(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 14 503 T2** 2004.03.25

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 865 922 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 14 503.8**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 300 438.3**
(96) Europäischer Anmeldetag: **22.01.1998**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **23.09.1998**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **14.05.2003**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **25.03.2004**

(51) Int Cl.[7]: **B41J 2/14**
B41J 2/16

(30) Unionspriorität:
805488 **25.02.1997** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB, IT

(73) Patentinhaber:
Hewlett-Packard Co. (n.d.Ges.d.Staates Delaware), Palo Alto, Calif., US

(74) Vertreter:
Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, 82049 Pullach

(72) Erfinder:
Agarwal, Arun K., Corvallis, US; Weber, Timothy L., Corvallis, US

(54) Bezeichnung: **Tintenstrahldruckkopfdüse zur Sprühreduzierung**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Diese Patentanmeldung bezieht sich auf die europäische Patentanmeldung EP-A-0 770 487, „Non-Circular Printhead Orifice", die im Namen von Weber am 14. März 1996 eingereicht wurde und an die Anmelderin der vorliegenden Erfindung übertragen wurde.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Die vorliegende Erfindung bezieht sich allgemein auf einen Tintenstrahldrucker-Druckkopf mit einem verbesseten Öffnungskonzept und bezieht sich spezieller auf ein Druckkopföffnungskonzept mit einem Loch mit Charakteristika, die ein reduziertes Tintensprühen erzeugen.

[0003] Ein Tintenstrahldrucker bildet Schriftzeichen und Bilder auf einem Medium, wie z. B. Papier, indem Tröpfchen von Tinte in einer gesteuerten Weise ausgestoßen werden, so daß die Tröpfchen in gewünschten Positionen auf dem Medium landen. In seiner einfachsten Form kann ein solcher Druckkopf als ein Mechanismus zum Bewegen und Plazieren des Mediums in eine Position, so daß die Tintentröpfchen auf das Medium plaziert werden können, eine Druckkassette, die den Fluß von Tinte steuert und Tröpfchen von Tinte auf das Medium ausstößt, und eine entsprechende Steuerungshardware und -software konzeptioniert sein. Eine herkömmliche Druckkassette für einen Tintenstrahldrucker weist einen Tintenaufnahmeabschnitt auf, der Tinte nach Bedarf speichert und versorgt, und einen Druckkopf, der die Tintentröpfchen nach Anweisung durch die Druckersteuerungssoftware erwärmt und ausstößt. Typischerweise ist der Druckkopf eine Laminatstruktur, die eine Halbleiterbasis umfaßt, einer Barrierematerialstruktur, die wabenförmig mit Tintenflußkanälen ist, und eine Öffnungsplatte, die mit kleinen Löchern oder Öffnungen perforiert ist, die in einem Muster angeordnet sind, das ermöglicht, daß Tintentröpfchen ausgestoßen werden.

[0004] Bei einer Varietät des Tintenstrahldruckers besteht der Ausstoßmechanismus aus einer Mehrzahl von Heizelementwiderständen, die in dem Halbleitersubstrat gebildet sind, die jeweils einer Mehrzahl von Tintenabfeuerungskammern zugeordnet sind, die in der Barriereschicht gebildet sind, und einer Öffnung von einer Mehrzahl von Öffnungen in der Öffnungsplatte. Jeder der Heizelementwiderstände ist mit der Steuerungssoftware des Druckers verbunden, so daß jeder der Widerstände unabhängig mit Energie versorgt werden kann, um einen Abschnitt von Tinte schnell zu einer Blase verdampfen zu lassen, die anschließend ein Tröpfchen von Tinte von einer Öffnung ausstößt. Die Tinte fließt in die Abfeuerungskammer, die in der Barriereschicht um jeden Heizelementwiderstand gebildet ist, und wartet auf eine Versorgung mit Energie durch den Heizelementwiderstand. Im Anschluß an ein Ausstoßen des Tintentröpfchens und Zusammenfallens der Tintenblasen befällt die Tinte die Abfeuerungskammer zu dem Punkt wieder, wo ein Meniskus über der Öffnung gebildet wird. Die Form und die Beschränkungen in den Barriereschichtkanälen, durch die Tinte fließt, um die Abfeuerungskammer wiederzubefüllen, legen sowohl die Geschwindigkeit, mit der die Tinte die Abfeuerungskammer wieder befällt, als auch die Dynamik des Tintenmeniskus fest. Weitere Einzelheiten des Druckers, der Druckkassette und der Druckkopfkonstruktion sind im Hewlett-Packard Journal, Bd. 36, Nr. 5, Mai 1985, und im Hewlett-Packard Journal, Bd. 45, Nr. 1, Februar 1994 vorzufinden.

[0005] Eines der Probleme, mit dem Entwickler von Druckkassetten konfrontiert sind, ist die Beibehaltung einer hohen Druckqualität, während eine hohe Rate einer Druckgeschwindigkeit erreicht werden soll. Wenn ein Tröpfchen von einer Öffnung aufgrund eines schnellen Siedens der Tinte innerhalb der Abfeuerungskammer ausgestoßen wird, wird ein Großteil der Masse der ausgestoßenen Tinte in dem Tröpfchen konzentriert, das in Richtung des Mediums gerichtet ist. Ein kleiner Abschnitt der ausgestoßenen Tinte befindet sich jedoch in einem Schweif, der sich von dem Tröpfchen zum Oberflächenloch der Öffnung erstreckt. Die Geschwindigkeit der Tinte, die in dem Schweif vorzufinden ist, ist allgemein geringer als die Geschwindigkeit der Tinte, die in dem Tröpfchen vorzufinden ist, so daß zu einem gewissen Zeitpunkt während der Bahn des Tröpfchens ein Großteil des Schweifs vom Tröpfchen getrennt wird. Ein Teil der Tinte in dem abgetrennten Schweif vereint sich wieder mit dem ausgestoßenen Tröpfchen und verbleibt als eine Verzerrung des Tröpfchens liegen, um unebene Kanten auf dem gedruckten Material zu erzeugen. Ein Teil der ausgestoßenen Tinte in dem Schweif kehrt zu dem Druckkopf zurück, wobei Pfützen auf der Oberfläche der Öffnungsplatte des Druckkopfs gebildet werden. Ein Teil der Tinte in dem abgetrennten Schweif bildet Teiltröpfchen („Sprühnebel"), die sich willkürlich in die allgemeine Richtung des Tintentröpfchens verteilen. Dieser Sprühnebel landet häufig auf dem Medium, um einen Hintergrund eines Tintennebels zu erzeugen.

[0006] Um die nachteiligen Ergebnisse des Sprühnebels zu reduzieren, haben andere die Geschwindigkeit der Druckoperation reduziert, jedoch eine Verringerung der Seitenanzahl in Kauf nehmen müssen, die ein Drucker in einem gegebenen Zeitraum drucken kann. Das Sprühnebelproblem ist auch durch Optimieren der Architektur oder Geometrie der Tintenabfeuerungskammer und der zugeordneten Tintenzuführleitungen in der Barriereschicht angegangen worden. Die Öffnungsgeometrien beeinflussen auch den Sprühnebel, EP-A-0 792 744, „Asymmetric Printhead Orifice", das im Namen von Weber et al. am 27. Januar 1997 eingereicht wurde.

[0007] Ein herkömmliches Verfahren zum Herstellen einer Öffnungsplatte nutzt eine elektrolose Plattiertechnik auf einem vorgefertigten Dorn. Ein solcher

Dorn ist in **Fig.** 1 dargestellt (die nicht maßstabsgerecht gezeichnet ist), indem ein Substrat **101** zumindest eine flache Oberfläche aufweist, die aus Silizium oder Glas konstruiert ist. Auf der flachen Oberfläche des Substrats **101** ist eine leitfähige Schicht **103** angeordnet, allgemein ein Film aus Chrom oder rostfreiem Stahl. Ein Vakuumaufdampfprozeß, wie z. B. der planare Magnetonprozeß, kann verwendet werden, um diesen leitfähigen Film **103** aufzubringen. Ein weiterer Vakuumaufdampfprozeß kann verwendet werden, um eine dielektrische Schicht **105** aufzubringen, die typischerweise Siliziumnitrid ist, und durch einen Vakuumaufdampfprozeß, wie z. B. den plasmaverbesserten chemischen Aufdampfprozeß, aufgebracht wird. Die dielektrische Schicht **105** ist wünschenswerterweise sehr dünn, typischerweise mit einer Dicke von näherungsweise 0,30 µm. Die dielektrische Schicht **105** ist mit einer Photoresistmaske, die einem UV-Licht ausgesetzt wurde, maskiert und in einem Plasmaätzprozeß eingebracht worden, der den Großteil der dielektrischen Schicht mit Ausnahme der „Tasten" des dielektrischen Materials in vorausgewählten Positionen auf der leitfähigen Schicht **103** entfernt. Natürlich sind diese Position vorbestimmt, um die Position von jeder Öffnung der Öffnungsplatte zu sein, die auf der Oberseite des Dorns zu erzeugen ist.

[0008] Dieser wiederverwendbare Dorn wird in ein Elektroformbad plaziert, indem die leitfähige Schicht **103** als eine Kathode bestimmt wird, während ein Basismaterial, typischerweise Nickel, als die Anode bestimmt wird. Während des Elektroformprozesses wird Nickelmetall von der Anode zur Kathode übertragen, und das Nickel (als Schicht **107** gezeigt) befestigt sich an den leitfähigen Bereichen der leitfähigen Schicht **103**. Da sich das Nickelmetall von jeder leitfähigen Platte des Dorns einheitlich plattiert, sobald die Oberfläche der dielektrischen Taste **105** erreicht worden ist, überplattiert das Nickel die dielektrische Schicht in einer einheitlichen und vorhersehbaren Weise. Die Parameter des Plattierungsprozesses einschließlich des Zeitpunkts der Plattierens werden sorgfältig gesteuert, so daß das Loch der Nickelschicht **107**, die über der dielektrischen Schichttaste **105** gebildet ist, ein vorbestimmter Durchmesser (typischerweise etwa 45 µm) an der dielektrischen Oberfläche ist. Dieser Durchmesser beträgt üblicherweise ein Drittel bis ein Fünftel des Durchmessers der dielektrischen Schichttaste **105**, was zu einer oberen Schicht des, Nickels **107** führt, die ein Loch an der inneren Oberfläche der Öffnungsplatte des Durchmessers d2 aufweist, der näherungsweise 3 bis 5 mal der Durchmesser von d1 des Lochs ist, was die Öffnungsapertur an der Außenoberfläche der Öffnungsplatte ist. Bei Beenden des elektrolosen Plattierungsprozesses wird die neu gebildete Öffnungsplatte von dem Dorn entfernt und für einen Korrosionswiderstand der Öffnung mit Gold plattiert. Eine zusätzliche Beschreibung der Metallöffnungsplattenherstellung ist in den US-Patenten Nr. 4.773,971; 5.167.776; 5.443.713 und 5.560.837 zu finden, die jeweils an die Anmelderin der vorliegenden Erfindung übertragen worden sind.

[0009] Die EP-419190 offenbart einen Tintenstrahldruckkopf, der ein erstes Bauglied, das mit einem Ausstoßenergie-Erzeugungselement zum Erzeugen von Energie versehen ist, die zum Ausstoßen von Tinte beiträgt; ein zweites Bauglied, das mit einer Ausnehmung zum Definieren eines Tintendurchlasses versehen ist, indem es mit dem ersten Bauglied gekoppelt ist, das dem Ausstoßenergie-Erzeugungselement entspricht; ein drittes Bauglied, das mit einem Ausstoßauslaß versehen ist, der mit dem Tintendurchlaß kommuniziert und durch den die Tinte ausgestoßen wird; wobei der Tintendurchlaß einen trapezförmigen Querschnitt aufweist, umfaßt.

[0010] Obgleich viele der vorstehenden Bezugnahmen zu einer kommerziell erfolgreichen Produktion und Produkten geführt haben, ist eine reduzierte Beabstandung zwischen jeder individuellen Öffnung erforderlich, um gedruckte Bilder einer höheren Qualität von dem Drucker, in dem der Druckkopf und seine zugeordnete Öffnungsplatte verwendet werden, zu erzeugen. Aufgrund dieser engeren Beabstandung der Öffnungen überlappt der Innendurchmesser d2 von einer Öffnungsbohrung mit dem Innendurchmesser d2 einer benachbarten Öffnung.

[0011] Diese Überlappung oder Interferenz wird verschlimmert, wenn nichtkreisförmige Öffnungen in der Öffnungsplatte verwendet werden und mit der Längsachse in der gleichen Richtung wie die Reihe der Abfeuerungswiderstände ausgerichtet sind. Dementsprechend führt eine Lösung für dieses Problem, die ein engeres Bepacken von nichtkreisförmigen Öffnungen verhindert, zu einem Drucken höherer Auflösung, verringertem Sprühnebel, der den Tintentröpfchen zugeordnet ist, und einer verbesserten Tintentröpfchenbahn.

Zusammenfassung der Erfindung

[0012] Gemäß einem breiten ersten Aspekt der Erfindung wird ein Druckkopf für einen Tintenstrahldrucker einschließlich Öffnungen geschaffen, aus denen Tinte ausgestoßen wird, wobei der Druckkopf folgende Merkmale aufweist: eine Tintenauswurfvorrichtung; und eine Öffnungsplatte mit zumindest einer Öffnung, die sich durch die Öffnungsplatte von einer ersten Oberfläche der Öffnungsplatte gegenüber der Tintenauswurfvorrichtung zu einer zweiten Oberfläche der Öffnungsplatte im wesentlichen parallel zu der ersten Oberfläche erstreckt, wobei die Öffnung eine Apertur an der zweiten Oberfläche mit einer ersten linearen Abmessung (a_H) parallel zu der zweiten Oberfläche und eine zweite lineare Abmessung (b_H) parallel zu der zweiten Oberfläche und senkrecht zu der ersten linearen Abmessung aufweist, wobei die erste lineare Abmessung eine größere Größe aufweist als die zweite lineare Abmessung, wobei die Apertur der Öffnung an der zweiten Oberfläche ferner

durch zumindest eine erste und eine zweite nichtkonvergierende nichtlineare Kante von der Seitenoberfläche definiert ist, die an einem Nicht-Endpunkt von jeder Kante um eine Entfernung der zweiten lineare Abmessung beabstandet ist und an allen anderen Punkten um eine Entfernung größer als das Minimum der zweiten linearen Abmessung beabstandet ist.

[0013] Gemäß einem zweiten breiten Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zum Betrieb eines Druckkopfs für einen Tintenstrahldrucker vorgesehen, der Öffnungen einsetzt, aus denen Tinte ausgestoßen wird, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist: Übertragen einer Geschwindigkeit auf eine Masse von Tinte; und Ausstoßen der Masse von Tinte von einer Öffnung einschließlich einer Apertur an der zweiten Oberfläche mit einer ersten linearen Abmessung (a_H) parallel zu der zweiten Oberfläche und einer zweiten lineare Abmessung (b_H) parallel zu der zweiten Oberfläche und senkrecht zu der ersten linearen Abmessung, wobei die erste lineare Abmessung einen größeren Betrag aufweist als die zweite lineare Abmessung, wobei die Apertur der Öffnung an der zweiten Oberfläche ferner durch eine erste und eine zweite nichtkonvergierende nichtlineare Kante von der zweiten Oberfläche definiert ist, die an einem Nicht-Endpunkt von jeder Kante um eine Entfernung von der zweiten Abmessung beabstandet ist und an allen anderen Punkten durch eine Entfernung größer als das Minimum der zweiten linearen Abmessung beabstandet ist.

[0014] Gemäß einem dritten Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zum Herstellen eines Druckkopfs für einen Tintenstrahldrucker vorgesehen, das folgende Schritte aufweist: Bilden einer Öffnungsplatte mit einer ersten Oberfläche und einer zweiten Oberfläche im wesentlichen parallel zu der ersten Oberfläche und zumindest einer Öffnung, die sich durch die Öffnungsplatte von der ersten Oberfläche zu einer zweiten Oberfläche erstreckt, wobei die Öffnung eine Apertur an der zweiten Oberfläche umfaßt, die mit einer ersten linearen Abmessung (a_H) parallel zu der zweiten Oberfläche und einer zweiten linearen Abmessung (b_H) parallel zu der zweiten Oberfläche und senkrecht zu der ersten linearen Abmessung gebildet ist, wobei die erste lineare Abmessung einen größeren Betrag aufweist als die zweite lineare Abmessung, wobei die Apertur durch zumindest eine erste und eine zweite nichtkonvergierende nichtlineare Kante von der zweiten Oberfläche definiert ist, die an einem Nicht-Endpunkt von jeder Kante um eine Entfernung der zweiten linearen Abmessung beabstandet ist und an allen anderen Punkten um eine Entfernung größer als die zweite Abmessung beabstandet ist; und Anbringen einer Tintenausstoßvorrichtung an die erste Oberfläche von der Öffnungsplatte, wodurch Tinte von der Apertur der zumindest einen Öffnung ausgestoßen wird.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0015] **Fig.** 1 ist ein Querschnitt einer Öffnungsplatte, die einen Dorn bildet, und einer Öffnungsplatte, die auf dem Dorn gebildet ist,

[0016] **Fig.** 2 ist eine Querschnittsansicht eines herkömmlichen Druckkopfs, der eine Tintenabfeuerungskammer zeigt,

[0017] **Fig.** 3 ist eine Draufsicht auf die äußere Oberfläche der Öffnungsplatte eines herkömmlichen Druckkopfs,

[0018] **Fig.** 4 ist eine Querschnittsansicht eines herkömmlichen Druckkopfs, der das Ausstoßen eines Tintentröpfchens darstellt,

[0019] **Fig.** 5 ist ein theoretisches Modell des Tröpfchenmeniskussystems, das beim Verständnis des Verhaltens der vorliegenden Erfindung nützlich sein kann,

[0020] **Fig.** 6 ist eine Reproduktion der nachteiligen Auswirkungen eines Sprühnebels und eines verlängerten Tröpfchenschweifs auf ein gedrucktes Medium,

[0021] **Fig.** 7A und 7B sind Draufsichten von der externen Oberfläche der Öffnungsplatte, die eine Öffnungsoberflächenapertur zeigt,

[0022] **Fig.** 8 ist eine Draufsicht von der externen Oberfläche der Öffnungsplatte, die eine Öffnungsoberflächenapertur zeigt, die bei der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann,

[0023] **Fig.** 9A und 9B sind Reproduktionen von Sprühnebeleffekten auf einem gedruckten Medium und die Verbesserung, die durch die vorliegende Erfindung angeboten wird,

[0024] **Fig.** 10 ist eine Technik zum Bilden einer Öffnungsapertur, die bei der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann,

[0025] **Fig.** 11 eine Technik zum Bilden einer Öffnungsapertur, die bei der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann,

[0026] **Fig.** 12 ist eine Draufsicht von der externen Oberfläche der Öffnungsplatte, die die Öffnungsoberflächenapertur und Öffnungsbohrung in Relation zu einer Tintenabfeuerungskammer darstellt, wie sie bei der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann.

Ausführliche Beschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels

[0027] Ein Querschnitt eines herkömmlichen Druckkopfs ist in **Fig.** 2 gezeigt. Ein Dünnfilmwiderstand **201** ist an der Oberfläche eines Halbleitersubstrats **203** gebildet und ist typischerweise mit den elektrischen Eingängen mittels einer Metallisierung (nicht gezeigt) auf der Oberfläche das Halbleitersubstrats **203** verbunden. Zusätzlich können verschiedene Schichten, die einen Schutz vor chemischen und mechanischen Angriffen bieten, über dem Heizelementwiderstand **203** plaziert sein, sind jedoch der Deutlichkeit halber in **Fig.** 2 nicht gezeigt. Eine Schicht eines Barrierematerials **205** wird selektiv auf der Ober-

fläche des Siliziumsubstrats 203 (oder weniger darauf) plaziert, wodurch ein Loch oder eine Tintenabfeuerungskammer **203** um den Heizelementwiderstand **203** belassen wird, so daß sich Tinte in der Abfeuerungskammer vor der Aktivierung des Heizelementwiderstands **203** und einem Ausstoßen von Tinte durch eine Öffnung **209** ansammeln kann. Das Barrierematerial für die Barriereschicht **205** ist herkömmlicherweise von der Marke Parad®, das von der Firma E. I. DuPont De Nemours und Company erhältlich ist, oder ein ähnliches Material. Die Öffnung **209** ist ein Loch in der Öffnungsplatte **107**, das sich von der Innenoberfläche der Öffnungsplatte zur Außenoberfläche der Öffnungsplatte erstreckt und das als Teil der Öffnungsplatte, wie vorstehend beschrieben, gebildet sein kann.

[0028] **Fig.** 3 ist eine Draufsicht auf einen herkömmlichen Druckkopf (wobei der Abschnitt A-A von **Fig.** 2 angezeigt wird), wobei die Öffnung **209** von der externen Oberfläche **213** der Öffnungsplatte **107** betrachtet wird. Ein Tintenzuführkanal **301** liegt in der Barriereschicht **205** vor, um Tinte an die Tintenabfeuerungskammer von einer größeren Tintenquelle (nicht gezeigt) zu liefern. **Fig.** 5 stellt die Konfiguration von Tinte in einem Tintentröpfchen **402** zu einem Zeitpunkt **22** Mikrosekunden, nachdem die Tinte von der Öffnung **208** ausgestoßen worden ist, dar. Bei herkömmlichen Öffnungsplatten (bei denen kreisförmige Öffnungsaperturen verwendet werden) behält das Tintentröpfchen **405** einen langen Schweif **403** bei, der sich, wie zu sehen ist, zurück zu zumindest der Öffnung **209** in der Öffnungsplatte **107** erstreckt.

[0029] Nachdem das Tröpfchen **401** die Öffnungsplatte verläßt und die Blase einer verdampften Tinte, die das Tröpfchen ausstoßt, zusammenbricht, ziehen Kapillarkräfte Tinte von der Tintenquelle durch den Tintenzuführkanal **301**. In einem unterkritisch gedämpften System eilt die Tinte zurück in die Abfeuerungskammer, so schnell, daß sie die Abfeuerungskammer **207** überfüllt, wodurch ein anschwellender Meniskus erzeugt wird. Der Meniskus oszilliert mehrere Zyklen lang dann um seine Gleichgewichtslage, bevor er sich ansiedelt. Zusätzliche Tinte in dem anschwellenden Meniskus trägt zu dem Volumen eines Tintentröpfchens bei, sollte ein Tröpfchen ausgestoßen werden, während der Meniskus anschwillt.

[0030] Ein eingezogener Meniskus reduziert das Volumen des Tröpfchens, sollte das Tröpfchen während dieses Teils des Zyklus ausgestoßen werden. Druckkopfentwickler haben die Dämpfung des Tintenwiederbefüllungs- und des Meniskussystems durch Erhöhen des Fluidwiderstands des Tintenwiederbefüllungskanals verbessert und optimiert. Typischerweise ist diese Verbesserung durch Verlängern des Tintenwiederbefüllungskanals, Verringern des Tintenwiederbefüllungskanalquerschnitts oder durch Erhöhen der Viskosität der Tinte erreicht worden. Ein solcher Anstieg im Tintenwiederbefüllungs-Fluidwiderstand führt häufig zu langsameren Wiederbefüllungszeiten und einer reduzierten Rate eines Tröpfchenausstoßes und einer Druckgeschwindigkeit.

[0031] Eine vereinfachte Analyse des Meniskussystem ist ein solches wie das mechanische Modell, das in **Fig.** 5 gezeigt ist, bei dem eine Masse **501**, die gleich der Masse des ausgestoßenen Tröpfchens ist, mit einer feststehenden Struktur **503** durch eine Feder **505**, die eine Federkonstante K aufweist, proportional zum Kehrwert des effektiven Radius der Öffnung, gekoppelt wird. Die Masse **503** wird ebenfalls mit der feststehenden Struktur **503** durch eine Dämpfungsfunktion 507 gekoppelt, die auf den Kanalfluidwiderstand und andere Tintenkanalcharakteristika bezogen ist. Bei der vorliegenden Konfiguration ist die Tropfengewichtsmasse **501** proportional zum Durchmesser der Öffnung. Wenn der Wunsch besteht, die Charakteristika und das Verhalten des Meniskus zu steuern, kann man somit den Dämpfungsfaktor der Dämpfungsfunktion **507** durch Optimieren des Tintenkanals oder durch Einstellen der Federkonstante der Feder **505** in dem mechanischen Modell einstellen.

[0032] Wenn das Tröpfchen **401** aus der Öffnung ausgestoßen wird, wird ein Großteil der Masse des Tröpfchens in dem vorauseilenden Kopf des Tröpfchens **401** einbehalten, und die höchste Geschwindigkeit ist in der Masse vorzufinden. Der verbleibende Schweif **403** enthält eine Minderheit der Masse von Tinte und weist eine Verteilung der Geschwindigkeit auf, die von nahezu derselben wie der Tintentröpfchenkopf bei einer Position nahe des Tintentröpfchenkopfs zu einer Geschwindigkeit reicht, die geringer als die Geschwindigkeit der Tinte ist, die an dem Tintentröpfchen vorzufinden ist und sich am nächsten zur Öffnungsapertur befindet. Zu einem gewissen Zeitpunkt während des Transits des Tröpfchens wird die Tinte in dem Schweif zu einem Punkt gedehnt, wo der Schweif von dem Tröpfchen abgebrochen wird. Ein Abschnitt der Tinte, die in dem Schweif verbleibt, wird zurück zum Druckkopf-Öffnungsplatte **107** gezogen, wo sie typischerweise Pfützen von Tinte bildet, die die Öffnung umgeben. Diese Tintenpfützen vermindern die Qualität des gedruckten Materials, indem eine Fehlleitung der nachfolgenden Tintentröpfchen bewirkt wird. Andere Teile des Tintentröpfchenschweifs werden in dem Tintentröpfchenkopf absorbiert, bevor das Tintentröpfchen auf das Medium aufgebracht wird. Schließlich kehrt weder ein Teil der Tinte, die in dem Tintentröpfchenschweif vorzufinden ist, zum Druckkopf zurück noch verbleibt er oder wird in dem Tintentröpfchen absorbiert, sondern erzeugt einen feinen Sprühnebel von Teiltröpfchen, die sich in eine willkürliche Richtung ausbreiten. Ein Teil dieses Sprühnebels erreicht das Medium, auf dem das Drucken erfolgt, wodurch unebene Kanten an den Punkten produziert werden, die durch das Tintentröpfchen gebildet sind, und unerwünschte Punkte auf dem Medium plaziert werden, was die Deutlichkeit des gewünschten gedruckten Materials vermindert. Ein solches unerwünschtes Ergebnis ist in der vergrößerten Darstellung der ge-

druckten Punkte in **Fig.** 6 gezeigt.

[0033] Es ist festgestellt worden, daß der Austrittsbereich der Öffnungsapertur **209** zur externen Umgebung das Tropfengewicht des ausgestoßenen Tintentröpfchens definiert. Es ist ferner festgestellt worden, daß die Wiederherstellungskraft des Meniskus (Konstante K in dem Modell) teilweise durch die Proximität der Kanten der Öffnungsapertur bestimmt ist. Um die Steifigkeit des Meniskus zu erhöhen, sollten die Seiten und die Öffnung des Öffnungsbohrunglochs somit so nah beieinander wie möglich gestaltet sein. Dies steht natürlich im Gegensatz zu der Notwendigkeit, ein gegebenes Tropfengewicht für das Tröpfchen (das durch den Austrittsbereich der Öffnung bestimmt ist) beizubehalten. Eine größere Rückstellkraft auf dem Meniskus, die durch die nichtkreisförmige Geometrie geliefert wird, bewirkt, daß der Schweif des Tintentröpfchens schneller und viel näher an der Öffnungsplatte abgebrochen wird, was zu einem kürzeren Tintentröpfchenschweif und einem beträchtlich vermainderten Sprühnebel führt.

[0034] Einige nichtkreisförmige Öffnungen, die verwendet werden können, um den Sprühnebel zu vermindern, sind längliche Aperturen mit einer Hauptachse und einer Nebenachse, wobei die Hauptachse von einer größeren Abmessung als die Nebenachse ist und beide Achsen parallel zu der äußeren Oberfläche der Öffnungsplatte sind. Solche länglichen Strukturen können Rechtecke und Parallelogramme oder Ovale, wie z. B. Ellipsen und parallelseitige Rennbahnstrukturen, sein. Unter Verwendung der Tinte, die einer Druckkassette der Modellnummer HP51649A (die von der Hewlett-Packard Company erhältlich ist) enthalten ist, und Öffnungsaperturbereichen, die gleich dem Bereich der Öffnungsaperturbereich sind, der bei der HP51649A-Kassette verwendet wird, wurde festgestellt, daß Ellipsen mit einem Hautachse-zu-Nebenachse-Verhältnis von 2 : 1 bis 5 : 1 die gewünschte Meniskussteifigkeit und einen Ausstoß von Tintentröpfchen mit kleinem Schweif demonstrierten.

[0035] **Fig.** 7A bis 7B sind Draufsichten auf die Öffnungsplattenaußenoberfläche, die die verschiedenen Typen von Öffnungsbohrlochabmessungen darstellen. **Fig.** 7A stellt eine kreisförmige Öffnung mit einem Radius r an der Außenabmessung und einer Differenz im Radius zwischen der Außenabmessung r und der Öffnung zur Abfeuerungskammer vom Wert r_2 dar. Bei der HP51649A-Kassette ist r = 17,5 µm und r_2 = 45 µm. Dies ergibt einen Aperturbereich an der Öffnungsplattenaußenoberfläche ($r^2 \cdot \pi$) von 962 μm^2. **Fig.** 7B stellt eine ellipsenförmige Außenöffnungsaperturgeometrie dar, bei der das Hauptachsen-/Nebenachsenverhältnis gleich 2 : 1 ist und, um ein gleichmäßiges Tröpfchenfallgewicht beizubehalten, wird der Außenbereich der Öffnungsöffnung bei 962 μm^2 beibehalten. Anhand der Formel für den Bereich der Ellipse ($A = \pi \cdot a \cdot b$) sind die Haupt- und Nebenachsen (a, b,) der Ellipse somit jeweils 28,5 µm und 12,4 µm für die 2 : 1-Ellipse.

[0036] Wie vorstehend angedeutet, ist der Hauptbegünstiguizgsfaktor für ein besseres Schweifabbrechen und eine anschließende Sprühnebelreduktion die Verringerung der Größe der Hauptachse der Ellipse. Innerhalb des Bereichs der Achsenverhältnisse von 2 : 1 zu näherungsweise 5 : 1 wird eine Minderung des Sprühnebels beobachtet. Ein Nachteil, der auch vorstehend angemerkt wurde, ist, daß die elliptischen Öffnungsoberflächenöffnungslöcher ein entsprechend größeres Loch an der Innenoberfläche der Öffnungsplatte (an der Tintenabfeuerungskammer) aufweisen. Diese Innenöffnungen überlappen und interferieren, wenn die Öffnungen für eine verbesserte Druckauflösung eng voneinander beabstandet sind. Diese Interferenzen nehmen die Form einer Tinte von einer Abfeuerungskammer, die in eine benachbarte Abfeuerungskammer geblasen wird, oder andere subtile, jedoch nachteilige Effekte an.

[0037] Um das Interferenzproblem zu lösen ist die Ellipse in der Hauptachsenrichtung verzerrt worden, um im wesentlichen eine Halbmond- oder Viertelmondform zu erzeugen. Die Nebenachsenabmessung wird beibehalten, und die effektive Hauptachse wird bei dieser Halbmondform gekürzt, während der Gesamtöffnungsaperturbereich konstant bleibt. Eine entsprechende Sprühnebelreduktion wird weiterhin unter Verwendung einer Halbmondöffnungsöffnungslochform erreicht. Die Halbmondform führt jedoch ein anderes Problem in die Qualität des Drucks ein, das bei dieser Form von Druckkopf realisiert wird. Die Bahn der Tintentröpfchen, die die Öffnungsplatte verlassen, ist nicht senkrecht zur Öffnungsplatten-Oberfläche, sondern senkrecht zur Richtung des Negativradius einer Krümmungsoberfläche der Öffnungsapertur geneigt.

[0038] Um das Bahnproblem der Halbmond-Öffnungsaperturform zu lösen, wird eine andere Form, die eine Symmetrie liefert, erzeugt, indem zwei Halbmondformen überlappt werden, wobei die Teilkreise des Halbmonds voneinander abgewandt sind. Eine solche Form ist in **Fig.** 8 dargestellt. Diese modifizierte Öffnungsaperturform gilt als „Sanduhrform". Bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist die modifizierte Hauptachse (b_H) bei 26 µm eingestellt worden, während die modifizierte Hauptachse (a_H) bei 69 µm festgelegt worden ist. Die Kanten, die die modifizierte Hauptachse definieren, weisen einen Krümmungsradius (r_H) von näherungsweise 47 µm auf. Diese einzigartige Öffnungsaperturform behält die schmale Nebenachsenöffnung bei, während die notwendige Hauptachsenabmessung, die für den festgelegten Öffnungsaperturbereich erforderlich ist, reduziert wird. Die Hauptachse einer reduzierten Abmessung ermöglicht eine engere Beabstandung der Öffnungen, als ansonsten mit einer Ellipse des gleichen Öffnungsaperturbereichs erreicht werden könnte. Ferner liefert die Sanduhröffnungsaperturform eine Symmetrie um sowohl die Haupt- als auch die Nebenachse und löst das Problem eines Bahnfehlers eines Tintentröpfchens. Die durch die sanduhrförmige Öff-

nungsapertur erreichte Verbesserung gegenüber einem herkömmlichen kreisförmigen Loch wird durch Vergleich von **Fig.** 9B zu 9A deutlich. Die stark vergrößerten Buchstaben von **Fig.** 9B zeigen kaum fehlerhafte Tröpfchen, die im Druck von **Fig.** 9A zu sehen sind.

[0039] Wie vorstehend beschrieben, wird die Öffnungsplatte herkömmlich durch ein Elektroplattieren von Nickel oder einem ähnlichen Metall auf einem Dorn und dann Plattieren der Öffnungsplatte mit einem chemisch widerstandsfähigen Material, wie z. B. Gold, gebildet. Bisher ist bekanntermaßen eine nichtleitende Taste in der Form des gewünschten Endresultats verwendet worden: die kreisförmige Öffnungsapertur. Um ein sanduhrförmiges Öffnungsloch zu erzeugen, wurde jedoch bestimmt, daß eine Taste mit einer Form verwendet werden könnte, die weniger aufwendig ist als eine Sanduhrform. Da während des Elektroplattierens das Öffnungsplatten-Basismetall einheitlich in jede verfügbare Richtung von einer leitenden Oberfläche (einschließlich ihrer eigenen Oberfläche) anwächst, könnten Details in der Form der nichtleitenden Taste durch das anwachsende Basismetall unkenntlich gemacht werden. Desgleichen kann ein Detail. in der Tastenform in eine gänzlich unterschiedliche Form umgewandelt werden, während das Basismetall anwächst. Es wird erneut Bezug auf **Fig.** 1 genommen, bei der das Basismetall 107 über der oberen Oberfläche der nichtleitenden isolierenden Taste **105** anwächst. Bei Betrachtung der Draufsicht kann ein Detail im Umriß der Taste **107** unkenntlich gemacht oder in andere Formen umgewandelt werden, während das Basismetall **107** über die obere Oberfläche des isolierenden Knopfs **105** wächst.

[0040] Es ist festgestellt worden, daß eine Analysetechnik, die eine Familie von Kreisen mit einem Durchmesser gleich dem gewünschten Basismetallwachstum verwendet, in der gleichen Ebene und tangential zum Außenumriß der gewünschten Öffnungsform plaziert werden kann. Wenn der Punkt auf dem Umfang des Kreises, der gegenüber dem Punkt der Berührung liegt und der die gleiche Durchmesserlinie verwendet, mit jedem anderen ähnlichen Punkt der Familie von Kreisen vereint wird, wird die Form, die die nichtleitende Taste annehmen muß, offenbart. Ein alternatives Verfahren verwendet Radiusbögen, die von allen oder einer repräsentativen Anzahl von Punkten auf dem Außenumriß der Ausgangsform gezogen werden. Der Endpunkt des Radius von jedem Bogen (senkrecht zu einer Linie, die tangential zu dem Punkt der Ausgangsumriß gezogen ist) definiert einen Punkt auf der Öffnungsform, der resultiert, nachdem der Plattierungsprozeß abgeschlossen worden ist. Unter Bezugnahme auf **Fig.** 10 kann die Technik, die die Familie von Kreisen verwendet, besser visualisiert werden.

[0041] In **Fig.** 10 wird die Sanduhrform der Öffnungsapertur bei 1001 identifiziert. Eine Familie von Kreisen mit einem Radius gleich dem gewünschten Wachstum des Basismetalls wird durch Kreis **1003** dargestellt. Der Umriß der nichtleitenden Taste ist als 1005 gezeigt. Jeder Kreis der Familie von Kreisen ist mit der Sanduhröffnungsform an einem Punkt entlang der Kante der Sanduhrform tangent gestaltet. Indem der Punkt direkt über dem Durchmesser von jedem Kreis genommen wird und diese Punkte verbunden werden, ergibt sich die Form einer nichtleitenden Taste. Ist man mit komplexeren Öffnungsformen konfrontiert, ist festgestellt worden, daß die Form der nichtleitenden Taste nicht mit der Form der Öffnung identisch sein muß. Es ist zu beobachten, daß die Teilkreise der Sanduhrform **1001**, die Anzahl von Kreisen, die zum Definieren der Form notwendig sind, abnimmt.

[0042] **Fig.** 11 stellt die notwendigen Konstruktionskreise dar, die zum Erzeugen des Öffnungslochs **1001** notwendig sind. Ein Verbinden der Punkte auf dem Umfang gegenüber dem Punkt der Berührung ergibt einen minimalen Tastenumriß, der zum Erzeugen des gewünschten Sanduhröffnungslochs notwendig ist. Diese Umrißkonfigurationen umfassen einen Bogen **1101** und einen Bogen **1103**, um die Kanten zu erzeugen, die die Abschlußpunkte der Hauptachse und der parabolischen Abschnitte **1105** und **1107** bilden, um die Kanten zu erzeugen, die die Enden der Nebenachsen bilden. Solange sich der Rest des Tastenumrisses nicht der gewünschten Öffnungsform als ein Kreisdurchmesser nähert, bleibt die Sanduhröffnungsform, die durch ein Elektroplattieren einer Öffnungsplatte erzeugt wird, vom Tastenumriß mit Ausnahme der identifizierten Bögen und der Parabolabschnitte unabhängig.

[0043] Die Umrißunabhängigkeit wird bei einem Ausführungsbeispiel der Erfindung verwendet, um eine verbesserte Haftfähigkeit der Öffnungsplatte am Barrierematerial zu liefern, und ermöglicht der Abfeuerungskammer, mit einem größeren Tintenvolumen konzipiert zu werden. **Fig.** 12 stellt den Druckkopf dar, der erhalten wird, wenn die nichtleitende Porntastenform teilweise von der Öffnungsoberflächenlochform unabhängig ist. Die Öffnungsapertur **1001** und die Tastenform 1201 sind der Übersichtlichkeit halber in einer durchgehenden Linie gezeigt, obwohl das Öffnungsloch **1101** auf der Außenoberfläche der Öffnungsplatte positioniert ist und die Tastenform auf der Innenoberfläche der Öffnungsplatte positioniert ist. Das Bohrungsloch der Öffnung verändert sich von der Tastenform **1201** zur sanduhrförmigen Apertur **1001**, wenn man das Öffnungsbohrungsloch, das an der Tintenabfeuerungskammer beginnt und sich zur Öffnung an der Oberfläche der Öffnungsplatte bewegt, betrachtet. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist die Konfiguration des Barriereschichtrnaterials in gestrichelten Linien gezeigt. Eine Insel eines Barrierematerials **1203** teilt den Tinteneinlaß zur Abfeuerungskammer **1205** in zwei Tintenkanäle **1207** und **1209**, und der Rest der Abfeuerungskammer **1205** wird durch die Wände des Barrierematerials **1211**, **1213**, **1215** etc. definiert. Die verbesserten Kontaktbereiche zwischen dem Barriereschichtmaterial und

der Öffnungsplatte werden in der Zone um die Barriereinsel **2103** realisiert (und weiterhin mit gestrichelter Linie, die den hypothetischen kreisförmigen Knopfumriß darstellt, dargestellt). Dieser verbesserte Kontaktbereich ist ein Ergebnis des Potenzierens der Tastenform in Abschnitten, die ansonsten kreisförmig wären, um der viereckigen Implementierung des Barrieremeterials besser zu entsprechend, und liefert einen rechteckigen Querschnitt am Substrat, der selbst bei einer Fehlausrichtung der Öffnungsplatte nicht variiert. Ferner liefert die Viereckssimplementierung ein erhöhtes Tintenvolumen in der Abfeuerungskammer. Somit ermöglicht die vorliegende Erfindung eine engere Beabstandung von Öffnungen mit einem verminderten Sprühnebel und einer verbesserten Tintentröpfchenbahn.

Patentansprüche

1. Ein Druckkopf für einen Tintenstrahldrucker, der Öffnungen umfaßt, aus denen Tinte ausgestoßen wird, der folgende Merkmale aufweist:
eine Tintenauswurfeinrichtung (**201**, **207**); und
eine Öffnungsplatte (**107**), die zumindest eines Öffnung aufweist, die sich durch die Öffnungsplatte von einer ersten Oberfläche der Öffnungsplatte gegenüber der Tintenauswurfeinrichtung zu einer zweiten Oberfläche der Öffnungsplatte im wesentlichen parallel zur ersten Oberfläche erstreckt, wobei die Öffnung eine Apertur (**1001**) an der zweiten Oberfläche mit einer ersten direkten Abmessung (a_H) parallel zu der zweiten Oberfläche und einer zweiten direkten Abmessung (b_H) parallel zu der zweiten Oberfläche und senkrecht zu der ersten direkten Abmessung umfaßt, wobei die erste direkte Abmessung größer ist als die zweite direkte Abmessung, wobei die Apertur der Öffnung an der zweiten Oberfläche ferner durch zumindest eine erste und eine zweite nichtkonvergierende, nichtgeradlinige Kante der zweiten Oberfläche definiert ist, die an einem Nicht-Endpunkt von jeder Kante um einen Abstand der zweiten direkten Abmessung voneinander beabstandet sind und an allen anderen Punkten um einen Abstand größer als das Minimum der zweiten direkten Abmessung voneinander beabstandet sind.

2. Ein Druckkopf gemäß Anspruch 1, bei dem die Öffnung ferner eine Apertur (**1201**) an der ersten Oberfläche aufweist, die eine geometrische Form aufweist, die nichtkongruent und nichtidentisch zu der geometrischen Form der Apertur an der zweiten Oberfläche ist.

3. Ein Druckkopf gemäß Anspruch 2, bei dem die Tintenauswurfvorrichtung ferner eine Tintenauswurfkammer einer vorbestimmten Kammerform aufweist, die mit der zumindest einen Öffnung gekoppelt ist, wobei die Aperturform der ersten Oberfläche zumindest einen ersten Abschnitt aufweist, der mit einem Abschnitt der vorbestimmten Kammerform übereinstimmt, und zumindest einen zweiten Abschnitt, der mit einem Abschnitt der geometrischen Form der zweiten Apertur übereinstimmt.

4. Ein Verfahren zum Betreiben eines Druckkopfs für einen Tintenstrahldrucker, der Öffnungen verwendet, aus denen Tinte ausgestoßen wird, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:
Übertragen einer Geschwindigkeit auf eine Masse von Tinte; und
Ausstoßen der Masse von Tinte aus einer Öffnung, die eine Apertur an der zweiten Oberfläche mit einer ersten direkten Abmessung (h_H) parallel zu der zweiten Oberfläche und eine zweite direkte Abmessung (b_H) parallel zu der zweiten Oberfläche und senkrecht zu der ersten direkten Abmessung umfaßt, wobei die erste direkte Abmessung größer ist als die zweite direkte Abmessung, wobei die Apertur der Öffnung an der zweiten Oberfläche ferner durch eine erste und eine zweite nichtkonvergierende, nichtgeradlinige Kante der zweiten Oberfläche definiert ist, die an einem Nicht-Endpunkt von jeder Kante um einen Abstand der zweiten Abmessung voneinander beabstandet sind und an allen anderen Punkten um einen Abstand größer als das Minimum der zweiten direkten Abmessung voneinander beabstandet sind.

5. Ein Verfahren zum Betreiben eines Druckkopfs gemäß Anspruch 4, bei dem der Schritt des Ausstoßens der Masse von Tinte ferner den Schritt des Umfassens einer ersten Apertur (**1001**) an der zweiten Oberfläche mit einer ersten geometrischen Form und einer zweiten Apertur (**1201**) an der ersten Oberfläche mit einer zweiten geometrischen Form aufweist, wobei die erste geometrische Form und die zweite geometrische Form nichtkongruent und nichtidentisch sind.

6. Ein Verfahren zum Fertigen eines Druckkopfs für einen Tintenstrahldrucker, das folgende Schritte aufweist:
Bilden einer Öffnungsplatte (**107**) mit einer ersten Oberfläche und einer zweiten Oberfläche, die im wesentlichen parallel zu der ersten Oberfläche ist, und zumindest einer Öffnung, die sich durch die Öffnungsplatte von der ersten Oberfläche zu einer zweiten Oberfläche erstreckt, wobei die Öffnung eine Apertur an der zweiten Oberfläche umfaßt, die mit einer ersten direkten Abmessung (a_H) parallel zu der zweiten Oberfläche und einer zweiten direkten Abmessung (b_H) parallel zu der zweiten Oberfläche und senkrecht zu der ersten direkten Abmessung gebildet ist, wobei die erste direkte Abmessung größer ist als die zweite direkte Abmessung, wobei die Apertur durch zumindest eine erste und eine zweite nichtkonvergierende, nichtgeradlinige Kante der zweiten Oberfläche definiert ist, die an einem Nicht-Endpunkt jeder Kante um einen Abstand der zweiten direkten Abmessung voneinander beabstandet sind und an allen anderen Punkten um einen Abstand größer als

die zweite Abmessung voneinander beabstandet sind; und
Anbringen einer Tintenauswurfeinrichtung (**201**, **207**) an der ersten Oberfläche der Öffnungsplatte, wodurch Tinte aus der Apertur der zumindest einen Öffnung ausgestoßen wird.

7. Ein Verfahren gemäß dem Verfahren von Anspruch 6, bei dem der Schritt des Anbringens ferner die Schritte des Bildens einer Tintenauswurfkammer (**207**) einer vorbestimmten Kammerform aufweist, die mit der zumindest einen Öffnung gekoppelt ist, und bei dem der Schritt des Bildens einer Öffnungsplatte ferner den Schritt des Bildens der Öffnung aufweist, um eine Apertur an der ersten Oberfläche mit einer Form aufzuweisen, die zumindest einen ersten Abschnitt aufweist, der mit einem Abschnitt der Kammerform der Tintenauswurfkammer übereinstimmt, und zumindest einen zweiten Abschnitt aufweist, der mit einem Abschnitt der geometrischen Form der Apertur der zweiten Oberfläche übereinstimmt.

8. Ein Verfahren zum Fertigen eines Druckkopfs für einen Tintenstrahldrucker gemäß Anspruch 6, bei dem der Schritt des Bildens einer Öffnungsplatte ferner den Schritt des Umfassens einer ersten Apertur (**1001**) an der zweiten Oberfläche, die eine erste geometrische Form aufweist, und einer zweiten Apertur (**1201**) an der ersten Oberfläche, die eine zweite geometrische Form aufweist, aufweist, wobei die erste geometrische Form und die zweite geometrische Form nichtkongruent und nichtidentisch sind.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

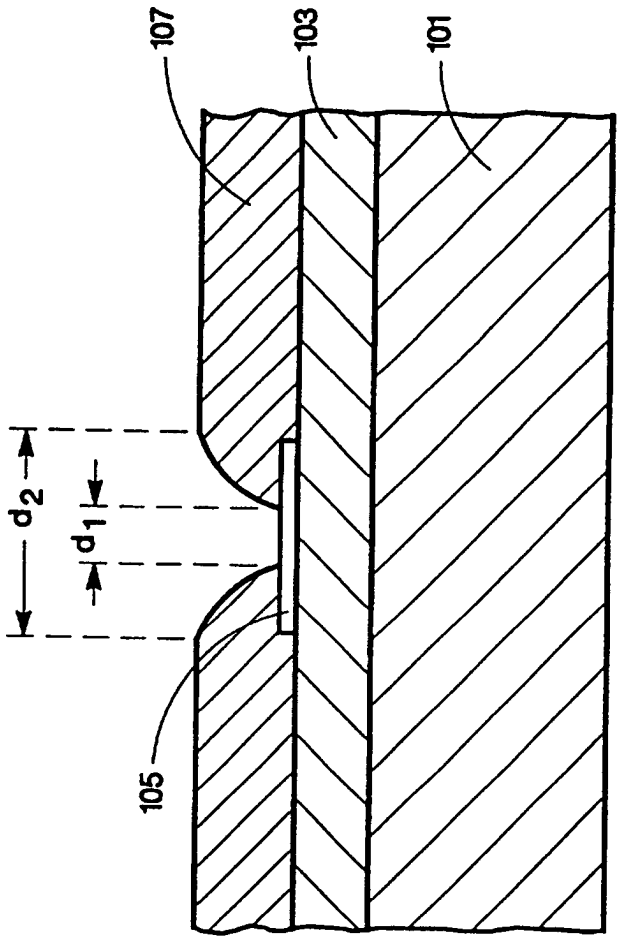

Fig. 1

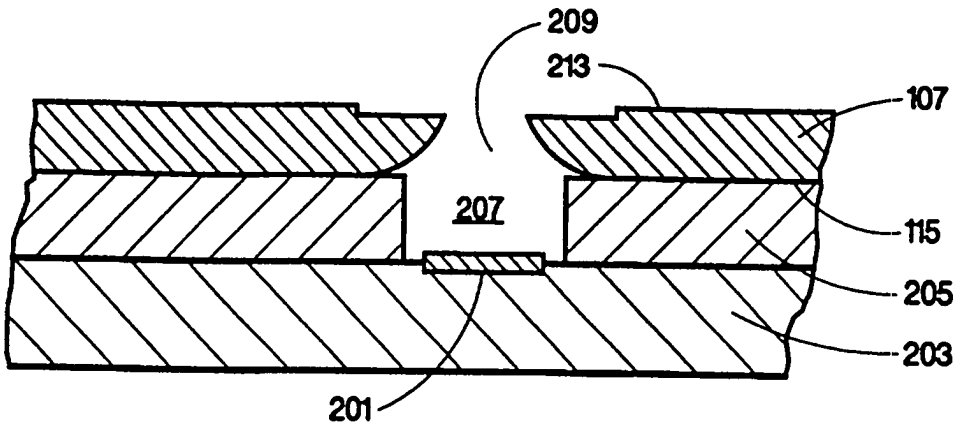

Fig. 2

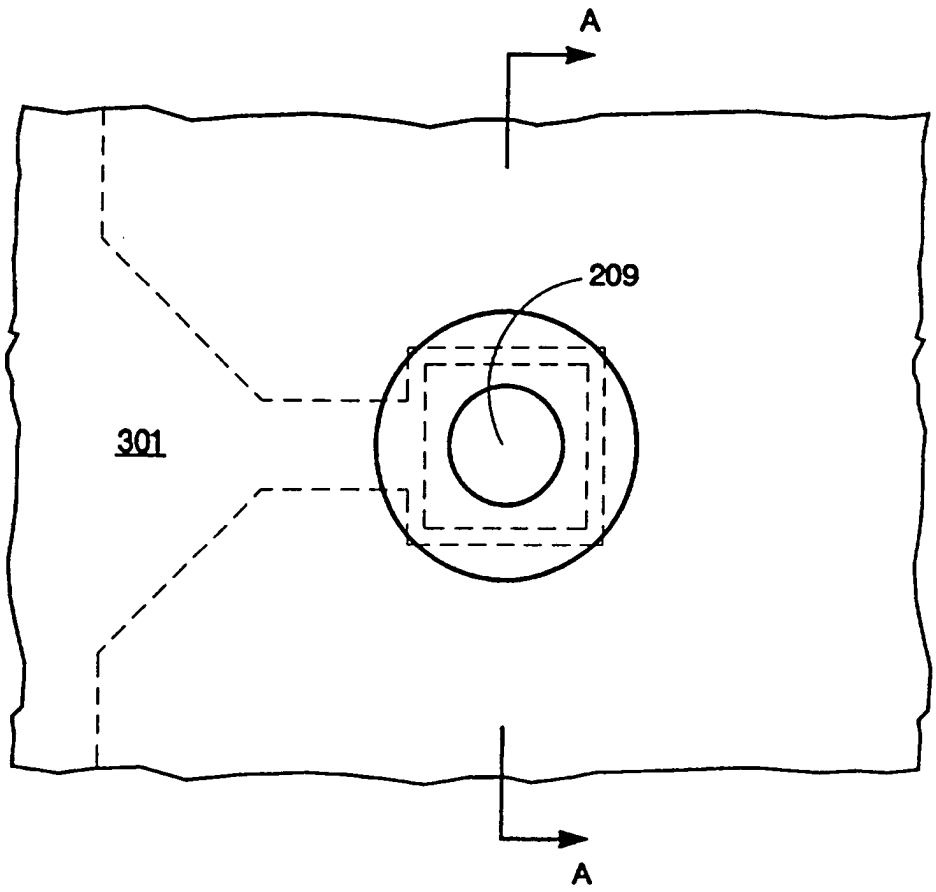

Fig. 3

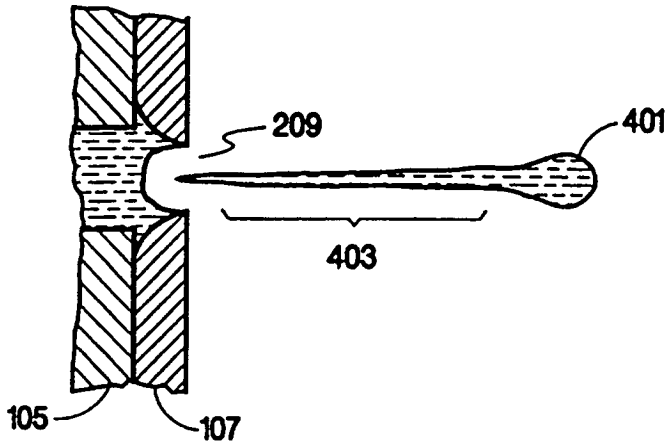

Fig. 4

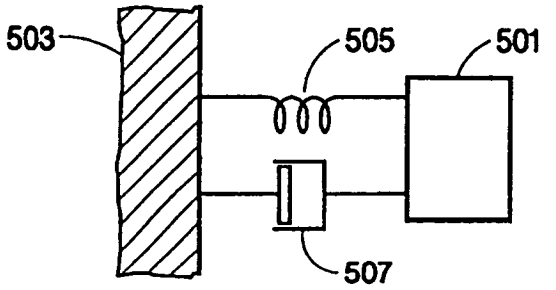

Fig. 5

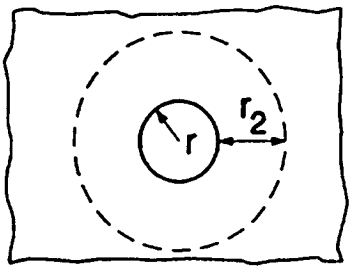

Fig. 7A

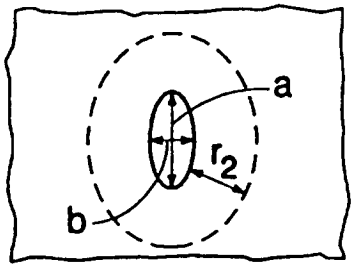

Fig. 7B

Fig. 8

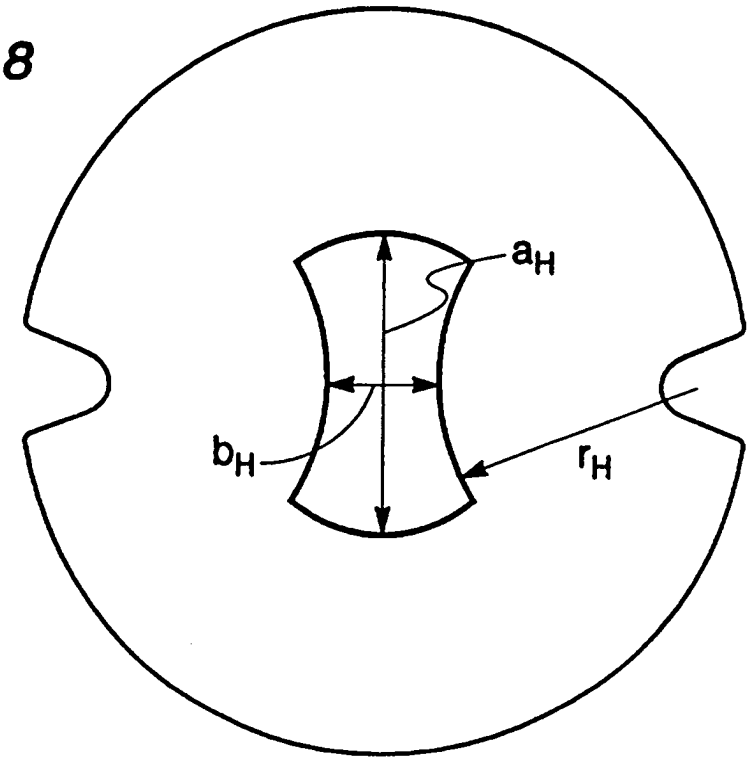

Fig. 6

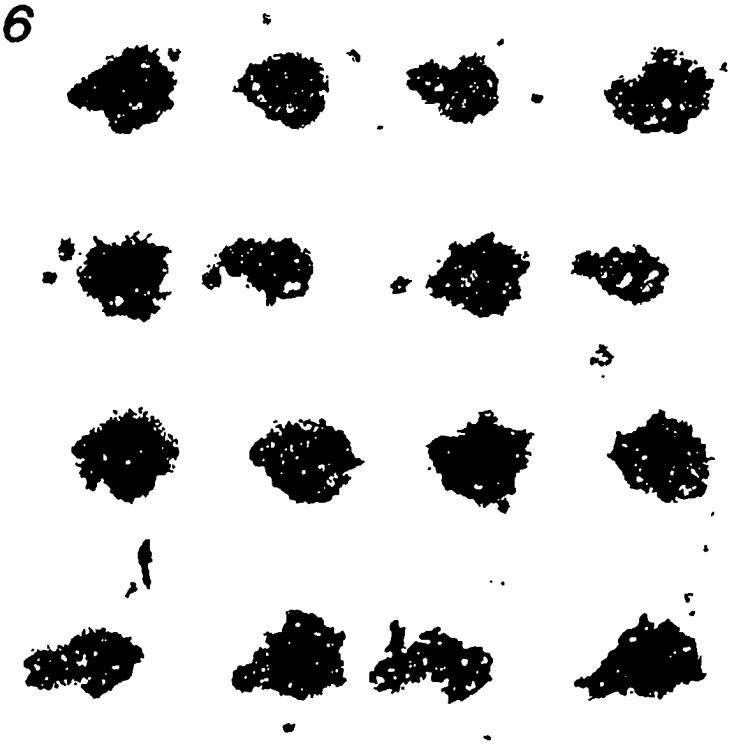



Fig. 9A



Fig. 9B

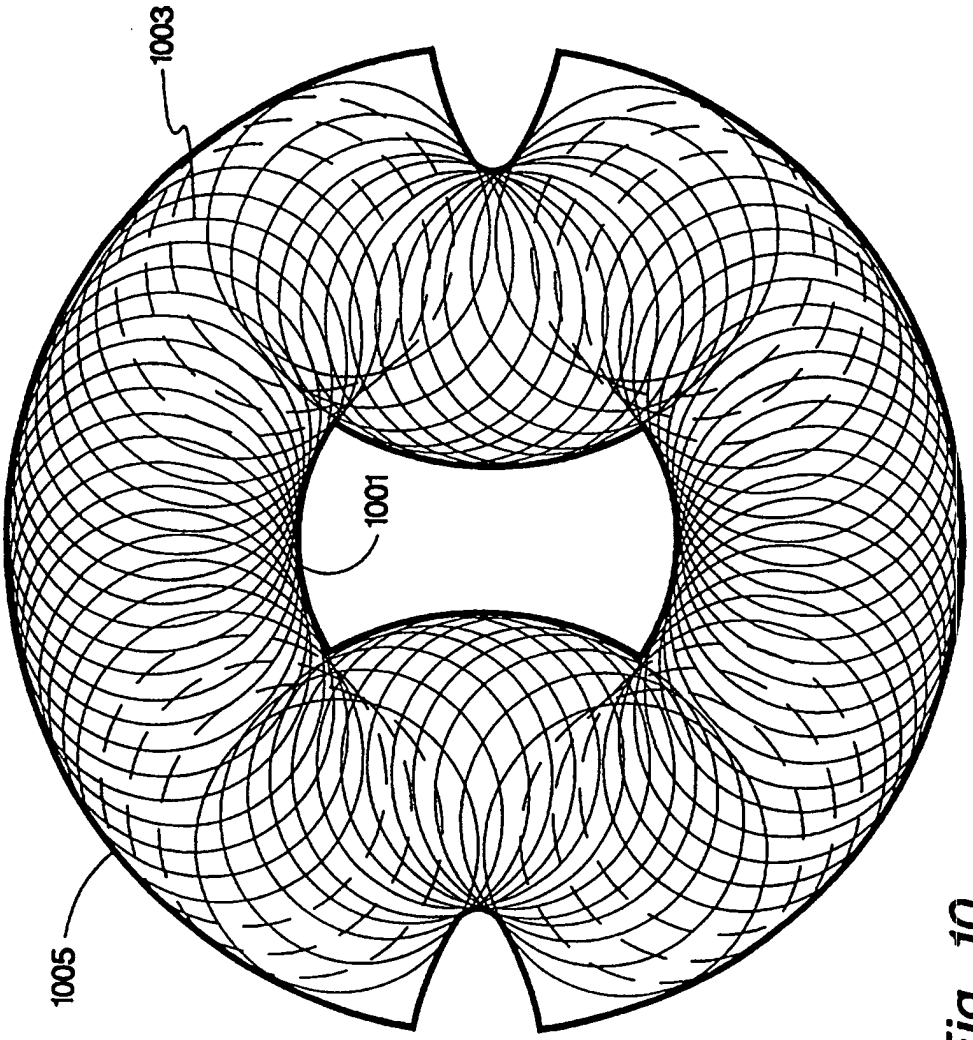

Fig. 10

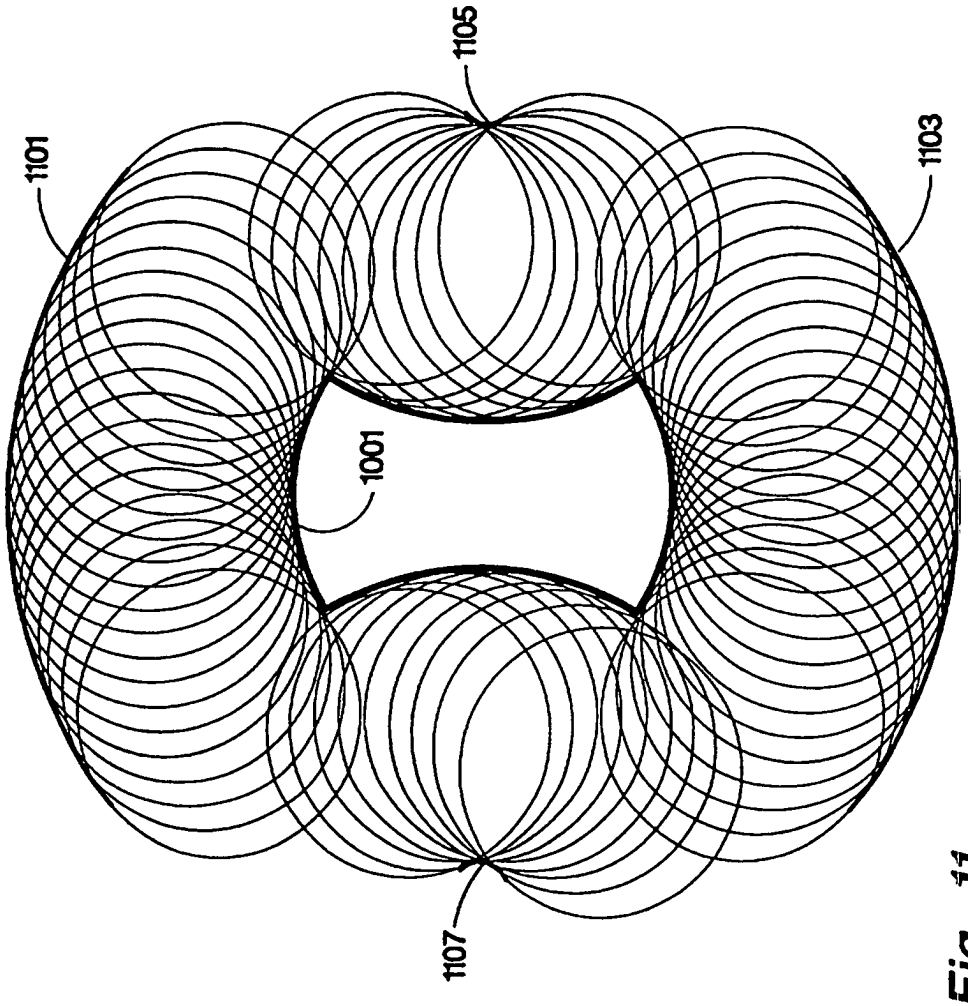

Fig. 11

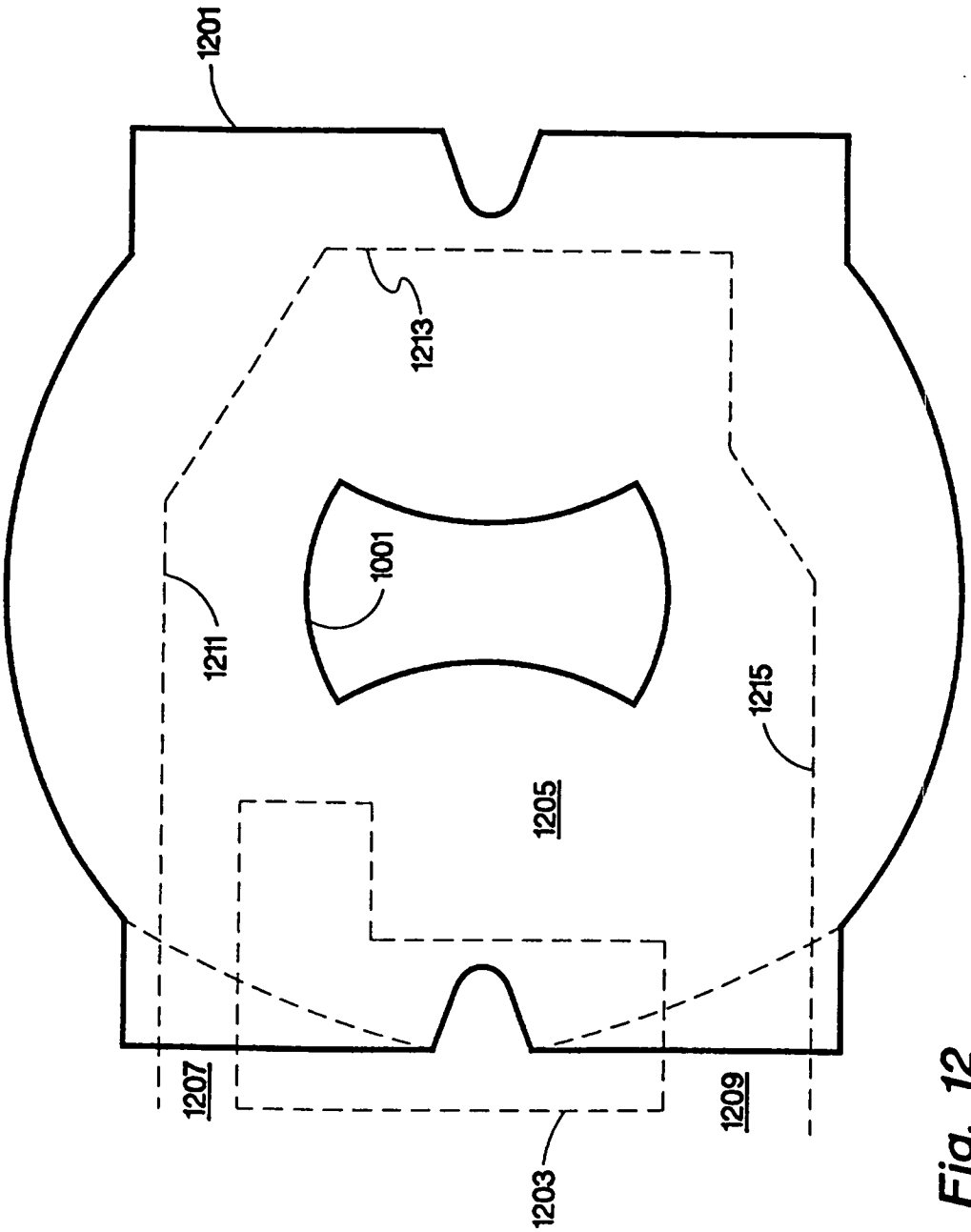

Fig. 12