



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 103 049.5**
(22) Anmeldetag: **12.02.2018**
(43) Offenlegungstag: **14.08.2019**

(51) Int Cl.: **B05B 7/00** (2006.01)
B05B 1/02 (2006.01)
B05B 5/00 (2006.01)
B05B 7/02 (2006.01)
B05B 17/04 (2006.01)
B41J 2/005 (2006.01)

(71) Anmelder:
**Karlsruher Institut für Technologie, 76131
Karlsruhe, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

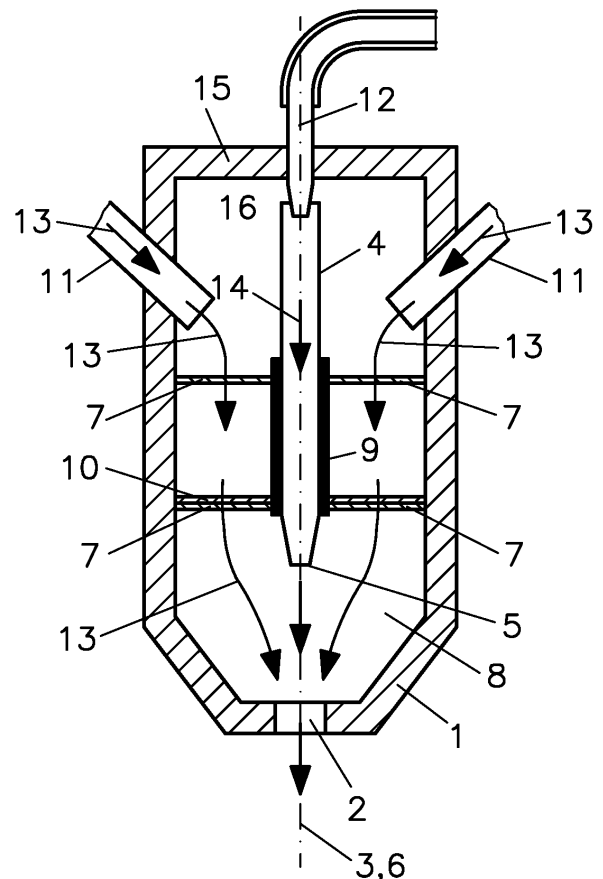
(72) Erfinder:
**Ungerer, Martin, 75181 Pforzheim, DE; Hofmann,
Andreas, 76149 Karlsruhe, DE; Scharnowell,
Rudolf, 76689 Karlsdorf-Neuthard, DE;
Gengenbach, Ulrich, Dr.-Ing., 75196 Remchingen,
DE; Sieber, Ingo, Dr., 76133 Karlsruhe, DE;
Wenka, Achim, Dipl.-Ing., 75196 Remchingen, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Druckkopf und Druckverfahren**

(57) Zusammenfassung: Druckkopf, umfassend eine an mindestens ein elastisches Element (7) angrenzende Kapillare (4) um eine Symmetrieachse (3) für eine zu drückende Flüssigkeit mit einer Düsenöffnung (5), die in eine Vorkammer (8) mündet, wobei die Vorkammer eine zur Düsenöffnung der Kapillare in ihrer axialen Ausrichtung der Symmetrieachse (3) fluchtende Austrittsöffnung (2) und mindestens eine Einlassöffnung (11) für ein Führungsgas (13) aufweist, das mindestens ein elastisches Element eine Führung für die Kapillare nur in ihrer axialen Ausrichtung bildet sowie Einspeisemittel (12) für die zu drückende Flüssigkeit in die Kapillare vorgesehen sind. Die Aufgabe besteht darin, einen Druckkopf vorzuschlagen, der sich für eine Bedruckung auch von dreidimensionalen Strukturen besonders eignet. Die Aufgabe wird durch einen Druckkopf gelöst, wobei ein mechanisches Schwingungssystem umfassend das mindestens ein elastisches Element (7) und die Kapillare (4) mit der darin enthaltenen Flüssigkeit sowie ein Aktor (10) mit einer mechanischen oder magnetischen Kraftwechselwirkung zum Schwingungssystem vorgesehen ist.



(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	7 095 018	B2
US	7 270 844	B2
US	7 467 751	B2
US	9 114 409	B2
US	2015 / 0 314 317	A1
US	5 687 905	A
EP	1 830 927	B1
EP	0 024 230	A1
WO	2012/ 032 503	A1

BEITZ, Wolfgang ; KÜTTNER Karl-Heinz (Hrsg.)
: **Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau.**
14., vollst. neubearb. u. erw. Aufl. Berlin :
Springer, 1981. S. 338-340. - ISBN 3-540-09422-9

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Druckkopf gemäß dem ersten und ein Druckverfahren gemäß dem neunten Patentanspruch.

[0002] Jet Druckköpfe stellen eine zentrale Komponente in der Drucktechnik dar. Durch diese werden Flüssigkeiten (Tinten) aus einem Reservoir, beispielsweise einer Patrone, entnommen und für den Druckvorgang in Richtung einer zu bedruckenden Oberfläche beschleunigt. Der Druck erfolgt dosiert, d.h. es werden die Flüssigkeiten nur in einzelnen Tropfen auf die zu bedruckende Oberfläche transportiert. Hierzu kommen verschiedene Aktor- und Dosierkonzepte zum Einsatz, wie z.B. auf piezoelektrischer, elektrostatischer oder thermisch wirkender Basis. Vorzugsweise kommt die sog. Drop-on-Demand-Technik zum Einsatz, bei dem nur bei Anliegen eines Steuersignals ein oder mehrere Tropfen abgegeben werden. Durch Wiederholungen des Steuersignals, vorzugsweise mit Wiederholungsfrequenzen von über 1 kHz erfolgt ein quasikontinuierlicher Druckprozess, dem sog. Continuous-Drop-Verfahren. Entsprechend sind verschiedene Drucktechnologien bekannt, die sich insbesondere durch die Funktion des eingesetzten Druckkopfes unterscheiden, insbesondere die berührungslosen Piezo-Inkjet-Technik, die elektrohydrodynamische Inkjet-Technik, die Aerosol-Jet-Technik, aber auch das Ultraschall-Dosierverfahren, bei dem die zu druckende Flüssigkeit über einen Meniskus einen direkten Kontakt mit dem zu bedruckenden Substrat eingeht.

[0003] Der eingangs genannte Druckkopf wird insbesondere und bevorzugt im Bereich berührungsloser digitaler Jet-Druckverfahren für ein funktionales Drucken, d.h. Drucken von funktionalen Strukturen (z.B. Leiterbahnen, Widerstände, Kondensatoren, biologischer Substanzen etc.) eingesetzt.

[0004] Die Piezo-Inkjet-Technik ist dabei das am weitesten verbreitete Verfahren. Dabei wirkt ein Piezo-Element auf ein Tintenvolumen in der Druckdüse, wobei ein Druck oder Druckimpuls auf die Drucktinte ausgeübt wird, der dazu führt, dass mindestens ein Tintentropfen aus der Druckdüse ausgestoßen und auf das zu bedruckende Objekt gespritzt wird. Zum Drucken kommen Tinten in einem bevorzugten Viskositätsbereich zwischen 5 bis 40 mPa·s zum Einsatz. Einen weiteren Viskositätsbereich decken insbesondere die Aerosol-Jet-Technik und die elektrohydrodynamische Inkjet-Technik ab, wobei die Aerosol-Jet-Technik den zusätzlichen Vorteil aufweist, Strukturen trotz größerer Topologie-Sprünge der zu bedruckenden Oberfläche bis in den einstelligen mm-Bereich ohne vertikales Nachführen der Druckdüse drucken zu können.

[0005] Ein Aerosol-Jet-Drucksystem und -Druckverfahren für funktionales Drucken ist von der Firma Optomec Inc. (Albuquerque, New Mexico, USA) in der US 7.270.844 B2 offenbart worden. Beispielhafte Abscheidungskopfانordnungen hierfür sind in EP 1 830 927 B1 und US 9.114.409 B2 beschrieben. In diesem wird ein Aerosol in einem Hüllgasstrom über einen Kanal in eine separate Kammer und von da über eine Druckdüsenanordnung in Richtung eines zu bedruckenden Objekts geleitet.

[0006] Das offenbarte Aerosol-Jet-Druckverfahren umfasst insbesondere eine Erzeugung eines Aerosols aus Tinte, eine Konzentrierung des Aerosols, einen Transport des Aerosols mit Gas zur Druckdüsenanordnung, eine Konzentrierung des Aerosols z.B. in vorgenannter Kammer sowie eine hydrodynamische Fokussierung des Aerosolstrahls in der Druckdüse. Die Aerosolerzeugung erfolgt dabei entweder pneumatisch oder durch Ultraschall in der separaten Kammer des Druckkopfes. Das erzeugte Aerosol wird mit Hilfe eines Transportgases über Leitungssysteme zur Druckdüse gefördert und dort mittels eines Fokussierungsgases (ebenfalls ein Hüllstrom) gebündelt. Der Betriebsmodus des Systems ist unveränderbar. Vor dem eigentlichen Druckprozess wird der Aerosolstrahl durch Einstellen verschiedener Parameter (insbesondere Volumenstrom des Transportgases, Volumenstrom des Fokussierungsgases, Wahl der Düse und des Zerstäubers etc.) an die jeweiligen Bedingungen angepasst. Sobald der Aerosolstrahl stabil ist, kann gedruckt werden. Der Aerosol-Volumenstrom bleibt während des gesamten Druckvorganges konstant, die Strahlintensität wird nicht geregelt und nicht variiert. Die Dosiermenge pro Zeit ist folglich konstant. Um Unterbrechungen im Druckbild realisieren zu können, muss der Aerosolstrahl nach der Düse unterbrochen werden. Dies geschieht durch eine mechanische Tintenauffangvorrichtung, die zwischen Düse und Substrat positioniert wird.

[0007] Nachteilig beim vorgenannten Verfahren ist, dass der Druckkopf grundsätzlich zum Erdgravitationsfeld ausgerichtet werden muss und damit ohne zusätzliche Maßnahmen wie z.B. eine mechanische Entkopplung der Kammer zur Aerosolerzeugung und der Düse nicht beliebig zu der zu bedruckenden Oberfläche ausrichtbar ist. Diese örtliche Trennung in mehrere Teilsysteme bedarf eines Leitungssystems zur Förderung des Aerosolstroms zur Druckdüse. Dadurch erhöht sich das Totvolumen. Außerdem können lange Leitungen das Aerosol beeinflussen (z.B. Tropfengrößenänderung durch Agglomeration und Vereinigung von kleinen Tropfen, Abscheidungen von Tropfen an den Wänden). Die Leitungssysteme sind dann mit einem Stoff kontaminiert und müssen gereinigt oder getauscht werden, wenn ein anderes Fluid ohne Kontaminationen verdruckt werden soll.

[0008] Eine weitere Einschränkung ergibt sich systembedingt aus dem Aufbau des Druckkopfes. Eine vollständige Reinigung oder Zwischenreinigung (z.B. bei einem Wechsel der zu druckenden Flüssigkeiten) wird insbesondere durch eine apparative Trennung von Aerosolzeugung und Druckdüse erschwert und ist damit aufwendiger als z.B. ein vergleichbares Inkjet-Drucksystem.

[0009] Stellvertretend für ein Ultraschall-Dosierverfahren wird in US 7.467.751 B2 und US 7,095,018 B2 ein Ultraschall-Plot-System und -Druckverfahren von der Firma Sonoplot Inc. (Middleton, Wisconsin, USA) offenbart.

[0010] Wie für das vorgenannte Aerosol-Jet-Drucksystem ist auch für das vorgenannte Ultraschall Dosierverfahren der Bedarf von separaten Teilsystemen zur Förderung des zu druckenden Fluids einschränkend.

[0011] Eine besondere Herausforderung bei einer Anwendung der zuvor zitierten Technologien stellt die Bedruckung von dreidimensionalen Strukturen auf der Oberfläche eines Substrats dar. Für einen derartigen Druck müssen ein- oder mehrachsige Relativbewegungen zwischen Druckkopf und Substrat ermöglicht werden, beispielsweise mittels eines elektromechanischen Positioniersystems. Dabei treten bei jedem Richtungswechsel Achsbeschleunigungen und -verzögerungen auf, die vom Druckkopf aufgenommen werden. Erfolgt der Druckvorgang zeitgleich mit einer der vorgenannten Achsbeschleunigungen und -verzögerungen wie z.B. mit einem konstanten Aerosolvolumenstrom, variiert die auf das Substrat aufgebraachte Tintenmenge zwangsläufig mit jeder aufgeprägten Änderung. Die Eigenschaften der gedruckten Struktur (z.B. Widerstand einer gedruckten Elektrode) sind beispielweise beim zitierten Aerosol-Jet-Drucksystem abhängig von ihrer Geometrie (z.B. Richtungswechseln, Radien, Längen, Topographie etc.).

[0012] Das zuvor zitierte Aerosol-Jet-Drucksystem und -Druckverfahren für funktionales Drucken offenbart keine Lösung der vorgenannten Problematik, da der Prozess der Aerosol-Erzeugung auf einen gleichbleibenden Aerosol-Massenstrom ausgelegt ist und weder wiederholte Unterbrechungen während des Druckprozesses noch eine Regelung des Aerosol-Massenstroms vorgesehen sind. Ein einfacher Wechsel zwischen unterschiedlichen Fluiden in einem Druckkopf ist ebenfalls nicht vorgesehen.

[0013] Der zitierte Stand der Technik bezüglich des Ultraschall-Dosierverfahrens zeigt keine Möglichkeit auf, die vorgenannten Strukturen berührungslos zu drucken. Das dort beschriebene Verfahren benötigt eine präzise Abstandsregelung zwischen Düse und

Substrat und ist nur für ebene Substrate wie z.B. Silizium-Wafer geeignet.

[0014] Davon ausgehend liegt eine Aufgabe der Erfindung darin, den vorgenannten Jet-Druckkopf so zu verbessern, dass die vorgenannten Einschränkungen und Nachteile sowie deren Wirkungen vermieden bzw. reduziert werden.

[0015] Insbesondere liegt eine Aufgabe darin, einen Jet-Druckkopf vorzuschlagen, der sich für eine Bedruckung auch von dreidimensionalen Strukturen der eingangs genannten Art eignet.

[0016] Eine weitere Aufgabe liegt darin, einen Jet-Druckkopf vorzuschlagen, der sich für einen im Vergleich zu herkömmlichen Systemen schnelleren Wechsel bei Vermeidung von Kreuzkontaminationen und/oder Flüssigkeitsverschleppung der zu druckenden Flüssigkeiten im Drucksystem eignet.

[0017] Eine weitere Aufgabe liegt darin, ein entsprechendes Druckverfahren insbesondere zum Drucken von Strukturen, bevorzugt funktionalen Strukturen auf einer Oberfläche unter Nutzung des Jet-Druckkopfes vorzuschlagen.

[0018] Es versteht sich von selbst, dass die genannten Aufgaben sich auch grundsätzlich über entsprechende Verwendungen des Jet-Druckkopfes sowie des Druckverfahrens für die Lösung der genannten Aufgaben erstrecken.

[0019] Die Aufgabe wird mit einem Jet-Druckkopf und einem Druckverfahren mit den Merkmalen von Anspruch 1 bzw. 9 gelöst. Auf diesen bezogene Unteransprüche geben vorteilhafte Ausgestaltungen wieder.

[0020] Die vorteilhaften Ausgestaltungen und Ausführungen weisen jeweils Merkmale auf, die im Rahmen der Erfindung auch jeweils einzeln oder in beliebiger Kombination grundsätzlich mit jeder Ausführung zusammensetzbar sind.

[0021] Die Erfindung basiert auf einem Druckkopf, umfassend eine Kapillare für eine Flüssigkeit als Druckfluid mit einer Düsenöffnung, die in eine Vorkammer mündet. Die Kapillare grenzt unmittelbar oder mittelbar über weitere Komponenten wie z.B. ein elastisches Element und/oder Befestigungsmittel für die Kapillare (z.B. Klemmmittel) an einen Aktor, d.h. sie steht mit diesem in einem Festkörperkontakt. Vorzugsweise ist der Piezoaktor mit der Kapillare fest verbunden. Ferner weist die genannte Vorkammer eine zur Düsenöffnung der Kapillare fluchtende Austrittsöffnung auf, d.h. die Symmetrieachsen von Kapillare und Austrittsöffnung fallen vorzugsweise aufeinander. Weiterhin sind in die Vorkammer ausmündende Eintrittsöffnungen für ein Führungsgas vorge-

sehen, das gemeinsam mit dem Druckfluid die Vorkammer über die Austrittsöffnung in Richtung einer zu bedruckenden Oberfläche verlässt.

[0022] Der Aktor ist vorzugsweise ein Piezoaktor. Alternativ eignen insbesondere bei größeren Druckkopfausführungen auch elektromechanische Aktoren oder insbesondere bei sehr kleinen Bauformen auch elektrostatische Aktoren als Aktor.

[0023] Der Aktor setzt sich in weiteren Ausgestaltungen aus mehreren Komponenten, umfassend auch aktorisch passive Komponenten. Aktorisch passive Komponenten umfassen z.B. mindestens ein elastisches Element, mindestens ein elastisches Tellerfederelement und/oder mindestens ein elastisches Biegeelement oder Biegestreifen als verbindende Komponente zwischen der Kapillare und dem Druckkopfgehäuse. Sie dienen insbesondere der Führung der Kapillare und lassen vorzugsweise nur eine elastisch um eine Grundstellung nachgiebige unidirektionale axiale Bewegbarkeit der Kapillare im Druckkopfgehäuse zu. Aktorisch passive Komponenten umfassen vorzugsweise auch einen Hebelmechanismus zwischen einer aktorisch aktiven Komponente des Aktors, beispielsweise einem piezoelektrischen Wandler (Piezoaktor), die vorzugsweise auf der aktorisch passiven Komponenten in Kontakt ist, weiter bevorzugt durch diese mechanisch anregbar sind.

[0024] Als eine Lösung der Aufgabe wird vorgeschlagen, dass die Flüssigkeit aus der Kapillare direkt an der Düsenöffnung erst mit einer axialen Schwingbewegung einer Kapillare zerstäubt wird und mit dem Führungsgas ein Aerosol bildet. Das Aerosol wird also nicht vorkonditioniert in die Vorkammer geleitet, sondern bildet sich in vorteilhafter Weise zu einem möglichst späten Zeitpunkt erst kurz vor dem Druckvorgang in der Vorkammer.

[0025] Die Kapillare, vorzugsweise eine Glaskapillare, ist an mindestens ein Reservoir, vorzugsweise mindestens eine Patrone für die Flüssigkeit (Druckfluid) angeschlossen. Die Kapillare weist somit nicht kontinuierliche oder bevorzugt kontinuierlich fördernde Einspeisemittel für das Druckfluid in die Kapillare auf, vorzugsweise an dem der Düsenöffnung (distale Ende der Kapillare) entgegengesetzten Ende der Kapillare (proximale Ende der Kapillare). Vorzugsweise erfolgt dies mittels einer Zufuhrleitung entweder zur Kapillare berührungslos, beispielsweise durch eine in das genannte proximale Ende der Kapillaren einragende Austrittsöffnung der Zufuhrleitung, oder mittels einer elastischen Schlauchverbindung vorzugsweise zwischen dem proximalen Ende der Kapillare und der genannten Austrittsöffnung der Zufuhrleitung. Die Zufuhrleitung stellt dabei eine Verbindung zwischen mindestens einem Reservoir des zu druckenden Fluids und der Kapillare dar. Die Förderung des Fluids erfolgt vorzugsweise kapillar, d.h.

Fluidverluste in der Kapillare über die Düsenöffnung während des Druckvorgangs werden durch kapillares Ansaugen von Fluidbestandteilen ausgeglichen. Eine Ausgestaltung sieht jedoch vor, die Zufuhrleitung mit eigenen aktiven Fluidfördermittel (Förderpumpe) vorzusehen. Eine weitere optionale Ausgestaltung umfasst mindestens eine Mischkammer zum Mischen oder Homogenisieren von Fluidbestandteilen z.B. aus unterschiedlichen Reservoirs und in der Mischkammer zusammengeführt. Es liegt im Rahmen der Erfindung, die genannte Mischkammer funktionell in der Kapillare zu verorten und für jedes beteiligte Reservoir eine separate Zufuhrleitung direkt in die Kapillare vorzusehen.

[0026] Vorzugsweise ist die Kapillare für eine bessere Beweglichkeit des Druckkopfes sowie zur Reduzierung der bei einer Positionierbewegung des Druckkopfes erforderlichen bewegbaren Massen über einen vorzugsweise biegeschlaffen Schlauch mit der Zufuhrleitung verbunden. Über den Schlauch wird die Flüssigkeit durch die Kapillare und die Düsenöffnung in die Vorkammer transportiert. Der Transport (Förderung) erfolgt vorzugsweise, d.h. nicht zwingend ohne eine Förderpumpe.

[0027] Die mindestens eine Einlassöffnung für das Führungsgas ist vorzugsweise seitlich der Kapillare angeordnet. Die Ausrichtung der mindestens einen Einlassöffnung und damit die Einlassöffnung ist zudem bevorzugt in spitzem Winkel zur Symmetrieachse der Kapillare zu der Austrittsöffnung hin ausgerichtet, d.h. die Ausrichtung setzt sich vektoriell aus einem orthogonal und einem parallel zu der Symmetrieachse ausgerichteten Vektor zusammen, wobei der parallele Teilvektor von der Düsenöffnung aus gesehen in Richtung der Austrittsöffnung weist.

[0028] In einer bevorzugten Ausgestaltung kreuzt die genannte Ausrichtung die Symmetrieachse der Kapillare innerhalb der Vorkammer. Ist das zu druckende Fluid aus der Kapillare eine Flüssigkeit oder eine Suspension, und tritt als gespritzter Strahl aus der Düsenöffnung, kreuzt dieser Strahl die Strömung des Führungsgases. Es kommt beim Zusammentreffen zu einer Aerosolbildung.

[0029] Ein wesentliches Merkmal betrifft die Anordnung des Aktors im Druckkopf, dessen Anordnung zur Kapillare sowie die Ausgestaltung der Aktorbewegung. Der Aktor ist vorzugsweise fest in der Vorkammer des Druckkopfes eingesetzt, weiter bevorzugt gegenüberliegend zur Austrittsöffnung. Die Aktorbewegung dient der Bewegung der Kapillare relativ zur Vorkammer und umfasst Vor- und Zurückbewegungen vorzugsweise nur axial zur Symmetrieachse der Kapillare und Austrittsöffnung. Sie wird neben der Ausgestaltung und Wirkungsrichtung des Aktors auch durch die Fixpunkte, d.h. die Befestigungspunkte des Aktors im Druckkopf einerseits und die

durch die Anordnung der Aufnahme für die Kapillare auf, im oder über dem Aktor abseits der Fixpunkte andererseits bestimmt. Vorzugsweise erfolgt die Befestigung zur Fixierung des Piezoaktors in der Vorkammer mittels Klebung, Klemmung oder Verschraubung.

[0030] Ist der Aktor, vorzugsweise ein Piezoaktor als Schwingaktor, vorzugsweise einen in Resonanz betreibbaren Schwingaktor ausgestaltet, umfasst er vorzugsweise einen teller-, scheiben-, ring-, kreuz- oder balkenförmigen Biegeschwingaktor, mindestens einen vorzugsweise ringförmigen Translationsaktor oder einen oder mehrere Scherschwingaktoren mit einer vorzugsweise mittig auf dem Aktor angeordneten Aufnahme für die Kapillare. Um die Aufnahme und damit um die Symmetrieachse der Kapillare und der Austrittsöffnung erstrecken sich symmetrisch, vorzugsweise rotationssymmetrisch der Biegeschwingaktor und die vorgenannten Befestigungspunkte (Fixpunkte) zu der Vorkammer. Eine bevorzugte Ausgestaltung sieht vor, die Befestigungspunkte zur Erzielung möglichst hoher Schwingamplituden als feste Auflager für die Schwingaktoren zu gestalten. Ein Piezo-Biegeschwingaktor, der an beiden Enden vorzugsweise elastisch fixiert ist, erreicht vorzugsweise in seiner Mitte die maximale Amplitude. Sie werden vorzugsweise durch mindestens zwei Einzelpunkte oder insbesondere im Falle eines teller- oder scheibenförmigen Biegeschwingaktors durch Auflagelinien gebildet. Ist ein Aktor nur an einer Seite vorzugsweise fest eingespannt, entsteht die maximale Amplitude am jeweils anderen Ende.

[0031] Eine alternative Ausgestaltung des Piezoaktors umfasst einen Schichtstapel von scheibenförmigen Einzelpiezoaktoren, deren Ausschläge sich zu einem Gesamtausschlag addieren. Alternativ lassen sich auch sog. D31-Wandler oder Scheraktoren einsetzen, deren Aktorbewegung quer zum anliegenden elektrischen Feld abgreifbar ist und für die axiale Bewegung der Kapillare herangezogen wird. Gegenüber einem Biegeschwingaktor sind diese Ausgestaltungen wesentlich steifer und eignen sich insbesondere für nichtresonante geführte Aktorbewegungen, beispielsweise für Rechteckschwingungen- oder sägezahnförmige Schwingungen oder einzelne Stoßbewegungen.

[0032] Durch den Piezoaktor wird die Kapillare axial vorzugsweise schwingend hin- und her bewegt, und zwar entweder in Resonanz oder einem vorgebbaren bevorzugt zyklischen Kurvenverlauf (Schwingungsverlauf, z.B. Sägezahn, Rechteckverlauf etc.) folgend geführt. Die Kapillare und damit auch deren Düsenöffnung wird so bei jedem Bewegungszyklus vor und zurückbewegt, wobei bei jedem Richtungswechsel, Abbremsung oder Ruck eine Beschleunigung auf die Kapillare und Düsenöffnung und damit auch auf das in der Düsenöffnung befindliche Druckfluid einwirkt.

Wird die Düsenöffnung beim Zurückziehen, d.h. um einen distalen, d.h. zur Austrittsöffnung hin gerichteten Richtungswechsel beschleunigt, bewirkt allein die Massenträgheit des Druckfluids ein Herausdrücken von Fluidbestandteilen aus der Düsenöffnung und ein Ablösen von Tropfen oder anderen Fluidbestandteilen insbesondere an der Düsenaustrittsfläche der Kapillaren-Wandung. Mit jedem Schwingungszyklus lösen sich somit Tropfen des Druckfluids von der Düsenöffnung ab und werden vom Führungsgas aufgenommen. Die Anteile des Führungsgases und die abgelösten Bestandteile des Druckfluid bilden ein Aerosol, das von der Vorkammer über die Austrittsöffnung zu der zu bedruckenden Oberfläche geleitet wird. Der Druck erfolgt unmittelbar nach Aerosolbildung, womit sich die Gefahr einer Entmischung vorteilhaft reduziert.

[0033] Speziell für den vorgenannten Prozess ist die fluchtende Anordnung von Düsenöffnung und Austrittsöffnung besonders vorteilhaft, da die sich ablösenden Tropfen aufgrund deren bei der Ablösung vorhandenen Geschwindigkeit und Massenträgheit nicht nur ein Aerosol bilden, sondern auch einen Impuls auf den Aerosolstrom in Richtung der Austrittsöffnung und damit der zu druckenden Oberfläche ausüben. Die Aerosolstromgeschwindigkeit ist bereits schon am Düsenaustritt hoch. Mit dem Führungsgasstrom, der sich zunächst um den Aerosolstrom vorzugsweise als Mantelstrom ausbildet und in der Vorkammer zur Austrittsöffnung hin zumindest teilweise auch vermischt, erfolgt eine Fokussierung des Aerosolstroms in Richtung Strahlmitte. Dabei ist es von Vorteil, dass die Tropfen aufgrund einer gegenüber dem Führungsgas wesentlich höheren Dichte wesentlich zu dem Gesamtimpuls des Aerosols beitragen.

[0034] Bei der vorgenannten Aerosolbildung wird vorzugsweise nur ein Teil des Führungsgasstroms in das Aerosol überführt, d.h. es nimmt die ablösenden Tropfen auf. Der verbleibende Anteil des Führungsgasstroms verlässt aber gemeinsam mit dem gebildeten Aerosolstrom über die Austrittsöffnung die Vorkammer. Da sich der Aerosolstrom aufgrund der vorgenannten Impulsbetrachtung um die Symmetrieachse der Kapillare und damit der Austrittsöffnung konzentriert, wird der verbleibende Anteil des Mantelgasstroms in die Randbereiche der Austrittsöffnung verdrängt und bildet somit einen Mantelstrom um den Aerosolstrom. Dieser Mantelstrom reduziert einen Kontakt von Aerosol zur Innenwandung der Austrittsöffnung, damit ein Anlagern von Aerosolbestandteilen und in vorteilhafter Weise auch ein Zusetzen der Austrittsöffnung mit dem Druckfluid.

[0035] Der Massenstrom des Aerosols ist regelbar, vorzugsweise durch Änderung der Prozessparameter Fluiddruck in der Kapillare, durch die Spannungsamplitude und Frequenz bei der Ansteuerung des Aktors sowie durch Änderung des Ansteuerungssignals

z.B. von einer Sinusfunktion zu einer anderen periodischen Funktion (z.B. Sägezahnform, Rechteckform) oder durch eine Überlagerung mit einem phasenverschobenen periodischen Signal.

[0036] Durch die Amplitude der axialen Hin- und Herbewegung ist der Mengenstrom an abgelösten Tropfen und damit auch die Geschwindigkeit der laufenden Abtrennung und Zerstäubung der der Flüssigkeit, d.h. des Druckfluids an der Düsenöffnung einstellbar und regelbar. Bei gleichbleibender Frequenz sind mit der Amplitudenhöhe insbesondere der Mengenstrom, aber auch die Tropfengröße an abgelösten Tropfen und damit auch die Aerosoleigenschaften einstellbar.

[0037] Durch die Frequenz der axialen Hin- und Herbewegung ist insbesondere die Größe der abgelösten Tropfen, ein wesentliches Merkmal für ein sich bildendes Aerosol, einstellbar. Die Frequenz liegt vorzugsweise zwischen 50 kHz bis 2 MHz. Durch auf die Grundschiwingung aufgeprägte laterale Oberfrequenzen lässt sich zudem der sich um die Symmetrieachse kegelförmig erstreckende Streubereich der abgelösten Tropfen vergrößern.

[0038] Auch durch eine Gestaltung der Düsenöffnung, insbesondere deren Durchmesser, eines durch eine Bruchkante erzeugte scharfkantigen Kapillarenrands, der Kapillare lässt sich der vorgenannte, sich um die Symmetrieachse kegelförmig erstreckende Streubereich der abgelösten Tropfen voreinstellen. Ebenso ist einen Kapillarenrand, der sich auf einer nicht orthogonal zur Kapillarenachse erstreckt ermöglicht eine Vorzugsrichtung der Ablenkung der abgelösten Tropfen.

[0039] Das Verhalten der Aerosolerzeugung ist kontrollierbar durch die genannten Prozessparameter. Im endgültigen Einbauzustand reduzieren sich diese Parameter auf folgende Haupteinflussfaktoren: Frequenz, Schwingungsform, Amplitude, Fluiddruck. Wird die Anregung des Piezoelements abgeschaltet, so wird die Aerosol-Erzeugung unterbrochen. Aus der Düse wird keine weitere Flüssigkeit mehr ausgestoßen (weder in Aerosolform noch in einer anderen Form). Dieses binäre Verhalten wird dazu genutzt, bei Bedarf einer Unterbrechung im Druckbild, den Aerosolstrahl abzuschalten ohne dass ein mechanischer Tintenfänger benötigt wird.

[0040] Eine Änderung der einzelnen Parameter Frequenz, Schwingungsform, Amplitude und Fluiddruck oder einer Kombination dieser Parameter, führt zu einer Änderung des Massenstroms des die Düsenöffnung und damit die Austrittsöffnung verlassenden Aerosols (Flüssigkeit), wodurch ein Einfluss von Beschleunigungen der Achsen des Drucksystems auf die Homogenität des Druckbildes (Homogenität der

gedruckten Strukturen) ausgeglichen werden können.

[0041] Die Kapillare grenzt vorzugsweise an einen Piezoaktor, d.h. sie steht mit diesem in einem Festkörperkontakt. Der Piezoaktor weist bei einer solchen Ausgestaltung eine Aufnahme der Kapillare auf. Die Aufnahme verbindet sich mit der Kapillare und führt auch die gleichen vorzugsweise durch den Piezoaktor aufgeprägten axial oszillierenden oder schwingenden Bewegungen durch. Sie bilden ein gemeinsames Schwingungssystem. Im Falle einer in Resonanz schwingenden Kapillare dient die Aufnahme als Teil der oszillierenden Masse auf dem Schwingaktor.

[0042] Eine Ausgestaltung der Aufnahme sieht hierzu vor, den Piezoaktor des Druckkopfes vorzugsweise mit Klemmmittel auszugestalten, in denen die Kapillare kraftschlüssig eingeklemmt wird. Vorzugsweise bestehen diese Mittel aus einer Bohrung im Aktor oder einer auf dem Aktor auf- oder eingesetzten vorzugsweise elastischen Komponente, die mit dem Piezoaktor vorzugsweise eine Übergangspassung vorzugsweise mit Schiebeseit (gem. Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau, Springer Verlag, 14. Auflage (1981) S. 339), bilden. Gegenüber fester sitzenden Übergangspassungen oder Presspassungen ist ein manueller Austausch der Kapillare aus dem Druckkopf ohne zusätzliche pressende oder schlagende Werkzeuge und ohne Beschädigungsgefahr der Glaskapillare noch möglich. Eine alternative Ausgestaltung sieht ein mit einem elastischen Klemmelement wie einem Federelement ausgestaltetes Klemmmittel vor, wobei jenes die Kapillare auf dem Piezoaktor auf eine die Kapillarenachse bestimmende Gegenfläche vorzugsweise mit einer Führungsnut oder einem Anschlag für die Kapillare drückt und axial kraft- und/oder reibschlüssig fixiert. Seitens der Kapillare, insbesondere einer Glaskapillare ist bei den vorgenannten Ausgestaltungen zudem ein optionaler die Kapillare umhüllender und über diese fest aufgesetzter (z.B. aufgeklebter oder gepresster) Rohrmantel vorteilhaft, der in seiner Länge weiter bevorzugt auf den Klemmbereich der angreifenden Klemmmittel, der deutlich kürzer als die Kapillarenlänge ist, begrenzt.

[0043] Man unterscheidet insbesondere im Rahmen der Anmeldung grundsätzlich drei grundlegende mechanische Verbindungsarten, eine kraftschlüssige, eine stoffschlüssige und eine formschlüssige Verbindung, wobei oftmals auch Mischformen zum Einsatz kommen. Eine kraftschlüssige Verbindung zwischen zwei Flächen kennzeichnet sich dadurch, dass die Flächen mit einer Kraft z.B. durch Klemmmittel gegeneinandergedrückt werden und allein durch die Flächenpressung eine Haftreibung erzeugt wird, die die beiden Flächen zueinander fixieren. Ein adhäsiver stofflicher Übergang, wie er bei stoffschlüssigen Verbindungen, beispielsweise bei einer Verschwei-

ßung, Verklebung oder Verlötung von zwei Flächen vorkommt, liegt bei einer kraftschlüssigen Verbindung nicht vor. Davon unterscheiden sich formschlüssige Verbindungen, bei welchen Topographien oder Zusatzelemente zwischen den beiden Flächen ineinandergreifen und die Flächen dadurch zusammenhalten. Beispiele hierfür sind Nietverbindungen zwischen zwei Blechen, eine Feder-Nut-Verbindung oder auch gegen eine Gegenpassung wirkende Elemente wie Stufen, Nuten, Bündel oder Stege.

[0044] Die vorgenannten Klemmmittel vereinfachen eine Austauschbarkeit im Druckkopf. Insbesondere ein Wechsel der zu druckenden Flüssigkeit, aber auch des durch die Ausgestaltung der Düsenöffnung maßgeblich bestimmenden Streubereichs der abgelösten Tropfen ist durch einen Austausch der Kapillare realisierbar. Ein weiterer Vorteil bei einem derartigen Wechsel des Druckmediums und/oder des Streubereichs ist dadurch gewährleistet, dass die Aerosol-erzeugung erst bei Bedarf (Aerosol-on-Demand) und erst mit Verlassen der Paste oder der Flüssigkeit der Düsenöffnung in der Vorkammer stattfindet. Dabei dient das in die Vorkammer über die Eintrittsöffnungen eingeleitete Mantelgas nicht nur als eine optionale Komponente des sich bildenden Aerosols, sondern insbesondere als Mantelstrom um das Aerosol herum, und zwar in der Vorkammer wie auch in der nachfolgenden Austrittsöffnung. Dies reduziert den Kontakt des Druckmediums (Paste oder Flüssigkeit) und des dieses enthaltende Aerosols mit den inneren Wandungen der Vorkammer und der Austrittsöffnung und verhindert signifikant deren Kontamination. Jenes erleichtert im Rahmen eines Druckvorgangs wiederum einen Wechsel der zu druckenden Flüssigkeit, da ausser einer Auswechslung der Kapillare sowie der vorgesehenen Einspeisemittel für die zu druckende Flüssigkeit keine weiteren Reinigungsvorgänge erforderlich sind.

[0045] Eine weitere Ausgestaltung der Aufnahme der Kapillare sieht vor, zwischen Kapillare der Aufnahme und Piezoaktor und/oder einem elastischen Element zusätzlich eine in axialer zur Symmetrieachse formschlüssig wirkende Gestaltung vorzusehen. Diese umfasst beispielsweise fest mit der Kapillare verbundene oder an diese angeformte Stufen oder Stege, die in eine mit dieser in Gegenpassung vorgesehene Gestaltung der Kapillaraufnahme oder der Klemmmittel axial als einseitig oder beidseitig orientierter Anschlag formschlüssig eingreift. Es bietet sich an, den vorgenannten umhüllenden Rohrmantel entsprechend mit umlaufenden Nuten oder Bündeln zu versehen oder die Endbereiche des Rohrmantels für eine formschlüssige axiale Fixierung zu nutzen. Der besondere Vorteil dieser vorzugsweise zusätzlichen Ausgestaltung ist, dass einerseits mögliche auf eine axiale Bewegung dämpfend wirkende Rutschvorgänge zwischen Aufnahme und Kapillare unterbunden oder reduziert werden, andererseits ei-

ne Positionierung der Kapillare in die Vorkammer bei einem Austausch oder Montage einer Kapillare aufgrund des formschlüssigen Anschlags in vereinfachter Weise reproduzierbar wird.

[0046] Die durch die Kapillare geleitete Paste oder Flüssigkeit ist das zu druckende Material. Es liegt einphasig oder, beispielsweise als Suspension, mehrphasig vor. Es liegt im Rahmen der Erfindung, dabei auch mehrphasige, miteinander reagierende Komponenten vorzusehen, die vorzugsweise aus zwei oder mehreren separaten Reservoirs entnommen werden und zwischen Reservoir und Düsenöffnung zusammengeführt und da vorzugsweise auch vermischt oder suspendiert werden. Beispielhaft werden hier Mehrkomponentenepoxidharze genannt, deren Komponenten wie bei anderen Mehrstoffsystemen vorzugsweise in der Kapillare vermischt, als Mischung über die Düsenöffnung in die Vorkammer, von dort über die Austrittsöffnung auf die zu bedruckende Oberfläche geleitet werden und erst auf der Oberfläche aushärten.

[0047] Eine weitere Ausgestaltung des Druckkopfes sieht vor, Mittel zur Erzeugung eines elektrostatischen Feldes orthogonal zu der Symmetrieachse an der Austrittsöffnung vorzusehen. Damit wird die Möglichkeit gegeben den Aerosolstrom nach einer optionalen Ionisierung weiter zu manipulieren, insbesondere abzulenken, zu fokussieren oder weiter zu zerstäuben. Vorzugsweise umfassen die Mittel hierzu Elektroden in oder um die Austrittsöffnung.

[0048] Eine weitere Ausgestaltung des Druckkopfes sieht vor, Mittel zur Erzeugung eines elektrostatischen Feldes parallel oder konzentrisch zu der Symmetrieachse an der Austrittsöffnung vorzusehen. Während die eine Elektrode orthogonal zur Symmetrieachse um die Austrittsöffnung angeordnet ist, wird die zweite Elektrode durch ein elektrisch leitfähiges zu bedruckende Substrat als Ganzes oder einen Teil davon oder im Falle eines elektrisch nicht leitfähigen Substrats (z.B. Polymerfolien) durch elektrisch leitfähige Zusatzelemente wie z.B. eine Zwischenplatte oder -schicht im oder unter dem Substrat gebildet. Eine solche Elektrodenanordnung dient vorzugsweise der Fokussierung auf das Substrat.

[0049] Die Lösung der genannten Aufgabe umfasst ferner auch ein Druckverfahren für das Drucken einer Struktur, vorzugsweise einer erhabenen Struktur auf eine Oberfläche bei Verwendung eines vorgenannten Druckkopfes. Dabei wird über die Kapillare eine Flüssigkeit oder eine Paste über die Düsenöffnung in die Vorkammer geleitet, wobei die Düsenöffnung über einen Piezoaktor hin- und herbewegt wird, wobei die Flüssigkeit oder die Paste an der Düsenöffnung laufend als Fluidtröpfchen abgetrennt und zerstäubt wird. Über die mindestens eine Einlassöffnung wird ein Führungsgas in die Vorkammer um die Ka-

pillare eingeleitet wird, wobei sich das Führungsgas zu einem ersten Anteil in der Vorkammer mit den Fluidtröpfchen zu einem Aerosolstrom zusammensetzt und zu einem zweiten Anteil zwischen Düsenöffnung und Austrittsöffnung einen Mantelstrom um den Aerosolstrom bildet. Vorzugsweise überwiegt dabei der zweite Anteil den ersten Anteil, wobei in einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der erste Anteil nicht vorhanden ist oder nahezu Null ist (zweiter Anteil über 95%). Der vom Mantelstrom umgebene und fokussierte Aerosolstrom wird daraufhin über die Austrittsöffnung aus der Vorkammer auf eine Oberfläche eines Substrats geleitet, wo die Fluidtröpfchen auf die Oberfläche aufgetragen werden.

[0050] Vorzugsweise bildet sich aus Schwingaktor, Kapillare mit der darin enthaltenen Flüssigkeit oder Paste und der Aufnahme für die Kapillare sowie ggf. weiteren mitschwingenden Komponenten (z.B. Fluidanschluss) ein Schwingungssystem, das weiter bevorzugt in einer Resonanzschwingung angeregt wird.

[0051] Der beschriebene Druckkopf und das Druckverfahren weisen die weiteren folgenden Vorteile auf:

1. Das bauartbedingte geringe Volumen und damit auch das geringe ungenutzte Totvolumen (Volumina, in denen sich aber insbesondere Flüssigkeitsbestandteile anreichern und im ungünstigen Fall auch für längere Zeit festsetzen können) der fluidführenden Bauteile ermöglicht geringe Flüssigkeitsverluste beim Drucken wie auch eine bessere Dosierbarkeit und Mischeinstellungen auch geringerer Flüssigkeitsmengen.
2. Durch die kurzen Wege und Zeiten zwischen der Aerosolbildung und dem Aufdrucken ist eine Eliminierung von größeren Tropfen oder Agglomeraten der Flüssigkeit oder Homogenisierung des Aerosols nicht erforderlich.
3. Damit sind auch komplexe Führungen des Druckkopfes während des Druckvorgangs ohne mechanische Entkopplung der Aerosolerzeugung möglich, insbesondere auch ein Überkopf-Druck.
4. Eine Reduzierung der Aerosol führenden Komponenten und die Aerosolführung im Druckkopf ermöglichen eine reduzierte Kontamination dieser mit Aerosol, was wiederum einen Wechsel des zu druckenden Druckmediums während des Druckvorgangs signifikant vereinfacht und beschleunigt.
5. Es wird kein zusätzlicher Tintenfänger oder Shutter an der Austrittsöffnung benötigt, um Unterbrechungen im Druckbild erzielen zu können. Dies beruht auf dem binären Verhalten der neuen Einrichtung zur Aerosolerzeugung (Aerosol-on-Demand).

6. Es wird kein Aerosol-Konzentrator mehr benötigt.

7. Die Reinigung des Druckkopfes bzw. der Wechsel desselben nach Wechsel der zu druckenden Flüssigkeit ist nicht mehr notwendig. Es genügt, die Kapillare aus dem Druckkopf auszutauschen (sowie den Fluidanschluss mit Tintenkartusche außerhalb des Druckkopfes). Dabei handelt es sich um kostengünstige Standard-Einwegkomponenten. Dies beruht auf der Klemmvorrichtung für Glaskapillaren der neuen Einrichtung zur Aerosolerzeugung.

8. Die vorgenannten Ausgestaltungen mit kurzen Wegen zwischen Düsenöffnung und Austrittsöffnung sowie der Mantelstrom reduzieren die Einflüsse der Gravitationskräfte während des Druckvorgangs. Durch Anpassung der Prozessparameter kann somit auch über Kopf gedruckt werden, ohne dass eine mechanische Trennung von Aerosol-Erzeugung und Druckdüse notwendig ist. Dies begünstigt wiederum ein kompakteres Design des Druckkopfes.

[0052] Dank einer bevorzugten Klemm-Verbindung zwischen Kapillare und Piezo-Element, ist ein Austausch aller Fluid führenden Bauteile vorzugsweise als Einweg-Komponenten gegenüber dem vorgenannten Stand der Technik einfacher und damit schneller und/oder wirtschaftlicher zu gestalten. Die sonst oft langwierige Reinigung reduziert sich aufgrund der späten Aerosolbildung, der geringen grundsätzlich kurzen Wege und damit entsprechend kleinen mit Aerosol kontaminierbaren Oberflächen- und Volumenbereiche (einschließlich der vorgenannten Totvolumina) zwischen Düsenaustritt und Austrittsöffnung sowie der vorgenannten durch das Führungsfuid insbesondere als Mantelstrom um das Aerosol bewirkenden Reduzierung einer Kontaminierungsgefahr in diesen Oberflächenbereichen auf ein Minimum. Dies ist ebenso vorteilhaft für einen schnellen und wirtschaftlichen Wechsel des Druckmediums (Flüssigkeit oder Paste aus der Kapillare) durch einen Kapillarenaustausch während eines Druckvorgangs als auch für eine signifikante Reduzierung der Ausfallwahrscheinlichkeit durch laufende Ablagerungen von Druckmedium in der Ausgangsöffnung und der Vorkammer bis hin zu einer vollständigen Verstopfung. Da das Aerosol direkt nach Austritt aus der Kapillare durch den Führungsgasstrom und/oder durch elektrische Felder vorzugsweise fokussiert wird, findet keine Kontamination weiterer Teile des Druckkopfes, insbesondere der Fokussierdüse, statt. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, ein und denselben Druckkopf für unterschiedliche Druckmedien (Pasten, Flüssigkeiten, z.B. Fluide, Tinten) verwenden zu können ohne Querkontaminationen zwischen diesen Druckmedien riskieren zu müssen. Dies ist besonders interessant für eine bevorzugte Verwendung des Druckkopfes und/oder des Druckverfahrens für die

Erstellung von gedruckter Elektronik (Leiterbahnen, Bauteile etc.) oder für biologische oder chemisch aktive Beschichtungen.

[0053] Die Erfindung wurde in verschiedenen Ausgestaltungen erprobt. Sowohl Klemm- als auch Klebeverbindungen zwischen einem Piezo-Element und einer Glaskapillare wurden bereits erfolgreich getestet. Dabei kamen die drei folgenden Modi der Aerosolzeugung zum Einsatz:

- Stabiler sehr starker und sehr dünner Aerosolstrahl aus der Glaskapillare. Die Strahlrichtung scheint durch Unebenheiten von Funktionsmustern der Glaskapillaren vorgegeben zu sein. Die Tropfengröße ist kleiner 1 µm.
- Breiter glockenartiger Aerosolnebel am Austritt der Glaskapillare. Die Tropfengröße ist größer als beim vorhergehend beschriebenen Aerosolstrahl.
- Stabile sehr starke und sehr dünne Aerosolstrahlen die unter 90° zur Kapillar-Achse aus deren Spitze austreten. Die Strahlrichtung scheint durch Unebenheiten von Funktionsmustern der Glaskapillaren vorgegeben zu sein. Die Tropfengröße ist kleiner 1 µm.

[0054] Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen, den folgenden Figuren und Beschreibungen näher erläutert. Die dargestellten Merkmale und deren Kombinationen sind nicht nur auf diese Ausführungsbeispiele und deren Ausgestaltungen begrenzt. Vielmehr sind diese stellvertretend für weitere mögliche, aber nicht explizit als Ausführungsbeispiele dargestellte weitere Ausgestaltungen kombinierbar. Es zeigen

Fig. 1a und **Fig. 1b** je eine schematische Schnittdarstellung eines Druckkopfes,

Fig. 2a bis **Fig. 2e** in schematischer Detaildarstellung verschiedene Ausgestaltungen der Aufhängung der Kapillare im Druckkopfgehäuse mit Translationsaktoren (a) bis (c), Biegeaktoren (d) sowie Scheraktoren (e), die die Funktion des Aktors sowie des elastischen Elements vereinen,

Fig. 3a bis **Fig. 3e** schematische Darstellungen verschiedener Ausgestaltungen der Aufhängung der Kapillare im Druckkopfgehäuse mit separaten elastischen Elementen und separaten Aktoren,

Fig. 4 eine schematische Anordnung einer Kapillare mit Bund in einer Aufnahme sowie

Fig. 5a bis **Fig. 5d** in prinzipieller Schnittdarstellung mögliche Anordnung einer Kapillare in einer mit Klemmmitteln ausgestalteter Aufnahme.

[0055] **Fig. 1a** und **Fig. 1b** geben schematisch einen Druckkopf in zwei Ausgestaltungen des Druckkopfes

wieder. Zentrale Komponenten des Druckkopfes sind das Druckkopfgehäuse **1** mit einer Austrittsöffnung **2** sowie die in dieser konzentrisch um eine Symmetrieachse **3** oder im Falle einer Flachdüse einer Symmetrieebene **6** axial beweglich aufgehängten Kapillare **4** mit einer Düsenöffnung **5**. Zwischen Düsenöffnung **5** und Austrittsöffnung **2** ist im Druckkopfgehäuse **1** eine Vorkammer **8** angeordnet. Die Kapillare **4** ist im Gehäuse über mindestens ein elastisches Element **7** aufgehängt und entlang der Symmetrieachse bzw. Symmetrieebene axial geführt. Die Kapillare **4** wird in der dargestellten Ausgestaltung in einer separaten Aufnahme **9**, vorzugsweise mit Klemmmitteln versehen, fixiert. Dreh- und Kippbewegungen der Kapillare sind nicht oder nur mit hohen Kräften möglich. Die elastische Nachgiebigkeit der so gebildeten Aufhängung der Kapillare ist in axialer Richtung wesentlich höher als orthogonal zu vorgenannter Symmetrieachse oder Symmetrieebene. Zumindest eines der elastischen Elemente ist zudem mit einem Aktor **10** (**Fig. 1a**) verbunden oder bildet mit diesem eine konstruktive Einheit. Beispielsweise wird hierzu das elastische Element durch den Aktor gebildet (**Fig. 1b**).

[0056] Ferner weist das Druckkopfgehäuse **1** mindestens eine Einlassöffnung **11** für ein Führungsgas sowie eine Einspeisemittel **12** für die zu druckende Flüssigkeit auf. Die Strömungsverläufe für das Führungsgas **13** und für die zu druckenden Flüssigkeit **14** sind in **Fig. 1a** und **b** angegeben. Die Einlassöffnungen sind wie beispielhaft dargestellt, vorzugsweise seitlich um die Kapillare **4** und zur Ausbildung einer Mantelströmung in der Vorkammer proximal zu der Düsenöffnung **5** angeordnet. Die Aufhängung der Kapillare im Druckkopf, umfassend die vorgenannten elastischen Elementen und den Aktor, müssen, sofern sie distal zu den Einlassöffnungen **11** angeordnet sind, axial um- oder durchströmbar, d.h. ggf. mit axial durchströmbar Ausparungen versehen sein.

[0057] Die in **Fig. 1a** dargestellten Einlassöffnungen **11** führen seitlich in das Druckkopfgehäuse. Die Anschlüsse der Einlassöffnungen sind damit seitlich angeordnet, womit ein größerer proximaler Deckelbereich **15** oberhalb der Einlassöffnungen gelegen für Ausgestaltungen zugunsten einer besseren Austauschbarkeit der Kapillare einschließlich der Einspeisemittel **12** zur Verfügung steht. Eventuelle nicht vom Führungsgas durchströmte Totvolumina **16** lassen sich allgemein und insbesondere im genannten Deckelbereich konstruktiv durch eine entsprechende Gestaltung des Druckkopfgehäuses **1** oder durch nicht dargestellte Komponenten (z.B. einen Deckelverschlussystem) minimieren. Das Druckkopfgehäuse **1** ist grundsätzlich durch eine nicht weiter dargestellte Ausgestaltung z.B. für einen Austausch der Kapillare zerlegbar oder öffnungsfähig. Vorzugsweise ist der Deckelbereich **15** von dem restlichen Druckkopfgehäuse entfernbar, während das

Druckkopfgehäuse beispielsweise über seine Mantelflächen gehalten wird.

[0058] Fig. 1b zeigt dagegen ein Ausgestaltungsbeispiel, bei dem die Einlassöffnungen **11** im proximalen Deckelbereich **15** in unmittelbarer Nähe zum Einspeisemittel **12** angeordnet sind. Damit sind die Einlassöffnungen nicht mehr wie in **Fig. 1a** dargestellt an der Mantelfläche des Druckkopfgehäuses angeordnet, womit die Mantelfläche in vorteilhafter Weise für die Handhabung des Druckkopfgehäuses in einer Druckvorrichtung zur Verfügung steht, d.h. auch universeller einspannbar und auswechselbar ist. Ferner unterstützt diese Anordnung eine schlankere Bauform des Druckkopfgehäuses, was z.B. einer engeren Anordnung mehrerer Druckkopfgehäuse und auch einer Magazinierung derselben entgegenkommt. Auch ist das Druckkopfgehäuse als solches besser in einer Druckvorrichtung oder mittels eines Manipulators bewegbar und ausrichtbar, wenn die Anschlüsse gebündelt sind, d.h. in einen Anschlussstrang zusammengefasst werden, dessen Realisierung durch die vorgenannte nahe Anordnung der Einlassöffnungen **11** im proximalen Deckelbereich **15** in unmittelbarer Nähe zum Einspeisemittel begünstigt wird. Auch ist diese Anordnung von Vorteil, wenn die Anschlüsse der Einlassöffnungen und der Einspeisemittel z.B. bei einem Kapillarenwechsel gemeinsam gewechselt werden müssen, z.B. wenn das Führungsgas und die zu druckenden Flüssigkeit z.B. reaktionschemisch aufeinander abgestimmt werden müssen. Außerdem sind die Anschlüsse kompakter gestaltbar, das Druckkopfgehäuse **1** damit besser greifbar, was wiederum der Integration des Druckkopfes als Ganzes in ein Manipulator- oder Robotersystem sehr zugute kommt.

[0059] Die genannte Aufhängung für die Kapillare in dem Druckkopfgehäuse umfasst mindestens ein elastisches Element, mindestens einen Aktor, vorzugsweise auch eine separate Aufnahme für die Kapillare. Die Aufnahme umfasst weiter bevorzugt Klemmmittel für eine kraftschlüssige Fixierung der Kapillare. Optional weist die Kapillare an der Mantelaußenfläche mindestens eine dreidimensionale Oberflächenstruktur auf, die von der Aufnahme mittels einer dieser Oberflächenstruktur zumindest teilweise entsprechenden Negativstruktur formschlüssig haltbar ist.

[0060] Fig. 2a bis Fig. 2e zeigen beispielhaft im Detail verschiedene Ausgestaltungen der Aufhängung der Kapillare im Druckkopfgehäuse mit Translationsaktoren (a) bis (c), Biegeaktoren (d) sowie Scheraktoren (e), bei denen die Funktion des Aktors sowie des elastischen Elements vereint sind.

[0061] Fig. 2a zeigt eine Ausgestaltung mit einem einseitigen Translationsaktor, beispielsweise einen piezoelektrischen Aktor vom Typ d31 (Transversa-

aktor) oder vom Typ d33 (Longitudinalaktor, in Einschicht- oder Mehrschichtbauweise), der auf einen Vorsprung **17** an der Innenwandung des Druckkopfgehäuses angesetzt ist und gegen ein Kapillarenahmeelement **18** wirkt. Die dargestellte einseitige Anordnung des Aktors eignet sich nur für geführte Aktorbewegungen im nicht resonanten Frequenzbereich. Eine Ausgestaltung sieht jedoch vor, zwei oder mehrere gleichartige dieser vorgenannten Translationsaktoren beidseitig zu einer Kapillare bzw. im regelmäßigen Abstand zueinander umlaufend zu einer in diesem Fall rotationssymmetrischen Kapillare anzuordnen und synchron zu betreiben, womit eine Achsensymmetrie um die Kapillare hergestellt und damit auch ein Resonanzbetrieb möglich ist.

[0062] Fig. 2b und Fig. c zeigen Ausgestaltungen mit einem um die Kapillare umlaufenden ringförmigen Translationsaktor **19**, ausgestaltet z.B. als piezoelektrischen d31-Aktor **21** (siehe **Fig. 2b**) oder d33-Aktor **22** (siehe **Fig. 2c**), der sich auf Grund seiner Symmetrie um die Kapillare für resonante Schwingbewegungen gut eignet. Der prinzipielle Aufbau ähnelt dem in **Fig. 2a** gezeigten, das Kapillarenahmeelement weist hierzu eine zusätzliche die Resonanzfrequenz beeinflussende ringförmig um die Kapillare angeordnete Schwingungsmasse **20** auf. Wie in **Fig. 2c** angedeutet, lässt sich die Schwingungsmasse zweiteilig gestalten, wobei die Kapillare zwischen den beiden Teilen grundsätzlich kraft- oder formschlüssig einklemmbar ist.

[0063] Fig. 2d zeigt eine Aufhängung mit Biegeschwingaktoren, vorzugsweise mehrschichtige gegenläufig gepolte piezoelektrische d31-Aktoren oder ein auf ein Biegeelement aufgebrachter d31-Aktor, die vorzugsweise an der Innenwandung des Druckkopfgehäuses eingespannt sind und am anderen Ende auf der Oberfläche der Kapillare angreifen. **Fig. 2d** zeigt beispielhaft eine Ausgestaltung mit zwei spiegelbildlich auf einer Ebene zur Kapillaren angeordnete streifenförmige Biegeschwingaktoren. Für eine stabilere Anordnung, die nur axiale Bewegungen der Kapillare zulassen, ist es vorteilhaft, diese Anordnung an der Kapillare ein zweites Mal parallel an anderer vorzusehen.

[0064] Fig. 2e zeigt beispielhaft eine Ausführung, bei der der Aktor als Scherschwingaktor **23**, beispielsweise ein piezoelektrischer d15-Wandler ausgestaltet ist. Er wird seitlich an der Kapillaren **4** oder wie dargestellt an der separate Aufnahme **9** für die Kapillare **4** fixiert (z.B. geklebt). Auf der anderen Seite ist er seitens des Druckkopfgehäuses auf einem Vorsprung **17** fixiert. Dargestellt ist eine Ausgestaltung mit einem einzigen Scherschwingaktor, wobei weitere Ausgestaltungen mit zwei oder mehreren derartigen Aktoren denkbar sind, die weiter bevorzugt gleichmäßig, d.h. in einem einheitlichen Winkel zueinander um die Kapillare angeordnet sind.

[0065] Die Aufhängung der Kapillare im Druckkopfgehäuse erfolgt beispielsweise mit Koppelgetriebeanordnungen mit Festkörper- oder konventionellen Gelenken in der Weise, dass eine primär eine Translation in Kapillarrichtung erzeugt und die parasitäre Translation senkrecht zur Kapillarrichtung möglichst weitgehend unterdrückt bzw. kompensiert wird und die Kapillare möglichst auch Momenten frei schwingt. **Fig. 3a** bis **e** offenbaren beispielhafte Ausgestaltungen der Aufhängung der Kapillare im Druckkopfgehäuse mit separaten elastischen Elementen **28** und separaten Aktoren **10**. Die Aufhängungen sind dabei stets so gestaltet, dass die in den elastischen Elementen **28** eingesetzte Kapillare **4** stets axial, d.h. in Richtung der Symmetrieachse **3** bewegbar sind und die Bewegung durch die Aktoren **10** hervorrufbar sind. Die Aktoren **10** wirken - wie in den dargestellten Ausgestaltungen dargestellt - vorzugsweise direkt auf die elastischen Elemente **28**, verformen diese und rufen damit die vorgenannte axiale Verschiebung der Kapillare **4** hervor. Vorzugsweise erstrecken sich die elastischen Elemente rotationssymmetrisch oder gleichartig und in gleichen Winkelabständen zueinander um die Kapillare herum. Die elastischen Elemente **28** weisen wiederum elastische Festkörpergelenke **29** oder elastische Biegestreifen **31** auf.

[0066] Eine Ausgestaltungsgruppe wird durch **Fig. 3a** bis **Fig. c** repräsentiert. Sie sieht jeweils mindestens zwei gleichartig gestaltete und zur Kapillare **4** orientierte elastische Elemente **28** vor, die vorzugsweise als Fachwerk gestaltet sind, wobei die Fachwerkelemente untereinander und vorzugsweise um eine Achse gegeneinander schwenkbar gestaltet mit Gelenken, vorzugsweise den vorgenannten elastischen Festkörpergelenken **29** verbunden sind. Die Aktoren **10** sind vorzugsweise piezoelektrische Ringaktoren (z.B. ringförmiger Translationsaktor **19**) oder Einzelaktoren, die jeweils mit den elastischen Elementen um die Kapillare angeordnet sind.

[0067] **Fig. 3a** zeigt eine Ausgestaltung mit einem axial zur Kapillare wirkenden und auf einem Vorsprung **17** um die Kapillare angeordneten Aktor, vorzugsweise einen ringförmigen d31-Aktor. Dieser wirkt vorzugsweise axial auf jeweils ein erstes Festkörpergelenk der als Parallellogrammführung mit jeweils vier Fachwerkelementen gestalteten elastischen Elemente, die über ein Fachwerkelement mit jeweils zwei elastischen Festkörpergelenken **29** auf einer Seite fest in das Druckkopfgehäuse **1** eingesetzt sind und über ein anderes, dem ersten gegenüber angeordnetes Fachwerkelement mit zwei anderen elastischen Festkörpergelenken **29** an die im Druckkopfgehäuse axial bewegbare Kapillare angebunden sind.

[0068] **Fig. 3b** zeigt eine weitere Ausgestaltung einer Aufhängung der Kapillare mit elastischen Elementen, die jeweils eine Reihenschaltung einer Parallellogrammführung und einem weiteren viereckigen

Fachwerk mit vier Fachwerkelementen umfassen. **Fig. 3c** zeigt eine Ausführung eines elastischen Elements mit fünf elastischen Festkörpergelenken, wobei jeweils zwei dieser Festkörpergelenke in axialer Reihenfolge an der Kapillare bzw. in radialer Reihenfolge an einem Vorsprung an der Innenwandung des Druckkopfgehäuses angeordnet sind und das fünfte Festkörpergelenk wiederum über den Aktor radial zu der Kapillare ansteuerbar und bewegbar ist. Bei beiden vorgenannten Ausgestaltungen ist der ringförmige Translationsaktor **19** fest in das Druckkopfgehäuse **1** eingesetzt und in seiner Hubausrichtung radial zur Kapillare orientiert. **Fig. 3b** und **Fig. c** repräsentieren damit beispielhafte Ausgestaltungen, bei denen radiale Stellbewegungen durch einen Aktor in axiale Kapillarenbewegungen umgelenkt werden.

[0069] **Fig. 3d** repräsentiert eine beispielhafte Ausgestaltung, bei der die Kapillare **4** im Druckkopfgehäuse axial durch zwei vorzugsweise rotationsymmetrische und/oder vorgespannte Tellerfederelemente **30**, die die elastischen Elemente bilden, axial bewegbar eingesetzt und geführt wird. Eines dieser Tellerfederelemente wird axial zur Kapillare durch einen Ringaktor, vorzugsweise einen ringförmigen d31-Aktor, vorgespannt und ausgelenkt, wobei die Anordnung des Ringaktors auf einem Vorsprung **17** um die Kapillare wie in **Fig. 3a** beschrieben erfolgt.

[0070] **Fig. 3e** zeigt eine weitere beispielhafte Ausgestaltung, bei der die Kapillare **4** im Druckkopfgehäuse axial durch drei elastische Biegestreifen **31** (alternativ Biegeblechelemente), die die elastischen Elemente bilden, und axial bewegbar eingesetzt und geführt wird. Dabei dienen im Beispiel zwei der Biegestreifen vorzugsweise nur der Parallelführung der Kapillare, während mindestens ein dritter Biegestreifen vorzugsweise als Aktor ausgestaltet ist oder von einem Aktor zur Anregung einer Kapillarbewegung ansteuerbar ist. Vorzugsweise ist mindestens einer dieser Biegestreifen mit einem piezoelektrischen Material beschichtet und bildet mit diesem einen bimorphen Biegeaktor, über den die Kapillare axial bewegbar ist.

[0071] Die vorgenannten Ausgestaltungen, insbesondere die in **Fig. 1a** und **b** sowie **Fig. 2a** bis **e** dargestellten Aufnahmen **9** umfassen vorzugsweise Klemmmittel für die Kapillare **4**, die ein axiales Herausziehen der Kapillare in proximaler Richtung, d.h. von der Austrittsöffnung weg ermöglichen. Die Klemmmittel sind vorzugsweise durch ein geschlitztes um die Kapillare vorgespanntes Rohrelement, alternativ durch federnde Einsätze im Rohr, zwei gegeneinander wirkende Einspannelemente für die Kapillare oder durch ein elastisches Element mit einer als Presssitz dimensionierten Bohrung für die Kapillare ausgestaltet.

[0072] Fig. 4 zeigt eine beispielhafte Anordnung einer Kapillare 4 in einer Aufnahme 9, wobei für eine exakte Justierbarkeit die dargestellte Kapillare einen Bund 24 (vorzugsweise Erhebung auf der Kapillare oder auf der Kapillare fixierter Ring) als Anschlag aufweist. Damit wird ein Einsetzen der Kapillare in eine reproduzierbare Position in der Aufnahme erzielbar. Eine Ausgestaltung sieht eine zusätzlich an die Kapillare fixierte und diese mechanisch schützende Rohrummantelung mit oder ohne dem vorgenannten Bund vor, an der die Aufnahme angreift.

[0073] Fig. 5a bis Fig. d zeigen in prinzipieller Schnittdarstellung mögliche Anordnung einer Kapillare 4 in einer mit Klemmmitteln ausgestalteten Aufnahme 9, Fig. 5a und b zeigen jeweils eine Ausgestaltung mit vier bzw. drei Kontaktlinien 25, Fig. 5c eine Ausgestaltung mit einer Kontaktlinie 25 und einer Kontaktfläche 26 sowie Fig. 5d eine Ausgestaltung nur mit einer Kontaktfläche 26. Die Vorspannung erfolgt wie dargestellt über elastische Zuganker 27, wie z.B. einstellbar über elastische Dehnungsschrauben. Weitere Kombinationen, wie z.B. Ausgestaltungen mit zwei gegenüberliegenden Kontaktflächen oder mit elastischen Zwischenelementen (z.B. aus Elastomeren) werden ausdrücklich auch genannt. Eine Klemmung über Kontaktflächen ist insbesondere für Kapillaren aus spröden Materialien wie z.B. Glas schonender als eine Klemmung über Kontaktlinien, erfordert aber zur Vermeidung von Spannungssingularitäten in der Kapillare eine exaktere und damit auch aufwendigere Anpassung der Kontaktflächen.

- 18 Kapillarenaufnahmeelement
- 19 ringförmiger Translationsaktor
- 20 Schwingungsmasse
- 21 d31-Aktor
- 22 d33-Aktor
- 23 Schwerschwingaktor
- 24 Bund
- 25 Kontaktlinie
- 26 Kontaktfläche
- 27 Elastischer Zuganker
- 28 Elastisches Element
- 29 Elastisches Festkörpergelenk
- 30 Tellerfederelement
- 31 Elastische Biegestreifen

Bezugszeichenliste

- 1 Druckkopfgehäuse
- 2 Austrittsöffnung
- 3 Symmetrieachse
- 4 Kapillare
- 5 Düsenöffnung
- 6 Symmetrieebene
- 7 elastische Element
- 8 Vorkammer
- 9 separaten Aufnahme
- 10 Aktor
- 11 Einlassöffnung
- 12 Einspeisemittel
- 13 Führungsgas
- 14 zu druckenden Flüssigkeit
- 15 proximaler Deckelbereich
- 16 Totvolumen
- 17 Vorsprung

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 7270844 B2 [0005]
- EP 1830927 B1 [0005]
- US 9114409 B2 [0005]
- US 7467751 B2 [0009]
- US 7095018 B2 [0009]

Patentansprüche

1. Druckkopf, umfassend eine an mindestens ein elastisches Element (7, 28) angrenzende Kapillare (4) um eine Symmetrieachse (3) für eine zu druckende Flüssigkeit mit einer Düsenöffnung (5), die in eine Vorkammer (8) mündet, wobei

a) die Vorkammer eine zur Düsenöffnung der Kapillare in ihrer axialen Ausrichtung der Symmetrieachse (3) fluchtende Austrittsöffnung (2) und mindestens eine Einlassöffnung (11) für ein Führungsgas (13) aufweist,

b) das mindestens eine elastische Element eine Führung für die Kapillare nur in ihrer axialen Ausrichtung bildet sowie

c) Einspeisemittel (12) für die zu druckende Flüssigkeit in die Kapillare vorgesehen sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass

d) ein mechanisches Schwingungssystem, umfassend das mindestens eine elastische Element (7, 28) und die Kapillare (4) mit der darin enthaltenen Flüssigkeit, vorgesehen ist sowie

e) ein Aktor (10, 19) mit einer mechanischen oder magnetischen Kraftwechselwirkung zum Schwingungssystem vorgesehen ist.

2. Druckkopf nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eines des mindestens einen elastischen Elements (7, 28) durch den Aktor (10, 19) gebildet wird.

3. Druckkopf nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Aktor (7, 28) durch einen tellerförmigen oder balkenförmigen Biegeaktor gebildet ist und eine Aufnahme für die Kapillare mittig im Biegeaktor angeordnet ist.

4. Druckkopf nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Aufnahme mindestens ein Klemmmittel zur Aufnahme der Kapillare (4) umfasst.

5. Druckkopf nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das mindestens eine Klemmmittel Teil einer oszillierbaren Masse auf dem mindestens einen elastischen Element umfassen.

6. Druckkopf nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Austrittsöffnung (2), die Vorkammer (8) und/oder das mindestens eine elastische Element (7) eine rotationssymmetrische Erstreckung um die Symmetrieachse der Kapillare (4) aufweisen.

7. Druckkopf nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Austrittsöffnung (2) Mittel zur Erzeugung eines elektrostatischen Feldes orthogonal zu der Symmetrieachse (3) aufweist.

8. Druckkopf nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Mittel Elektroden in oder um die Austrittsöffnung (2) und/oder als elektrisch leitfähige Bereiche im oder unter dem Substrat umfassen.

9. Druckkopf nach einem der vorgenannten Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eine Ringelektrode und / oder mindestens eine pneumatische Linse um die Austrittsöffnung angeordnet ist und/oder die Austrittsöffnung als Ringelektrode gestaltet ist.

10. Druckverfahren für das Bedrucken einer Struktur auf eine Oberfläche bei Verwendung eines Druckkopfes nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei

a) über die Kapillare (4) eine Flüssigkeit über die Düsenöffnung (5) in die Vorkammer (8) geleitet wird, wobei die Düsenöffnung über das mechanische Schwingungssystem in Achsrichtung der Kapillare hin- und herbewegt wird, wobei die Flüssigkeit an der Düsenöffnung laufend als Fluidtröpfchen abgetrennt und zerstäubt wird,

b) über die mindestens eine Einlassöffnung (11) ein Führungsgas (13) in die Vorkammer (8) um die Kapillare eingeleitet wird, wobei sich das Führungsgas zu einem ersten Anteil in der Vorkammer mit den Fluidtröpfchen zu einem Aerosolstrom zusammensetzt und zu einem zweiten Anteil zwischen Düsenöffnung und Austrittsöffnung einen Mantelstrom um den Aerosolstrom bildet,

c) der vom Mantelstrom umgebende Aerosolstrom über die Austrittsöffnung aus der Vorkammer auf eine Oberfläche eines Substrats geleitet wird sowie

d) die Fluidtröpfchen auf die Oberfläche aufgetragen werden.

11. Druckverfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Aerosolstrom in der Vorkammer (8) oder aus der Vorkammer heraus fokussiert wird.

12. Druckverfahren nach Anspruch 10 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Schwingungssystem vom Aktor (10, 19) in einer Resonanzschwingung angeregt wird.

13. Druckverfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Aerosolstrom bei Durchtritt durch die Austrittsöffnung elektrostatisch abgelenkt, fokussiert oder weiter zerstäubt wird.

14. Druckverfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Geschwindigkeit der laufenden Abtrennung und Zerstäubung der Flüssigkeit an der Düsenöffnung über

die Amplitude, Frequenz und/oder der Signalform der
Schwingung regelbar ist.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1a

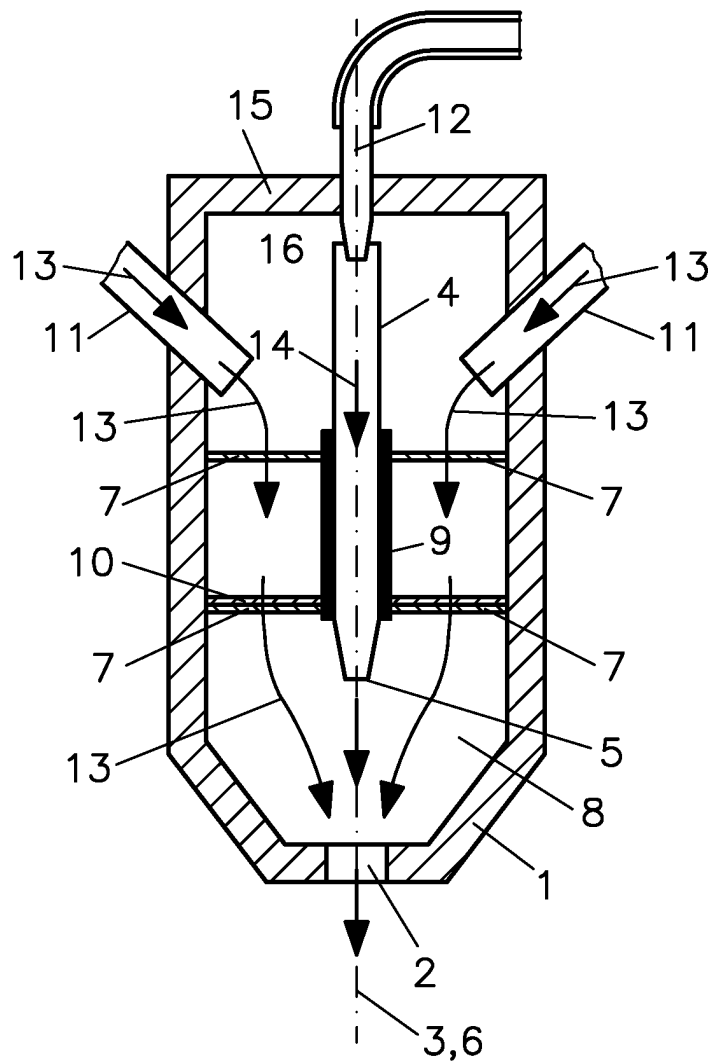


Fig. 1b

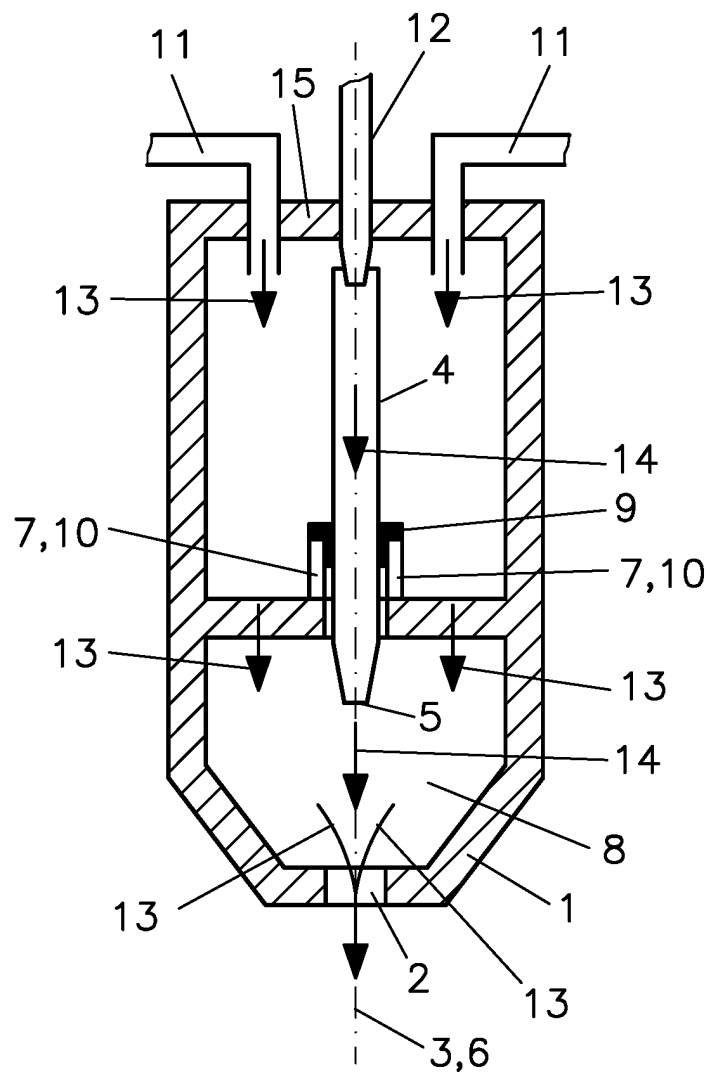


Fig. 2a

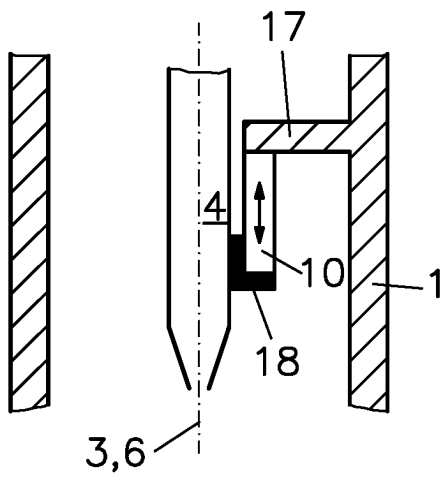


Fig. 2b

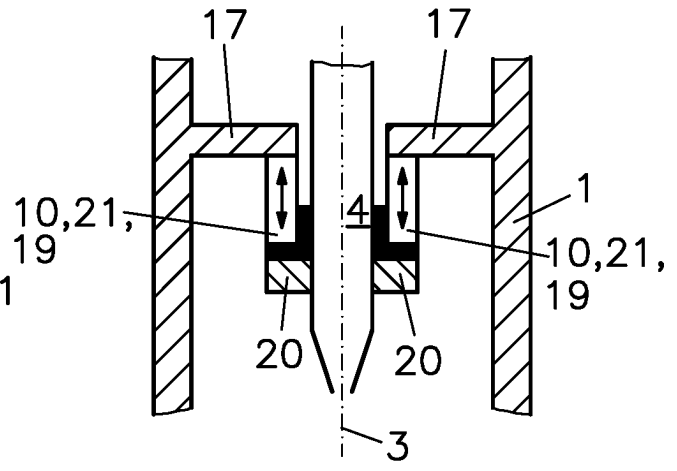


Fig. 2c

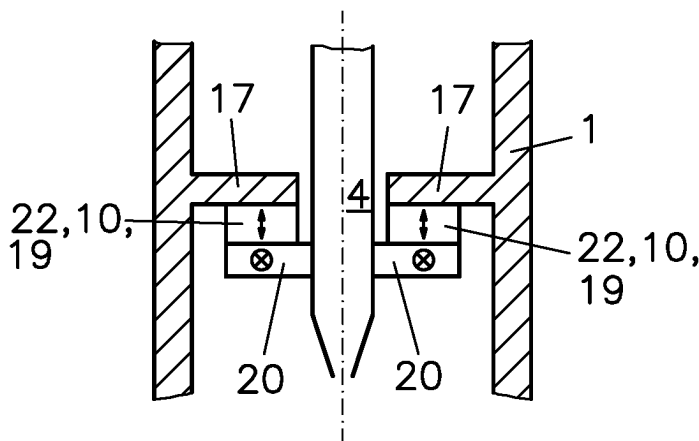


Fig. 2d

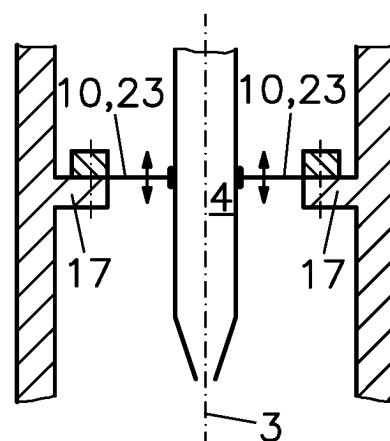


Fig. 2e

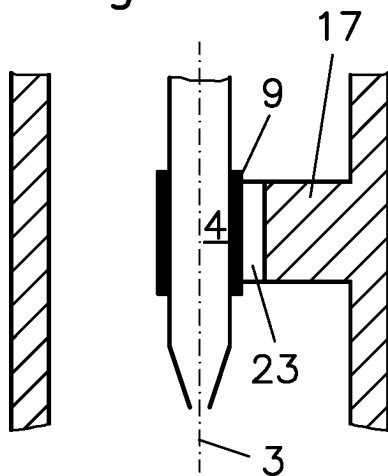


Fig. 3a

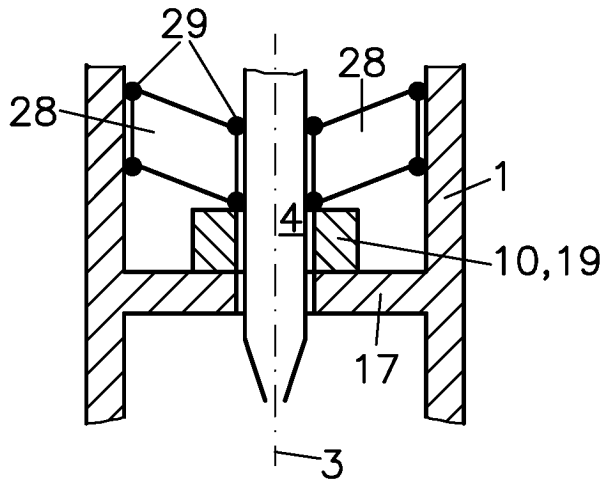


Fig. 3b

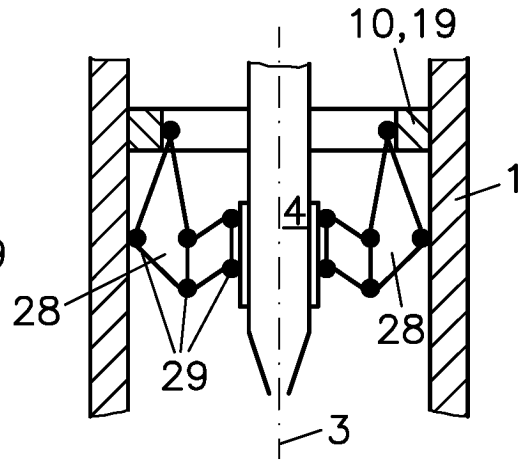


Fig. 3c

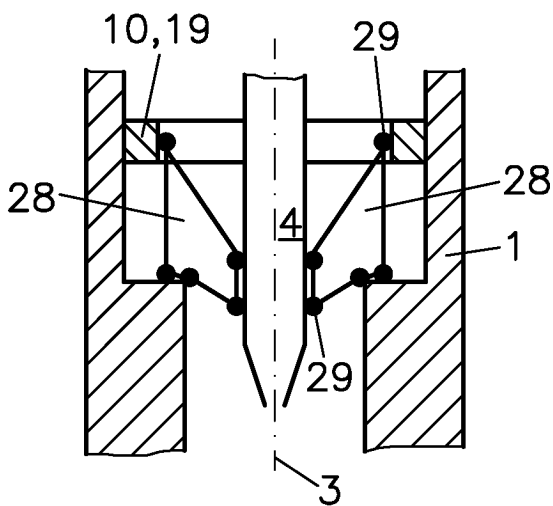


Fig. 3d

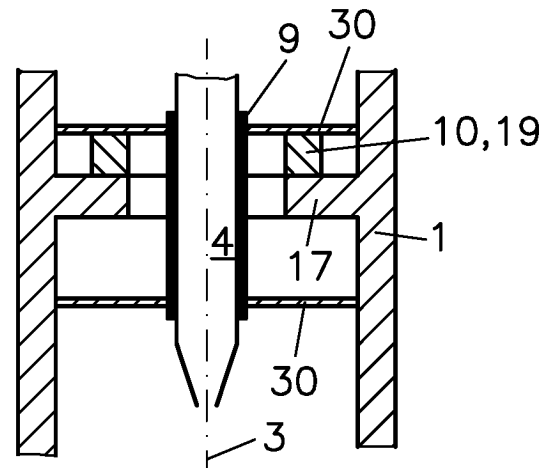


Fig. 3e

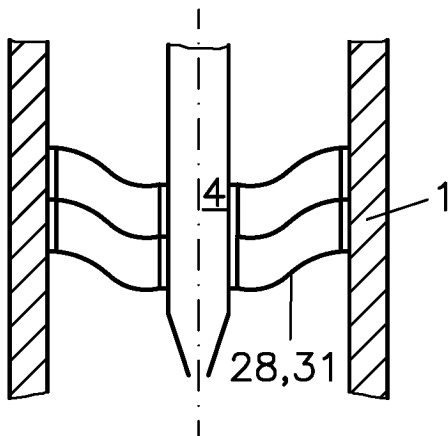


Fig. 4

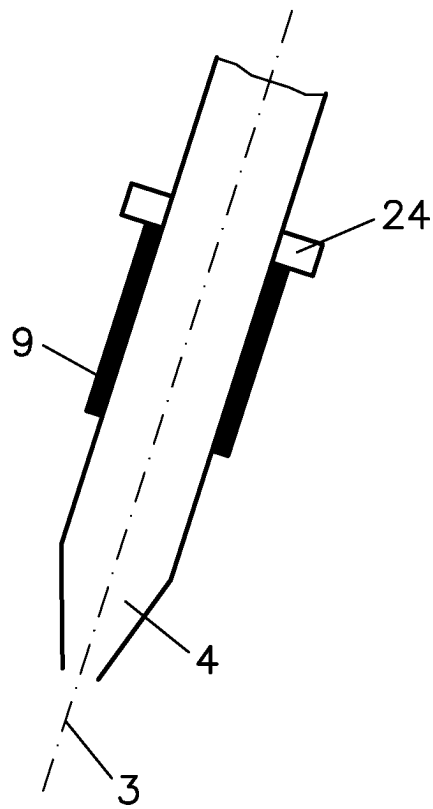


Fig. 5a

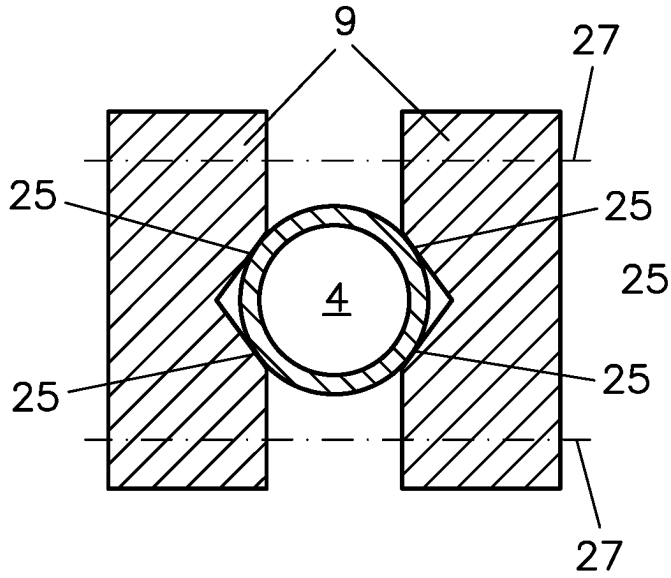


Fig. 5b

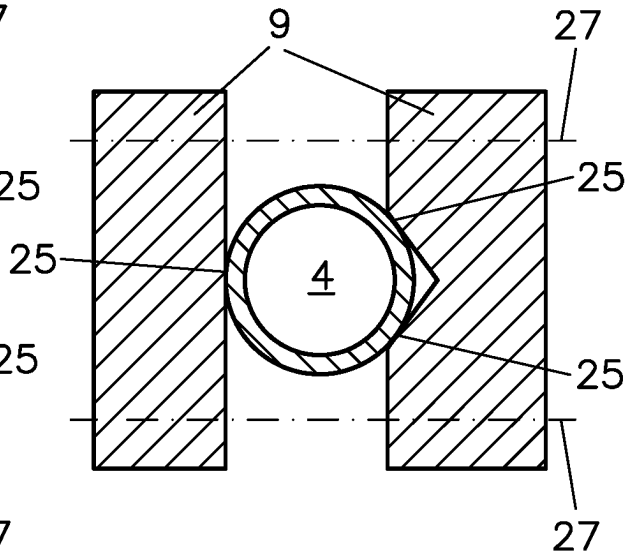


Fig. 5c

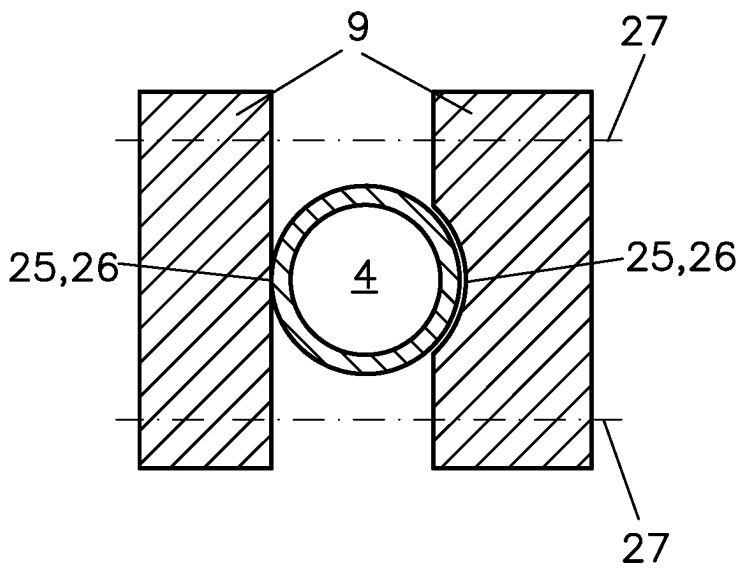


Fig. 5d

