten Seite an eine Entkoppelungsschicht 40 an, die an ihrer vom Schichtstapel 10 abgewandten Seite an einem Endbereich 30 des Vielschichtaktors angrenzt.

10

Vorliegend und bevorzugt gehen den piezoelektrischen Elementen 20 entgegen der Längsrichtung 100 auch ein Rand-Abschnitt 11 des Schichtstapels 10 sowie eine Entkoppelungsschicht 40 und ein weiterer Endbereich 30 des Vielschichtaktors 9 voraus, so dass die piezoelektrischen Elemente 20 in Längsrichtung zwischen zwei insbesondere baugleichen Endbereichen 30 und Entkoppelungsschichten 40 eingeschlossen sind.

15

Der Vielschichtaktor weist zudem eine erste Anschlusselektrode 12 und eine zweite Anschlusselektrode 13 auf, deren Hauptstreckungsebenen insbesondere parallel zur Längsrichtung verlaufen und die auf verschiedene Seitenflächen des Schichtstapels 10 aufgebracht sind. Zweckmäßigerweise sind die ersten Elektrodenschichten 21 mit der ersten Anschlusselektrode elektrisch leitfähig miteinander verbunden und die zweiten Elektrodenschichten sind mit der zweiten Anschlusselektrode elektrisch leitend verbunden. Auf diese Weise ist die Polarität der ersten Elektrodenschichten untereinander gleich, die Polarität der zweiten Elektrodenschichten ist untereinander gleich und die Polaritäten der ersten und zweiten Elektrodenschichten sind voneinander verschieden.

20

25

30

Bei Anlegen einer elektrischen Betriebsspannung zwischen der ersten und zweiten Anschlusselektrode 12, 13 werden mittels der ersten und zweiten Elektrodenschichten 21, 23 elektrische Felder in den piezokeramischen Schichten 22 hervorgerufen, welche eine Expansion der piezokeramischen Schichten 22 und damit des Schichtstapels 10 in der Längsrichtung 100 bewirken. Mit der

35

Expansion in Längsrichtung geht eine Kontraktion der Querschnittsfläche des Schichtstapels 10 quer zur Längsrichtung 100 einher („Querkontraktion“), so dass das Volumen des Schichtstapels 10 zumindest näherungsweise konstant bleibt.

5

Die Endbereiche 30 sind piezoelektrisch inaktiv, insbesondere da sie nicht zwischen zwei Elektrodenschichten 21, 23 angeordnet sind. Zudem sind sie elektrisch isolierend. Vorliegend sind sie aus dem gleichen piezokeramischen Material gefertigt wie die piezokeramischen Schichten 22.

10

Wären die Endbereiche 30 starr, insbesondere kraft- und formschlüssig, mit dem Schichtstapel 10 verbunden, würden aufgrund der unterschiedlichen Querkontraktion von Schichtstapel 10 und Endbereichen 30 mechanische Spannungen in den Endbereichen auftreten, die insbesondere eine Biegung der Endbereiche 30 hervorrufen würden.

15

Die Entkoppelungsschichten 40 sind dazu vorgesehen, die Kopplung der Endbereiche 30 an den Schichtstapel 10 gegenüber Querschnittsänderungen des Schichtstapels 10 im Vergleich zu einer starren Kopplung zu reduzieren. Insbesondere ist mittels der Entkoppelungsschichten 40 die Übertragung von quer zur Längsrichtung 100 wirkenden Scherkräften von dem Schichtstapel 10 auf die Endbereiche 30 verringert.

20

Dies ist in den Figuren 2a und 2b, die Ausschnitte des Vielschichtaktors gemäß der Figur 1 zeigen, genauer dargestellt.

Figur 2a zeigt einen der Endbereiche 30 und den benachbarten Rand-Abschnitt 11 des Schichtstapels 10 mit der dazwischen angeordneten Entkopplungsschicht 40 im spannungslosen Zustand des Vielschichtaktors.

30

Figur 2b zeigt den Ausschnitt der Figur 2a bei an die Anschlusselektroden 12, 13 angelegter Betriebsspannung.

35

Die Entkopplungsschicht 40 ist vorliegend von einer durchbrochenen Metallschicht gebildet. Die durchbrochene Metallschicht ist beispielsweise aus einer Vielzahl von Metallinseln 41 und einem oder mehreren Hohlräumen 42 zusammengesetzt.

5 Beispielsweise ist mittels der metallischen Inseln 41 ein lateral zusammenhängender, netzförmiger Hohlraum 42 ausgebildet. Der oder die Hohlräume 42 erstrecken sich vorzugsweise über die gesamte Schichtdicke - das ist die Ausdehnung in Längsrichtung 100 - der Entkopplungsschicht 40. Eine solche Entkopplungsschicht 40 mit Metallinseln 41 ist mit Vorteil zwischen dem
10 keramischen Endbereich 30 und dem keramischen Rand-Abschnitt 11 besonders gut herstellbar.

Derartige durchbrochene Metallschichten sind für einen anderen
15 Zweck beispielsweise aus den Druckschriften WO 2009/092584 A1 und EP 2 082 444 B1 bekannt. Der Offenbarungsgehalt dieser Druckschriften hinsichtlich Aufbau und Herstellung der durchbrochenen Metallschichten wird hiermit durch Rückbezug in die vorliegende Offenbarung aufgenommen.

20 Aufgrund der starren Kopplung des Rand-Abschnitts 11 des Schichtstapels 10 an die piezoelektrischen Elemente 20 ist dieser bei angelegter Betriebsspannung quer zur Längsrichtung kontrahiert, angedeutet durch die Pfeile 150 in Figur 2b, und in
25 Längsrichtung 100 ausgelenkt. Auf diese Weise ist eine mechanische Biegespannung hervorgerufen.

Die Kopplung der Metall-Inseln 41 an den Endbereich 30 ist vergleichsweise schwach, so dass die mechanische Stabilität der
30 Entkopplungsschicht 40 gegenüber dem Endbereich 30 und dem Rand-Abschnitt 11 verringert ist. Dies führt dazu, dass die Biegespannung im Betrieb des Vielschichtaktors 9 Risse 45 in der Entkopplungsschicht 40 hervorruft, wodurch der Kraft- und
Formschluss zwischen den einander zugewandten Grenzflächen des
35 Endabschnitts 11 und des Endbereichs 30 aufgehoben ist, so dass die Grenzflächen 301, 111 quer zur Längsrichtung 100 zumindest stellenweise zueinander beweglich sind.

Bei einer Variante dieses Ausführungsbeispiels ist die Entkopplungsschicht 40 eine poröse keramische Schicht. Eine solche poröse keramische Schicht ist für einen anderen Zweck beispielsweise aus der Druckschrift DE 10 2010 006 587 A1 bekannt.
5 Der Offenbarungsgehalt dieser Druckschrift hinsichtlich Aufbau und Herstellung der porösen keramischen Schicht wird hiermit per Rückbezug in die vorliegende Anmeldung aufgenommen.

10 Figur 3 zeigt einen piezoelektrischen Vielschichtaktor gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel in einer schematischen Querschnittsdarstellung.

Bei dem zweiten Ausführungsbeispiel ist der Schichtstapel 10 in Längsrichtung 100 von Elektrodenschichten 21 bzw. 23 begrenzt.
15 So können keine Verspannungen zwischen den piezoelektrischen Elementen und piezoelektrisch inaktiven Rand-Abschnitten 11 auftreten, die mit der Gefahr von unkontrollierter Rissbildung einhergehen. Es kann jedoch auch, wie beim ersten Ausführungsbeispiel, an einem oder beiden längsseitigen Enden ein
20 Rand-Abschnitt 11 aus einem piezokeramischen Material in dem Schichtstapel 10 ausgebildet sein, der piezoelektrisch inaktiv ist.

Im Unterschied zu dem Vielschichtaktor gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel enthält der Schichtstapel 10 bei dem vor-
25 liegenden zweiten Ausführungsbeispiel an den in Längsrichtung 100 gegenüberliegenden Enden Übergangsbereiche R, die jeweils mehrere piezoelektrische Elemente mit ihren Elektrodenschichten 21, 23 enthalten. Die Abstände aufeinanderfolgender Elektro-
30 denschichten – die den Schichtdicken der jeweiligen piezoelektrischen Elemente 20 entsprechen – nehmen in Richtung zu dem dem Übergangsbereich R jeweils benachbarten Endbereich 30 hinzu, insbesondere ist $d_{R1} < d_{R2} < d_{R3}$. Auf diese Weise ist die mechanische Spannung zu dem benachbarten Endbereich 30 reduziert, da mit
35 zunehmenden Abstand d_{R1} , d_{R2} bzw. d_{R3} die Auslenkung des jeweiligen piezoelektrischen Elements 20 in Längsrichtung und die entsprechende Querkontraktion abnehmen.

Solche Schichtstapel mit Übergangsbereichen R sind dem Fachmann grundsätzlich bekannt, zum Beispiel aus der Druckschrift US 7,042,143 B2, deren Offenbarungsgehalt insofern hiermit durch Rückbezug in die vorliegende Offenbarung aufgenommen wird.

5 Solche Schichtstapel mit Übergangsbereichen R sind auch für die Vielschichtaktoren gemäß den Ausgestaltungen und Ausführungsbeispielen der vorliegenden Offenbarung geeignet.

Aufgrund der Entkopplungsschicht(en) 40 sind solche Übergangsbereiche R jedoch mit Vorteil entbehrlich, so dass das dem jeweiligen Endbereich 30 benachbarte erste piezoelektrische Element 20A des Schichtstapels 10 die gleiche Schichtdicke und insbesondere den gleichen Elektrodenabstand d haben kann wie ein weiter von dem Endbereich 30 entferntes zweites piezoelektrisches Element 20B (siehe Figur 1). Auf diese Weise kann im Vergleich zu Schichtstapeln 10 mit Übergangsbereichen R, in denen sich die Elektrodenabstände vergrößern, bei gleicher Längsabmessung des Schichtstapels 10 eine größere Anzahl von piezoelektrischen Elementen 20 in dem Schichtstapel 10 angeordnet werden. Auf diese Weise ist eine besonders große Auslenkung in Längsrichtung 100 pro Längeneinheit des Schichtstapels 10 erzielbar.

Bei dem vorliegenden zweiten Ausführungsbeispiel des Vielschichtaktors 9 sind die Endbereiche 30 nicht monolithisch in den Schichtstapel 10 integriert. Stattdessen handelt es sich um separat gefertigte Endstücke, die mittels jeweils einer der Entkopplungsschichten 40, die vorliegend Klebstoffschichten sind, auf den Schichtstapel aufgeklebt sind. Die Endstücke sind vorzugsweise piezoelektrisch inaktiv und elektrisch isolierend.

Das Material der Klebstoffschichten 40 ist beispielsweise so gewählt, dass es eine höhere Fluidität hat als das Material der Endbereiche 30. Auf diese Weise ist die Entkopplungsschicht 40 zumindest in lateraler Richtung, d. h. quer zur Längsrichtung 100, im Vergleich zum Endbereich 30 leicht verformbar. Auf diese Weise kann die Klebstoffschicht bei Querschnittsänderungen des Schichtstapels 10 auftretende Scherkräfte aufnehmen und

überträgt sie nicht oder nur zu einem vergleichsweise geringen Teil auf den jeweiligen Endbereich 30. Beispielsweise kann die Klebstoffschicht ein Silikonharz aufweisen oder daraus bestehen.

5 Alternativ kann die Klebstoffschicht auch aus einem Material gebildet sein, das eine größere Sprödigkeit hat, als das Material des Endbereichs 30, so dass sich bei Querschnitts-
änderungen des Schichtstapels 10 in Betrieb des Vielschicht-
aktors Risse 45 in der Klebstoffschicht 40 bilden, und so die
10 Übertragung von Scher- und Zugkräften auf den jeweiligen
Endbereich 30 mittels der Risse 45 reduziert ist.

Der Schichtstapel 10 bei dem zweiten Ausführungsbeispiel besteht aus den piezoelektrischen Elementen 20. Mit anderen Worten ist
15 er als alternierende Folge von Elektrodenschichten 21 bzw. 23 und piezokeramischen Schichten 22 aufgebaut. Jedoch kann er, wie beim ersten Ausführungsbeispiel, zusätzlich Sollbruchschichten 15 enthalten um die Gefahr von rissbedingten Funktionsbeein-
trächtigungen innerhalb des Schichtstapels 10 zu reduzieren.

20 Figur 4 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Einspritzventils 1 mit einem piezoelektrischen Vielschichtaktor 9 gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel in einer vereinfachten, schematischen Schnittdarstellung.

25 Das Einspritzventil 1 weist einen Ventilkörper 2 auf, der einen Innenraum umschließt, in dem der piezoelektrische Vielschichtaktor 9 angeordnet ist. Beispielsweise ist die Längsrichtung 100 des Schichtstapels 10 des Vielschichtaktors 9
30 parallel zu einer Längsachse des Einspritzventils 1 oder fällt mit dieser zusammen. Dem piezoelektrischen Vielschichtaktor 9 folgt in der Längsrichtung 100 eine Düsenadel 3 nach, mit der eine Verbindung zwischen Treibstoffzulauf 4 und Düsenloch 5 des Einspritzventils 1 hergestellt und unterbrochen werden kann.

35 Die Düsenadel 3 ist mittels einer Feder 6 in (oder entgegen) der Längsrichtung 100 gegen den piezoelektrischen Vielschichtaktor gepresst.

Bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel weist der Schichtstapel 10 sowohl Übergangsbereiche R als auch Sollbruchschichten 15 auf, wie sie im Zusammenhang mit den vorhergehenden Ausführungs-
5 beispielen beschrieben sind. Solche Schichtstapel sind auch für die anderen Ausführungsbeispiele und Ausgestaltungen des Vielschichtaktors 9 geeignet.

Die dem Schichtstapel 10 in Längsrichtung vorangehenden bzw.
10 nachfolgenden Endbereiche 30 des Vielschichtaktors 9 sind wie bei dem zweiten Ausführungsbeispiel des Vielschichtaktors 9 als separat gefertigte, piezoelektrisch inaktive und vorzugsweise elektrisch isolierende Endstücke ausgeführt. Sie enthalten
15 beispielsweise ein keramisches Material wie Aluminiumnitrid oder Blei-Zirkonat-Titanat.

Im Gegensatz zum zweiten Ausführungsbeispiel des Vielschicht-
aktors 9 grenzen die Endbereiche 30 jedoch direkt an den
Schichtstapel 10 an, so dass sich die einander zugewandten
20 Außenflächen 110 und 301 des Schichtstapels 10 und des jeweiligen Endstücks 30 berühren.

Die Entkopplungsschicht 40 zwischen dem Schichtstapel 10 und dem
jeweiligen Endbereich 30 wird in diesem Fall von der dem
25 Schichtstapel 10 zugewandten Außenfläche 301 des Endbereichs 30, der dem Endbereich 30 zugewandten Außenfläche 111 des Schichtstapels 10 und den zwischen diesen Flächen eventuell verbleibenden Gas- oder Fluidmolekülen aus dem Innenraum des Ventilkörpers 2 gebildet.

30 Anders ausgedrückt liegt bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel das jeweilige Endstück ohne Befestigungsschicht lose auf dem Schichtstapel 10 auf, so dass es lateral gegenüber dem Schichtstapel 10 beweglich ist. Die Endstücke 30 und der
35 Schichtstapel 10 werden lediglich durch den von der Feder 6 des Ventils 1 aufgebauten Federdruck - sowie je nach Ausrichtung die Schwerkraft - zusammengehalten.

Die Bindungskräfte zwischen den Außenflächen 111, 301 sind dabei im Vergleich zu den Bindungskräften innerhalb des insbesondere keramischen Endbereichs 310 vergleichsweise schwach, was einer verringerten mechanischen Stabilität der Entkopplungsschicht 40
5 entspricht. Die Grenzfläche 301 des Endbereichs 30 folgt Querkontraktionen des Schichtstapels 10 im Betrieb des piezoelektrischen Vielschichtaktors daher nicht oder nur in geringem Maße. Die Gefahr von unkontrollierten Rissen in den Endbereichen 30 aufgrund der Querkontraktionen des Schicht-
10 stapels 10 im Betrieb des Vielschichtaktors 9 ist auf diese Weise mit Vorteil reduziert.

Die Erfindung ist nicht durch die Beschreibung anhand der Ausführungsbeispiele auf diese beschränkt. Vielmehr umfasst sie
15 jede Kombination von Merkmalen in den Ausführungsbeispielen und Patentansprüchen. Insbesondere sind die Vielschichtaktoren gemäß den ersten beiden Ausführungsbeispielen und der weiteren Ausgestaltungen der vorliegenden Offenbarung ebenfalls für das Einspritzventil 1 geeignet.

20

Patentansprüche

1. Piezoelektrischer Vielschichtaktor (9) mit einem monolithischen Schichtstapel (10), der eine Mehrzahl piezoelektrischer Elemente (20) enthält, die in einer Längsrichtung (100) übereinander gestapelt sind, und mit einem Endbereich (30), der den piezoelektrischen Elementen (20) in der Längsrichtung (100) nachfolgt und der piezoelektrisch inaktiv ist, wobei der Vielschichtaktor (9) eine Entkopplungsschicht (40) zwischen dem Endbereich (30) und dem Schichtstapel (10) aufweist, deren mechanische Stabilität gegenüber der des Endbereichs (30) verringert ist.
2. Piezoelektrischer Vielschichtaktor (9) gemäß Anspruch 1, wobei der Endbereich (30) mit dem Schichtstapel (10) monolithisch gefertigt ist und in der Entkopplungsschicht (40) ein oder mehrere Risse (45) ausgebildet sind, so dass der Endbereich (30) stellenweise oder vollständig von dem Schichtstapel (10) abgelöst ist.
3. Piezoelektrischer Vielschichtaktor (9) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Entkopplungsschicht (40) eine durchbrochene Metallschicht oder eine poröse keramische Schicht ist.
4. Piezoelektrischer Vielschichtaktor (9) nach einem der Ansprüche 1 bis 2, wobei die Entkopplungsschicht (40) von einer Klebstoffschicht gebildet ist.
5. Piezoelektrischer Vielschichtaktor (9) nach Anspruch 1, wobei der Endbereich (30) separat gefertigt ist und lose auf dem Schichtstapel (10) aufliegt, so dass einander zugewandte Außenflächen des Endbereichs (301) und des Schichtstapels (111) die Entkopplungsschicht (40) bilden.

6. Piezoelektrischer Vielschichtaktor (9) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Endbereich (30) ein keramisches Material wie Aluminiumoxid oder Blei-Zirkonat-Titanat enthält.
7. Piezoelektrischer Vielschichtaktor (9) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Schichtstapel (10) ein erstes piezoelektrisches Element (20A) enthält, das dem Endbereich (30) benachbart ist, und ein zweites piezoelektrisches Element (20B) aufweist, das einen größeren Abstand von dem Endbereich (30) hat, wobei das erste und das zweite piezoelektrische Element (20A, 20B) gleiche Schichtdicken (d) haben.
8. Piezoelektrischer Vielschichtaktor (9) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Schichtstapel (10) einen Übergangsbereich (R) aufweist, der mehrere der piezoelektrischen Elemente (20) enthält und eine Schichtdicke (d_{R1} , d_{R2} , d_{R3}) jeweils in Längsrichtung (100) aufeinander folgender piezoelektrischer Elemente (20) des Übergangsbereichs (R) in Richtung zu dem Endbereich (30) hin zunimmt.
9. Piezoelektrischer Vielschichtaktor (9) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Schichtstapel (10) Sollbruchschichten (15) aufweist.
10. Einspritzventil (1) für einen Diesel-Motor mit einem piezoelektrischen Vielschichtaktor (9) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche.

Fig. 1

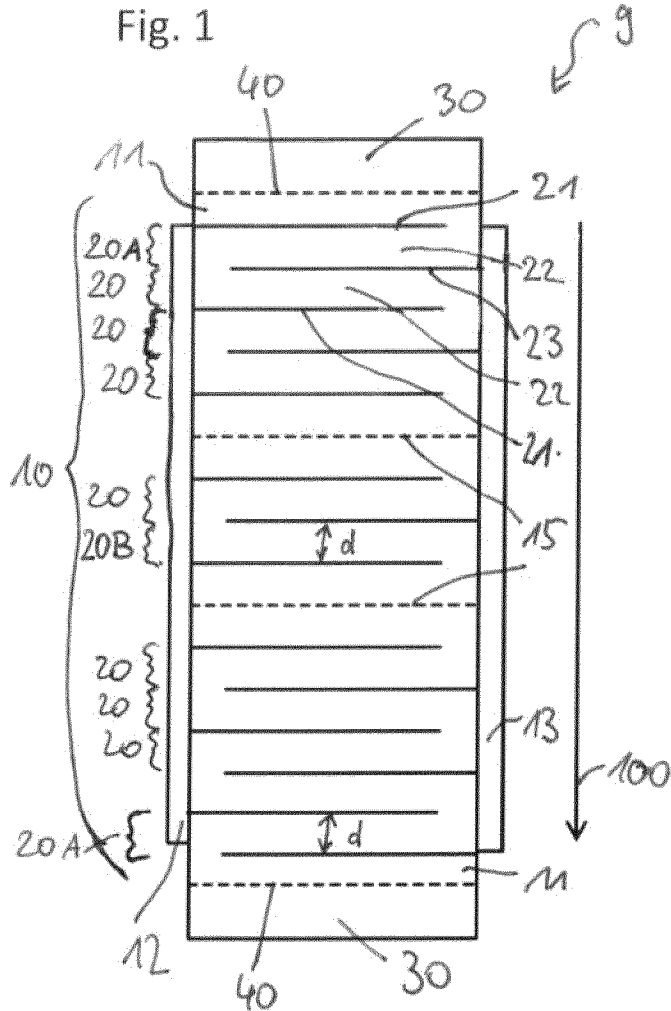


Fig. 2a

Fig. 2b

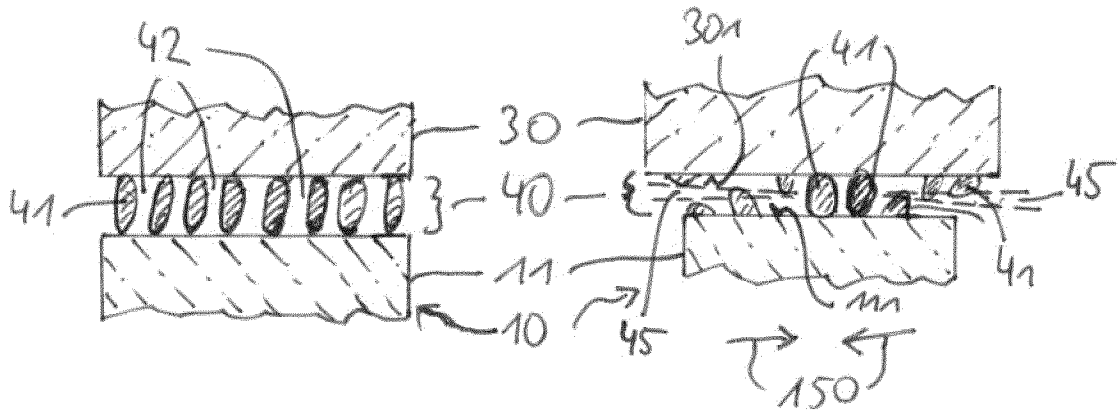


Fig. 3

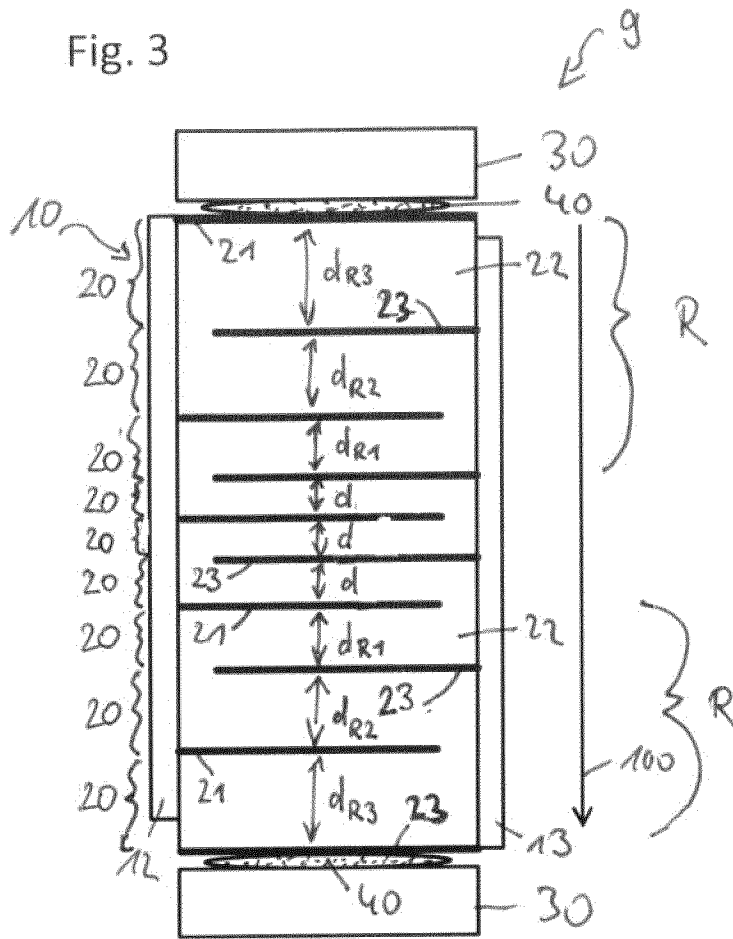
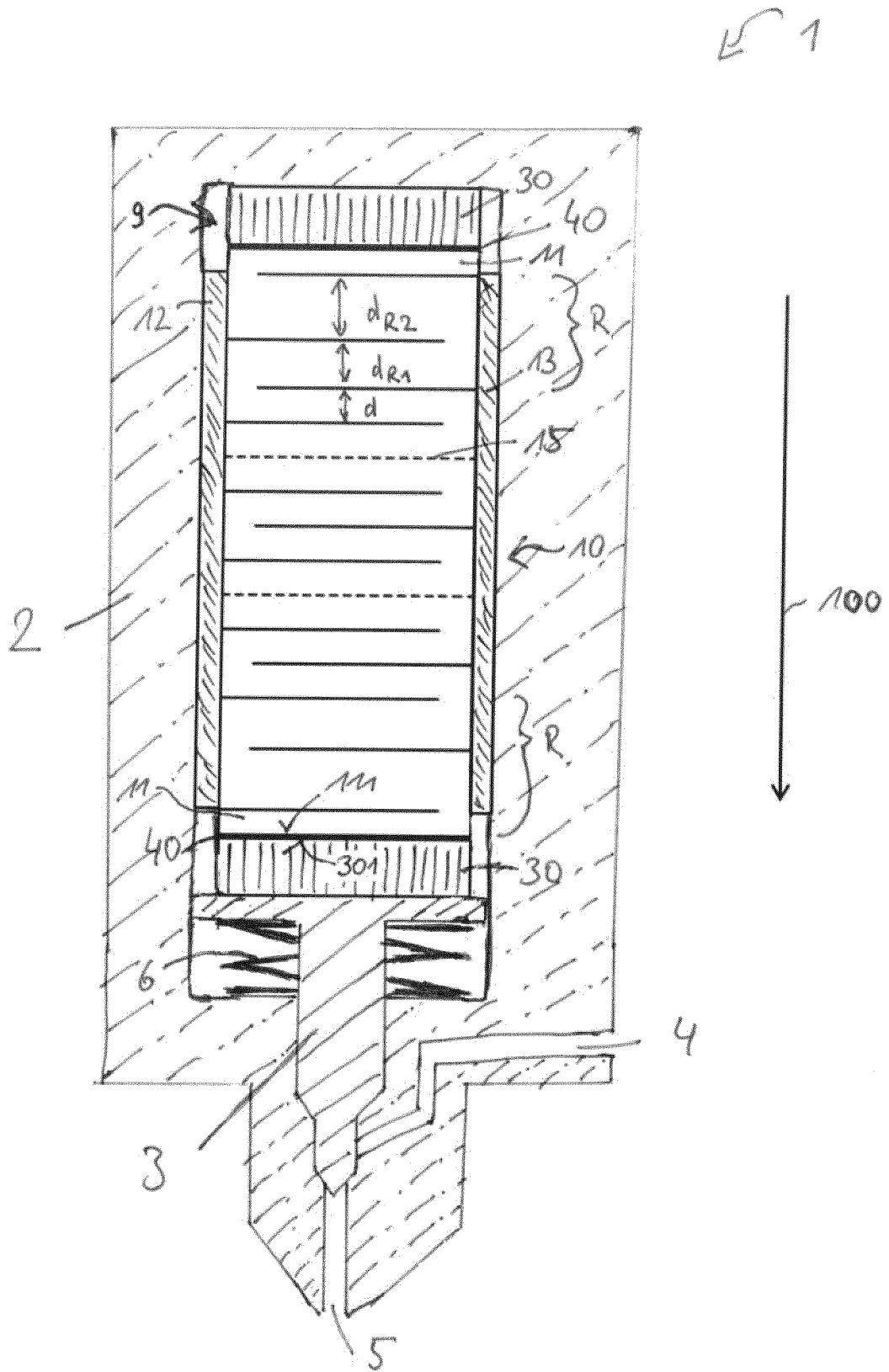


Fig. 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/064350

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F02M51/06 H01L41/083
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)
F02M 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, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2012 028410 A (TAIHEIYO CEMENT) 9 February 2012 (2012-02-09) paragraphs [0004] - [0006], [0017] paragraphs [0020] - [0027] figures 1, 2, 9	1-3,6,7, 9,10 8
X Y	DE 10 2007 037500 A1 (EPCOS) 13 November 2008 (2008-11-13) paragraphs [0039] - [0041] figures 1-3	1-3,6,7, 9,10 8
X Y	US 2010/060110 A1 (INAGAKI ET AL) 11 March 2010 (2010-03-11) paragraphs [4+5], [54+55], [0058], [0085] figures 1, 13	1-3,6,7, 9,10 8
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

<p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search 17 September 2013	Date of mailing of the international search report 27/09/2013
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 Subke, Kai-Olaf

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/064350

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP H11 284240 A (KYOCERA) 15 October 1999 (1999-10-15) abstract; figures 1, 2 -----	1,4,7,10
X	DE 10 2005 050340 A1 (SIEMENS) 22 February 2007 (2007-02-22) paragraph [0031] figure 1 -----	1,4,7,10
Y	WO 2008/009577 A1 (SIEMENS) 24 January 2008 (2008-01-24) page 1, line 33 - page 2, line 5 figure 2 -----	8
X	WO 2008/009577 A1 (SIEMENS) 24 January 2008 (2008-01-24) page 1, line 33 - page 2, line 5 figure 2 -----	1,4,5,7, 10
Y	US 7 042 143 B2 (BINDIG ET AL) 9 May 2006 (2006-05-09) cited in the application abstract; figure 1 -----	8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2013/064350

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 2012028410	A	09-02-2012	NONE

DE 102007037500	A1	13-11-2008	CN 101681984 A 24-03-2010
			DE 102007037500 A1 13-11-2008
			EP 2156479 A1 24-02-2010
			US 2010141098 A1 10-06-2010
			WO 2008138872 A1 20-11-2008

US 2010060110	A1	11-03-2010	CN 101536203 A 16-09-2009
			EP 2087535 A1 12-08-2009
			JP 5050165 B2 17-10-2012
			JP 2010508648 A 18-03-2010
			US 2010060110 A1 11-03-2010
			WO 2008053569 A1 08-05-2008

JP H11284240	A	15-10-1999	NONE

DE 102005050340	A1	22-02-2007	NONE

WO 2008009577	A1	24-01-2008	DE 102006032996 A1 31-01-2008
			EP 2041812 A1 01-04-2009
			WO 2008009577 A1 24-01-2008

US 7042143	B2	09-05-2006	AT 331302 T 15-07-2006
			DE 10202574 A1 12-09-2002
			EP 1233461 A2 21-08-2002
			JP 2002252386 A 06-09-2002
			JP 2012134528 A 12-07-2012
			US 2003001463 A1 02-01-2003

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. F02M51/06 H01L41/083
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 F02M 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, COMPENDEX, INSPEC, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	JP 2012 028410 A (TAIHEIYO CEMENT) 9. Februar 2012 (2012-02-09)	1-3,6,7, 9,10
Y	Absätze [0004] - [0006], [0017] Absätze [0020] - [0027] Abbildungen 1, 2, 9	8

X	DE 10 2007 037500 A1 (EPCOS) 13. November 2008 (2008-11-13)	1-3,6,7, 9,10
Y	Absätze [0039] - [0041] Abbildungen 1-3	8

X	US 2010/060110 A1 (INAGAKI ET AL) 11. März 2010 (2010-03-11)	1-3,6,7, 9,10
Y	Absätze [4+5], [54+55], [0058], [0085] Abbildungen 1, 13	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

17. September 2013

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

27/09/2013

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

Subke, Kai-Olaf

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	JP H11 284240 A (KYOCERA) 15. Oktober 1999 (1999-10-15) Zusammenfassung; Abbildungen 1, 2 -----	1,4,7,10
X	DE 10 2005 050340 A1 (SIEMENS) 22. Februar 2007 (2007-02-22)	1,4,7,10
Y	Absatz [0031] Abbildung 1 -----	8
X	WO 2008/009577 A1 (SIEMENS) 24. Januar 2008 (2008-01-24)	1,4,5,7, 10
Y	Seite 1, Zeile 33 - Seite 2, Zeile 5 Abbildung 2 -----	8
Y	US 7 042 143 B2 (BINDIG ET AL) 9. Mai 2006 (2006-05-09) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildung 1 -----	8

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/064350

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2012028410 A	09-02-2012	KEINE	
DE 102007037500 A1	13-11-2008	CN 101681984 A	24-03-2010
		DE 102007037500 A1	13-11-2008
		EP 2156479 A1	24-02-2010
		US 2010141098 A1	10-06-2010
		WO 2008138872 A1	20-11-2008
US 2010060110 A1	11-03-2010	CN 101536203 A	16-09-2009
		EP 2087535 A1	12-08-2009
		JP 5050165 B2	17-10-2012
		JP 2010508648 A	18-03-2010
		US 2010060110 A1	11-03-2010
		WO 2008053569 A1	08-05-2008
JP H11284240 A	15-10-1999	KEINE	
DE 102005050340 A1	22-02-2007	KEINE	
WO 2008009577 A1	24-01-2008	DE 102006032996 A1	31-01-2008
		EP 2041812 A1	01-04-2009
		WO 2008009577 A1	24-01-2008
US 7042143 B2	09-05-2006	AT 331302 T	15-07-2006
		DE 10202574 A1	12-09-2002
		EP 1233461 A2	21-08-2002
		JP 2002252386 A	06-09-2002
		JP 2012134528 A	12-07-2012
		US 2003001463 A1	02-01-2003