

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4498084号
(P4498084)

(45) 発行日 平成22年7月7日 (2010.7.7)

(24) 登録日 平成22年4月23日 (2010.4.23)

(51) Int. Cl.	F I
B 0 5 C 5/00 (2006.01)	B 0 5 C 5/00 1 0 1
B 4 1 J 2/06 (2006.01)	B 4 1 J 3/04 1 0 3 G
B 0 5 D 1/04 (2006.01)	B 0 5 D 1/04 Z
B 0 5 D 1/26 (2006.01)	B 0 5 D 1/26 Z

請求項の数 7 (全 33 頁)

(21) 出願番号	特願2004-280658 (P2004-280658)	(73) 特許権者	000005049
(22) 出願日	平成16年9月27日 (2004.9.27)		シャープ株式会社
(65) 公開番号	特開2006-88130 (P2006-88130A)		大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
(43) 公開日	平成18年4月6日 (2006.4.6)	(73) 特許権者	000001270
審査請求日	平成19年3月7日 (2007.3.7)		コニカミノルタホールディングス株式会社
			東京都千代田区丸の内一丁目6番1号
		(73) 特許権者	301021533
			独立行政法人産業技術総合研究所
			東京都千代田区霞が関1-3-1
		(74) 代理人	100080034
			弁理士 原 謙三
		(74) 代理人	100113701
			弁理士 木島 隆一
		(74) 代理人	100116241
			弁理士 金子 一郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 静電吸引型流体吐出装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電圧印加により帯電された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることにより、ノズルに対向配置された吐出先基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、

上記ノズルの吐出孔の孔径が0.01 μm ～25 μm であると共に、

上記電圧印加として正負両極性に交互に反転する両極性電圧を印加し、かつ上記両極性電圧における各極性電圧の印加時間と印加電圧値との積を極性毎に変更する駆動電圧印加手段と、

上記吐出先基板の電荷蓄積量を測定する表面電位測定手段と、

上記表面電位測定手段と上記ノズルとの相対距離を保持する保持部材とを備え、

上記保持部材は、表面電位測定手段と上記ノズルとの距離を保ってその絶対位置関係を変動する回転機構に取り付けられている一方、

上記駆動電圧印加手段は、上記表面電位測定手段による吐出先基板の電荷蓄積量の測定結果に基づいて、電圧印加時間及び印加電圧値を変調させる駆動電圧変調手段を備えることを特徴とする静電吸引型流体吐出装置。

【請求項2】

前記駆動電圧印加手段は、前記両極性電圧における各極性電圧の印加時間と印加電圧値との積として、正極性印加時の絶対値が負極性印加時の絶対値以上となるように上記両極性電圧を印加することを特徴とする請求項1記載の静電吸引型流体吐出装置。

10

20

【請求項 3】

前記駆動電圧印加手段は、前記両極性電圧の単位周期当りの印加時間を極性毎に変更することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の静電吸引型流体吐出装置。

【請求項 4】

前記駆動電圧印加手段は、前記両極性電圧に、バイアス電圧を印加することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の静電吸引型流体吐出装置。

【請求項 5】

前記駆動電圧印加手段は、前記両極性電圧の単位周期当りの印加時間を極性毎に変更すると共に、

上記両極性電圧に、バイアス電圧を印加することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の静電吸引型流体吐出装置。

10

【請求項 6】

前記駆動電圧印加手段は、前記両極性電圧の単位周期毎に、各極性電圧の印加時間及びバイアス電圧を変更することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の静電吸引型流体吐出装置。

【請求項 7】

前記駆動電圧印加手段は、前記両極性電圧としてパルス電圧を用いることを特徴とする請求項 3～6 のいずれか 1 項に記載の静電吸引型流体吐出装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本発明は、インク等の流体を帯電させ、その流体をノズルから吐出先基板等の対象物上に吐出する静電吸引型流体吐出方法及び静電吸引型流体吐出装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

インク等の流体を対象物（記録媒体）上に吐出する流体ジェット方式には、一般的なものとして、インクジェットプリンタとして実用化されているピエゾやサーマル等の方式がある。また、その他の方式として、吐出する流体に電界を印加してノズルから吐出させる静電吸引方式がある。

【0003】

30

このような静電吸引方式の流体吐出装置（以下、「静電吸引型流体吐出装置」と称する）としては、例えば特許文献 1 及び特許文献 2 に開示がある。また、特許文献 3 には、ノズル孔をスリット状とすると共に、ノズル孔に突出した針電極を設け、該針電極を用いて微粒子を含むインク吐出する装置が開示されている。さらに、特許文献 4 には、ノズル孔よりも内部のインク室に電圧印加用の電極を設けた装置が開示されている。

【0004】

ここで、従来の静電吸引型流体吐出装置における流体吐出モデルを説明する。

【0005】

静電吸引型流体吐出装置とりわけオンデマンド型の静電吸引型流体吐出装置の設計要因としては、インク液体の導電性（例えば比抵抗 $10^6 \sim 10^{11} \Omega \text{cm}$ ）、表面張力（例えば $0.020 \sim 0.040 \text{N/m}$ ）、粘度（例えば $0.011 \sim 0.015 \text{Pa} \cdot \text{s}$ ）、印加電圧（電場）がある。そして、ノズルに印加する印加電圧、及びノズルと対向電極との間の距離が特に重要とされていた。

40

【0006】

静電吸引型流体吐出装置においては、電気流体的な不安定性を利用しており、図 22（a）に示すように、一様電界の中に導電性流体を静置すると、導電性流体の表面に作用する静電力が表面を不安定にし、曳き糸の成長を促す（静電曳き糸現象）。この場合において、ノズル 100 と、このノズル 100 先端のノズル孔 100a と距離 h を隔てて対向する対向電極 101 との間に電圧 V を印加したときに発生する電場を電場 E_0 とする。

【0007】

50

このときの成長波長 λ_c は、物理的に導くことが可能であり（例えば、非特許文献1）、次式で表される。

【0008】

【数1】

$$\lambda_c = \frac{2\pi\gamma}{\varepsilon_0} E_0^{-2} \quad \dots (1)$$

【0009】

ここで、 γ ：表面張力（N/m）、 ε_0 ：真空の誘電率（F/m）、 E_0 ：電界の強さ（V/m）である。図22（b）に示すように、ノズル径 d （m）が成長波長 λ_c の半分より小さい場合には成長は起こらない。すなわち、

10

【0010】

【数2】

$$d > \frac{\lambda_c}{2} = \frac{\pi\gamma}{\varepsilon_0 E_0^2} \quad \dots (2)$$

【0011】

が、吐出のための条件となっていた。

【0012】

20

ここで、電場 E_0 は平行平板を仮定した場合の電界強度（V/m）であり、ノズル—対向電極間距離を h （m）、ノズル100に印加する電圧を V_0 として、

【0013】

【数3】

$$E_0 = \frac{V_0}{h} \quad \dots (3)$$

【0014】

したがって、

【0015】

30

【数4】

$$d > \frac{\pi\gamma h^2}{\varepsilon_0 V^2} \quad \dots (4)$$

【0016】

となる。

【特許文献1】特公昭36-13768号公報（公告日昭和36年8月18日）

【特許文献2】特開2001-88306号公報（公開日平成13年4月3日）

【特許文献3】特開2000-127410号公報（公開日平成12年5月9日）

【特許文献4】特開平8-238774号公報（公開日平成8年9月17日）

40

【非特許文献1】画像電子情報学会，第17巻，第4号，1988年，p.185-193

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0017】

ところで、流体吐出装置では、一般的に、より微細なドット形成やライン形成を可能とするために、インクを吐出するノズルの径を小さくしたいといった要望がある。

【0018】

しかしながら、現在実用化されているピエゾ方式やサーマル方式等の流体吐出装置では、ノズル径を小さくして、例えば1p1を下回るような微量の流体の吐出は困難である。これは、流体を吐出するノズルが微細になるほど吐出に必要な圧力が大きくなるため

50

ある。

【0019】

また、上述のような流体吐出装置では、液滴の微細化と高精度化とは相反する課題であり、両方を同時に実現するのは困難であった。これは以下の理由による。

【0020】

ノズルから吐出された液滴に付与される運動エネルギーは、液滴半径の3乗に比例する。このため、ノズルを微細化した場合に吐出される微細液滴は、吐出時の空気抵抗に耐えるほどの十分な運動エネルギーを確保できず、空気滞留等による攪乱を受け、正確な着弾を期待できない。さらに、液滴が微細になるほど、表面張力の効果が増すため、液滴の蒸気圧が高くなり蒸発量が激しくなる。このため、微細液滴は飛行中に著しい質量の消失を招き、着弾時に液滴の形態を保つことすら難しいという問題があった。

10

【0021】

さらに、上述した従来の静電吸引型流体吐出装置における流体吐出モデルに基づくと、上記(2)式より、ノズル径の減少は吐出に必要な電界強度の増加を要請することとなる。そして、電界強度は、上記(3)式に示すように、ノズルに印加する電圧(駆動電圧) V_0 とノズル対向電極間距離 h とによって決まるため、ノズル径の減少は駆動電圧の上昇を招来する。

【0022】

ここで、従来の静電吸引型流体吐出装置における駆動電圧は、1000V以上と非常に高いため、各ノズル間でのリークや干渉化を考慮すると小型化及び高密度化は難しく、ノズル径をさらに小さくすると上記問題がより大きなものとなる。また、1000Vを越えるような高電圧のパワー半導体は一般的に高価で周波数応答性も低い。

20

【0023】

なお、上記特許文献1で開示されているノズル径は0.127mmであり、特許文献2で開示されているノズル径の範囲は50 μm ~2000 μm 、より好ましくは100 μm ~1000 μm といった範囲である。

【0024】

ノズル径に関して、従来の静電吸引型流体吐出における典型的な動作条件を当てはめて計算してみると、表面張力0.020N/m、電界強度 10^7V/m として、上記(1)式に代入して計算すると、成長波長 λ_c は約140 μm となる。すなわち、限界ノズル径として70 μm という値が得られる。このことから、上記条件下では 10^7V/m の強電界を用いてもノズル径が直径70 μm 程度以下の場合は背圧を印加して強制的にメニスカス形成させる等の処置をとらない限り、インクの成長は起こらず、静電吸引型流体吐出は成立しないと考えられる。この結果、微細ノズルと駆動電圧の低電圧化は両立しない課題と考えられていた。

30

【0025】

本発明は、上記従来の問題点に鑑みなされたものであって、その目的は、ノズルの微細化と高精度化という相反する課題の両方を同時に実現し得る静電吸引型流体吐出方法及び静電吸引型流体吐出装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

40

【0026】

以上のように、従来の流体吐出装置では、ノズルの微細化と高精度化とは相反する課題であり、両方を同時に実現することは困難であった。特に、静電吸引型流体吐出装置では、ノズルの微細化と駆動電圧の低電圧化とは両立しない課題と考えられていた。

【0027】

しかしながら、本願発明者らは、ノズル孔の直径(ノズル径)を $\phi 0.01\mu\text{m}$ ~25 μm の範囲とすることにより、従来のインク吐出モデルとは異なる吐出モデルでの吐出現象が起り、ノズル孔径の微細化と駆動電圧の低電圧化との両立が可能であることを突き止め、既に出願した。この吐出モデルを本発明の前提技術と呼ぶ。

【0028】

50

上記の前提技術によれば、ノズルからの吐出流体となる液体の吐出量は、ノズルと吐出先基板との間の電位差やノズルと吐出先基板との間の距離、すなわちギャップによって制御することができる。基本的には、電位差が大きいほど、またギャップが小さいほど、ノズル先端の電界強度を大きくすることができるので、その吐出量を制御することが容易となる。

【0029】

しかしながら、上記のような静電吸引型流体吐出方法には、次のような問題点がある。

【0030】

すなわち、絶縁性の吐出先基板に対して液体の吐出を行った場合、DCバイアスや片側極性のパルス電圧等、+又は-の片側極性のバイアスを駆動電圧としてノズルに印加した場合、吐出流体体中の電荷や、駆動電極に駆動電圧が印加されることにより生じるノズル先端部からの気中放電によって吐出先基板に電荷が蓄積し、その表面電位が上昇する。そして、この表面電位上昇の影響により、吐出駆動力となるノズル内部の駆動電極と吐出先基板との間の電位差が不安定となり吐出不良が発生する。

10

【0031】

この結果、片側極性のバイアスを使用して安定吐出を行うためには、上記電位差を確保するために、ノズルの駆動電極にさらに高いバイアスを与える必要があり、ノズルの低電圧駆動が困難となる。具体的には、DCバイアスによる吐出最低電圧は、図12に示すように、吐出先基板として表面抵抗値が $10^{15}\Omega/\text{sq}$ のポリイミドを使用した場合の方が、吐出先基板として表面抵抗値が $10^{10}\Omega/\text{sq}$ のガラス基板又は導電体のSUS基板を使用した場合よりも高くなり、前者の方が吐出特性において劣っている。

20

【0032】

そこで、このような吐出最低電圧の上昇を抑制するために、ノズルの駆動電圧として両極性電圧を使用するのが好ましい。この場合には、図13に示すように、DCバイアスを使用する場合と比較して、両極性パルス電圧を印加した場合には、吐出最低電圧が低下することがわかる。これは、吐出先基板への着弾液滴の帯電電荷が正負交互となり、吐出先基板上へは順次逆極性の電荷が滴下されるため、吐出先基板でのチャージアップを抑制しながら吐出が行われることによる。このように、ノズルの駆動電圧として両極性電圧を使用することは、ノズルからの吐出安定性を高める上で有効である。

30

【0033】

ところが、ノズルの駆動電圧として両極性電圧を使用した場合であっても、図14に示すように、吐出先基板への描画パターン形成時に、描画パターンの周辺に微小な液滴の飛散が発生し、描画パターンが乱れる事態を招来する。これは、次の理由による。

【0034】

駆動電圧として正極性電圧を印加した場合と負極性電圧を印加した場合とにおいて、吐出流体の物性値により帯電状態が、ノズル形状やノズル材質によりノズル先端からの放電状態が異なる。その結果、振幅、パルス幅が正負で同じ両極性パルス電圧印加状態であっても、片極性側に吐出先基板がチャージアップする。

【0035】

そこで、本発明の静電吸引型流体吐出装置では、ノズルの駆動電圧として両極性パルス電圧を使用する構成において、吐出先基板上における吐出流体の飛散を抑制して、描画像の乱れの少ない鮮明な微細パターンを形成できるようにする。

40

【0036】

すなわち、本発明の目的は、両極性パルス電圧を同振幅、同時間印加しても、放電状態の差により吐出先基板が片極性に帯電してしまい、吐出先基板の表面電位が上昇するため、ノズル-基板間の電位差が不安定になり、吐出不良が生じるのを防止することにより、ノズルの微細化及び微小流体の吐出、並びに着弾位置の高精度化、さらに、駆動電圧の低電圧化の全てを実現し得る静電吸引型流体吐出装置を提供することにある。

【0037】

本発明の静電吸引型流体吐出方法は、上記課題を解決するために、電圧印加により帯電

50

された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることにより、ノズルに対向配置された吐出先基板に着弾させる静電吸引型流体吐出方法において、上記ノズルの吐出孔の孔径を $\phi 0.01\mu\text{m} \sim \phi 25\mu\text{m}$ とすると共に、上記電圧印加として正負両極性に交互に反転する両極性電圧を印加し、かつ上記両極性電圧における各極性電圧の印加時間と印加電圧値との積を極性毎に変更することを特徴としている。

【0038】

上記の発明によれば、ノズルの孔径を $\phi 0.01\mu\text{m} \sim \phi 25\mu\text{m}$ としているので、ノズル孔径の微細化と駆動電圧の低電圧化の両立を実現している。

【0039】

また、本発明では、駆動電圧として、正負両極性に反転する両極性電圧を使用し、両極性電圧の印加時間と印加電圧値との積を極性毎に任意に変更できる。このため、両極性パルス電圧を同振幅、同時間印加したときに、放電状態の差により吐出先基板が片極性に帯電してしまうことを防止することができる。

10

【0040】

この結果、正電圧印加時と負電圧印加時における吐出先基板の帯電量の差に起因した、吐出先基板の表面電位の上昇による吐出量変動、吐出不良、吐出先基板での液滴の飛散領域の拡大、及び駆動電圧の上昇を抑制することができる。したがって、吐出先基板に対する微細パターンの形成を、ノズルの低電圧駆動により、かつ鮮明に行うことができる。

【0041】

また、本発明の静電吸引型流体吐出方法は、上記記載の静電吸引型流体吐出方法において、前記両極性電圧における各極性電圧の印加時間と印加電圧値との積として、正極性印加時の絶対値が負極性印加時の絶対値以上となるように上記両極性電圧を印加することを特徴としている。

20

【0042】

すなわち、両極性パルス電圧を同振幅、同時間印加したときに、放電状態の差により吐出先基板が負極性に帯電することが多い。そこで、本発明では、駆動電圧として、正負両極性に反転する両極性電圧を使用し、両極性電圧の印加時間と印加電圧値との積を正極の場合の方が負極の場合以上となるように設定する。これにより、吐出先基板の表面電位が略0Vに除電されるようにして、吐出先基板が負極性に帯電するのを防止することができる。

30

【0043】

また、本発明の静電吸引型流体吐出方法は、上記記載の静電吸引型流体吐出方法において、前記両極性電圧の単位周期当りの印加時間を極性毎に変更することを特徴としている。

【0044】

上記の発明によれば、駆動電圧として、両極性電圧の印加時間と印加電圧値との積にて吐出先基板の帯電量が決定されるが、そのときに、正負両極性に反転する両極性電圧を使用し、両極性電圧の単位周期当りの印加時間を極性毎に変更する。したがって、正電圧印加時と負電圧印加時との吐出先基板の帯電量の差を考慮し、吐出先基板の表面電位が略0Vに除電されるように、印加時間を決定することができる。これにより、正電圧印加時と負電圧印加時における吐出先基板の帯電量の差に起因した、吐出先基板の表面電位の上昇による吐出量変動、吐出不良、吐出先基板での液滴の飛散領域の拡大、及び駆動電圧の上昇を抑制することができる。したがって、吐出先基板に対する微細パターンの形成を、ノズルの低電圧駆動により、かつ鮮明に行うことができる。

40

【0045】

また、本発明の静電吸引型流体吐出方法は、上記記載の静電吸引型流体吐出方法において、前記両極性電圧に、バイアス電圧を印加することを特徴としている。

【0046】

上記の発明によれば、駆動電圧として、正負両極性に反転する両極性電圧を使用し、両極性電圧にバイアス電圧を印加するので、正電圧印加時と負電圧印加時との吐出先基板の

50

帯電量の差を考慮し、吐出先基板の表面電位が略0Vに除電されるようにバイアス電圧値を決定することができる。これにより、正電圧印加時と負電圧印加時とにおける吐出先基板の帯電量の差に起因した、吐出先基板の表面電位の上昇による吐出量変動、吐出不良、吐出先基板での液滴の飛散領域の拡大、及び駆動電圧の上昇を抑制することができる。したがって、吐出先基板に対する微細パターンの形成を、ノズルの低電圧駆動により、かつ鮮明に行うことができる。

【0047】

また、本発明の静電吸引型流体吐出方法は、上記記載の静電吸引型流体吐出方法において、前記両極性電圧の単位周期当りの印加時間を極性毎に変更すると共に、上記両極性電圧に、バイアス電圧を印加することを特徴としている。

10

【0048】

上記の発明によれば、駆動電圧として、正負両極性に反転する両極性電圧を使用し、両極性電圧の単位周期当りの印加時間を極性毎に変更すると共に、両極性電圧にバイアス電圧を印加する。このため、正電圧印加時と負電圧印加時との吐出先基板の帯電量の差を考慮し、吐出先基板の表面電位が略0Vに除電されるように電圧印加時間、バイアス電圧値を決定することができる。これにより、より効果的に吐出先基板の帯電を解消させ、正電圧印加時と負電圧印加時とにおける吐出先基板の帯電量の差に起因した、吐出先基板の表面電位の上昇による吐出量変動、吐出不良、吐出先基板での液滴の飛散領域の拡大、及び駆動電圧の上昇を抑制することができる。さらには、負極正側の印加電圧値を低電圧化することができる。したがって、吐出先基板に対する微細パターンの形成を、ノズルの低電圧駆動により、かつ鮮明に行うことができる。

20

【0049】

また、本発明の静電吸引型流体吐出方法は、上記記載の静電吸引型流体吐出方法において、前記両極性電圧の単位周期毎に、各極性電圧の印加時間及びバイアス電圧を変更することを特徴としている。

【0050】

上記の発明によれば、駆動電圧として、正負両極性に反転する両極性電圧を使用し、両極性電圧の単位周期当りの印加時間を極性毎に変更すると共に、両極性電圧にバイアス電圧を印加し、単位周期毎に電圧印加時間、バイアス電圧値を調整することができる。このため、吐出先基板の初期帯電による、吐出量変動、吐出不良、吐出先基板での液滴の飛散領域の拡大、及び駆動電圧の上昇を抑制することができる。さらには、負極正側の印加電圧値を低電圧化することができる。したがって、吐出先基板に対する微細パターンの形成を、ノズルの低電圧駆動により、かつ鮮明に行うことができる。

30

【0051】

また、本発明の静電吸引型流体吐出方法は、上記記載の静電吸引型流体吐出方法において、前記両極性電圧としてパルス電圧を用いることを特徴としている。

【0052】

上記の発明によれば、駆動電圧として、正負両極性に反転する両極性パルス電圧を使用するので、正電圧印加時と負電圧印加時との吐出先基板の帯電量の差を考慮した電圧印加条件を簡便に設定することができる上、メニスカスから液滴が吐出されると同時にパルスの極性が入れ替わるように設定することができる。これにより、吐出先基板の表面電位の上昇による吐出量変動、吐出不良、吐出先基板での液滴の飛散領域の拡大、及び駆動電圧の上昇をより効果的に抑制できると共に、高速吐出性を向上させることができる。したがって、吐出先基板に対する微細パターンの形成を、ノズルの低電圧駆動により、かつ鮮明に行うことができる。

40

【0053】

また、本発明の静電吸引型流体吐出方法は、上記記載の静電吸引型流体吐出方法において、前記吐出先基板の電荷蓄積量を測定し、その測定結果に基づいて、前記両極性電圧の印加時間及び印加電圧値を決定することを特徴としている。

【0054】

50

また、本発明の静電吸引型流体吐出装置は、上記課題を解決するために、電圧印加により帯電された流体をノズルの吐出孔から静電吸引によって吐出させることにより、ノズルに対向配置された吐出先基板に着弾させる静電吸引型流体吐出装置において、上記ノズルの吐出孔の孔径が $0.01\mu\text{m}\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、上記電圧印加として正負両極性に交互に反転する両極性電圧を印加し、かつ上記両極性電圧における各極性電圧の印加時間と印加電圧値との積を極性毎に変更する駆動電圧印加手段を備えていることを特徴としている。

【0055】

また、本発明の静電吸引型流体吐出装置は、上記記載の静電吸引型流体吐出装置において、前記吐出先基板の電荷蓄積量を測定する表面電位測定手段を備えていることを特徴としている。

10

【0056】

上記の発明によれば、吐出先基板の電荷蓄積量を測定する表面電位測定手段を備えているので、吐出先基板の初期帯電の様子を測定でき、吐出先基板の移動に伴う初期帯電分布の変化を抑制することができる。また、初期帯電の影響を考慮した電圧印加条件の設定精度を向上させることができるので、吐出先基板の初期帯電の影響を受けた表面電位の上昇による吐出量変動、吐出不良、吐出先基板での液滴の飛散領域の拡大、及び駆動電圧の上昇を抑制することができる。したがって、吐出先基板に対する微細パターンの形成を、ノズルの低電圧駆動により、かつ鮮明に行うことができる。

20

【0057】

また、本発明の静電吸引型流体吐出装置は、上記記載の静電吸引型流体吐出装置において、前記表面電位測定手段と前記ノズルとの相対距離を保持する保持部材を備え、

上記保持部材は、表面電位測定手段と上記ノズルとの距離を保ってその絶対位置関係を変動する回転機構に取り付けられている一方、

前記駆動電圧印加手段は、前記表面電位測定手段による吐出先基板の電荷蓄積量を測定結果に基づいて、電圧印加時間及び印加電圧値を変調させる駆動電圧変調手段を備えることを特徴としている。

【0058】

上記の発明によれば、吐出先基板の電荷蓄積量を測定する表面電位測定手段と、その結果をフィードバックさせ、駆動電圧の電圧印加時間及び印加電圧値を変調させる駆動電圧変調手段と、表面電位測定手段及びノズルを保持する保持部材と、表面電位測定手段とノズルとの絶対位置が変動できる回転機構とを備え、表面電位測定手段が移動方向に対し常にノズルの前方に配置されている。このため、吐出先基板の局所帯電が生じている箇所において、表面電位測定手段により測定される吐出先基板の電荷蓄積量の変化を読み取り、駆動電圧変調手段にフィードバックし、両極性電圧の電圧印加時間及び印加バイアス電圧値のうち少なくともいずれか一つを調整し、一周期電圧を印加した際、吐出先基板の吐出箇所近傍の表面電位が略 0V になるような駆動電圧を変調し、出力することができる。これにより、吐出先基板での液滴の飛散領域の拡大と駆動電圧の上昇とを抑制し、さらには、吐出前に絶縁体からなる吐出先基板の除電を行う除電用装置を不要とする。したがって、吐出先基板に対する微細パターンの形成を、ノズルの低電圧駆動により、かつ鮮明に行うことができる上、装置構成の自由度を高めることができる。

30

40

【発明の効果】

【0059】

本発明の静電吸引型流体吐出方法は、以上のように、ノズルの吐出孔の孔径を $\phi 0.01\mu\text{m}\sim \phi 25\mu\text{m}$ とすると共に、上記電圧印加として正負両極性に交互に反転する両極性電圧を印加し、かつ上記両極性電圧における各極性電圧の印加時間と印加電圧値との積を極性毎に変更する方法である。

【0060】

また、本発明の静電吸引型流体吐出装置は、以上のように、ノズルの吐出孔の孔径が $0.01\mu\text{m}\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、上記吐出先基板の電荷蓄積量を測定する表面電位測

50

定手段を備えているものである。

【0061】

それゆえ、ノズルの孔径を $\phi 0.01\mu\text{m} \sim \phi 25\mu\text{m}$ としているので、ノズル孔径の微細化と駆動電圧の低電圧化の両立を実現している。

【0062】

また、駆動電圧として、正負両極性に反転する両極性電圧を使用し、両極性電圧の印加時間と印加電圧値との積を極性毎に任意に変更できるので、正電圧印加時と負電圧印加時との吐出先基板の帯電量の差に起因した、吐出先基板の表面電位の上昇による吐出量変動、吐出不良、吐出先基板での液滴の飛散領域の拡大、及び駆動電圧の上昇を抑制することができる。したがって、吐出先基板に対する微細パターンの形成を、ノズルの低電圧駆動により、かつ鮮明に行うことができるという効果を奏する。

10

【0063】

さらに、吐出先基板の電荷蓄積量を測定する表面電位測定手段を備えることによって、吐出先基板の初期帯電の様子を測定でき、吐出先基板の移動に伴う初期帯電分布の変化を抑制することができると共に、初期帯電の影響を考慮した電圧印加条件の設定精度を向上させることができる。この結果、吐出先基板の初期帯電の影響を受けた表面電位の上昇による吐出量変動、吐出不良、吐出先基板での液滴の飛散領域の拡大、及び駆動電圧の上昇を抑制することができる。したがって、吐出先基板に対する微細パターンの形成を、ノズルの低電圧駆動により、かつ鮮明に行うことができるという効果を奏する。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0064】

〔前提技術〕

先ず、本発明の前提技術について、図面を参照して以下に説明する。

【0065】

本発明の前提技術における静電吸引型流体吐出装置は、そのノズル径を $\phi 0.01\mu\text{m} \sim 25\mu\text{m}$ としており、かつ、1000V以下の駆動電圧にて吐出流体の吐出制御を可能としている。

【0066】

ここで、従来のインク吐出モデルにおいては、ノズル径の減少は駆動電圧の上昇に繋がるため、 $50\mu\text{m} \sim 70\mu\text{m}$ 以下のノズル径では、吐出インクに背圧を与える等の他の工夫を行わない限り、1000V以下の駆動電圧でのインク吐出は不可能と考えられていた。しかしながら、本願発明者らは、あるノズル径以下では、従来のインク吐出モデルとは異なる吐出モデルでの吐出現象が起こることを突き止めた。本前提技術は、このインク吐出モデルにおける新たな知見に基づいている。

30

【0067】

先ずは、本願の前提技術において究明されたインク吐出モデルについて説明する。

【0068】

図16に示すように、直径 d （以下の説明においては、特に断らない限りノズル孔の内径を示す。）のノズルに導電性インクを注入し、そのノズルを無限平板導体からノズル先端までが h の高さになるように垂直に位置させたと仮定する。このとき、ノズル先端（ノズル孔：流体吐出孔）に誘起される電荷 Q は、ノズル先端の吐出流体によって形成される半球部に集中すると仮定し、以下の式で近似的に表される。

40

【0069】

【数5】

$$Q = 2\pi\epsilon_0\alpha V_0 d \quad \dots (5)$$

【0070】

ここで、 Q ：ノズル先端に誘起される電荷（C）、 ϵ_0 ：真空の誘電率（F/m）、 d ：ノズル径（直径）（m）、 V_0 ：ノズルに印加する総電圧である。また、 α は、ノズル

50

形状等に依存する比例定数であり、1～1.5程度の値を取るが、特に $d \ll h$ (h : ノズル (ノズル孔) - 基板間距離 (m)) の時は略1となる。

【0071】

また、吐出先基板として導電基板を用いた場合、ノズルと対向して吐出先基板内の対称位置に、上記電荷 Q とは反対の極性を持つ鏡像電荷 Q' が誘導されと考えられる。これを鏡像力とする。吐出先基板が絶縁体の場合は、誘電率によって定まる対称位置に、同様に、電荷 Q とは逆極性の映像電荷 Q' が誘導される。

【0072】

ノズル先端部における集中電界強度 E_{loc} は、先端部の曲率半径を R と仮定すると、

【0073】

【数6】

$$E_{loc} = \frac{V_0}{kR} \quad \dots (6)$$

【0074】

で与えられる。ここで、 k は、ノズル形状等に依存する比例定数であり、1.5～8.5程度の値を取るが、多くの場合、5程度と考えられる (P.J. Birdseye and D.A. Smith, Surface Science, 23(1970), p.198-210)。また、ここでは、インク吐出モデルを簡単にするため、 $R = d/2$ と仮定する。これは、ノズル先端部において表面張力によって導電性インクがノズル径 d と同じ曲率径を持つ半球形状に盛り上がっている状態に相当する。

【0075】

次に、ノズル先端の吐出流体に働く圧力のバランスを考える。まず、静電的な圧力 P_e は、ノズル先端部の液面積、すなわちノズル先端孔の開口面積を S とすると、

【0076】

【数7】

$$P_e = \frac{Q}{S} E_{loc} = \frac{2Q}{\pi d^2} E_{loc} \quad \dots (7)$$

【0077】

となる。(5)～(7)式より、圧力 P_e は、 $\alpha = 1$ とにおいて、

【0078】

【数8】

$$P_e = \frac{4\epsilon_0 V_0}{d} \cdot \frac{2V_0}{kd} = \frac{8\epsilon_0 V_0^2}{kd^2} \quad \dots (8)$$

【0079】

と表される。

【0080】

一方、ノズル先端部における吐出流体の表面張力による圧力 P_s とすると、

【0081】

【数9】

$$P_s > \frac{4\gamma}{d} \quad \dots (9)$$

【0082】

となる。ここで、 γ : 表面張力である。静電的な力により吐出が起こる条件は、静電的な力が表面張力を上回ることなので、静電的な圧力 P_e と表面張力による圧力 P_s との関係は、

【0083】

10

20

30

40

50

【数 1 0】

$$P_e > P_s \quad \dots (10)$$

【0 0 8 4】

となる。

【0 0 8 5】

図 1 7 に、或る直径 d のノズルを与えた時の、表面張力による圧力 P_s と静電的な圧力 P_e との関係を示す。吐出流体の表面張力としては、吐出流体が水 ($\gamma = 72 \text{ mN/m}$) の場合を仮定している。ノズルに印加する電圧を 700 V とした場合、ノズル直径 d が $25 \mu\text{m}$ において静電的な圧力 P_e が表面張力による圧力 P_s を上回ることが示唆される。このことより、電圧 V_0 とノズル直径 d との関係を求めると、

【0 0 8 6】

【数 1 1】

$$V_0 > \sqrt{\frac{\gamma k d}{2\epsilon_0}} \quad \dots (11)$$

【0 0 8 7】

が吐出の最低電圧を与える。

【0 0 8 8】

20

また、その時の吐出圧力 ΔP は、

【0 0 8 9】

【数 1 2】

$$\Delta P = P_e - P_s \quad \dots (12)$$

【0 0 9 0】

より、

【0 0 9 1】

【数 1 3】

30

$$\Delta P = \frac{8\epsilon_0 V_0^2}{k d^2} - \frac{4\gamma}{d} \quad \dots (13)$$

【0 0 9 2】

となる。

【0 0 9 3】

あるノズル直径 d のノズルに対し、局所的な電界強度によって吐出条件を満たす場合の吐出圧力 ΔP の依存性を図 1 8 に示すと共に、吐出臨界電圧（すなわち吐出の生じる最低電圧） V_C の依存性を図 1 9 に示す。

【0 0 9 4】

40

図 1 9 から、局所的な電界強度によって吐出条件を満たす場合 ($V_0 = 700 \text{ V}$, $\gamma = 72 \text{ mN/m}$ と仮定した場合) のノズル径の上限が $25 \mu\text{m}$ であることが分かる。

【0 0 9 5】

図 2 0 の計算では、吐出流体として水 ($\gamma = 72 \text{ mN/m}$) 及び有機溶剤 ($\gamma = 20 \text{ mN/m}$) を想定し、 $k = 5$ の条件を仮定した。この図より、微細ノズルによる電界の集中効果を考慮すると、吐出臨界電圧 V_C はノズル径の減少に伴い低下することが明らかであり、吐出流体が水の場合においてノズル径が $25 \mu\text{m}$ の場合、吐出臨界電圧 V_C は 700 V 程度であることが分かる。

【0 0 9 6】

従来の吐出モデルにおける電界の考え方、すなわちノズルに印加する電圧 V_0 とノズル

50

一对向電極間距離 h とによって定義される電界のみを考慮した場合では、ノズル径が微小になるに従い、吐出に必要な駆動電圧は増加する。

【0097】

これに対し、本前提技術において提案する新たな吐出モデルのように、局所電界強度に注目すれば、微細ノズル化により吐出における駆動電圧の低下が可能となる。このような駆動電圧の低下は、装置の小型化及びノズルの高密度化において極めて有利となる。もちろん、駆動電圧を低下させることで、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にする。

【0098】

さらに、上記吐出モデルでは、吐出に必要な電界強度は、局所的な集中電界強度に依存することになるため、対向電極の存在が必須とされない。すなわち、従来の吐出モデルでは、ノズルー吐出先基板間に電界を印加するため、絶縁体の吐出先基板に対してはノズルと反対側に対向電極を配置するか、又は吐出先基板を導電性とする必要があった。そして、対向電極を配置する場合、すなわち吐出先基板が絶縁体の場合では、使用できる基板の厚さに限界があった。

【0099】

これに対し、本前提技術の吐出モデルでは、対向電極を要せずに絶縁性の吐出先基板等に対しても印字を行うことが可能となり、装置構成の自由度が増す。また、厚い絶縁体に対しても印字を行うことが可能となる。なお、ノズルから吐出される液体は帯電しているので、この液体と吐出先基板との間には鏡像力が働く。この鏡像力の大きさと吐出先基板からのノズルの距離 h との相関を図20に示す。

【0100】

次に、上記吐出流量の精密制御について考えて見る。円筒状の流路における流量 Q は、粘性流の場合、以下のハーゲン・ポアズイユの式によって表される。いま、円筒形のノズルを仮定し、このノズルを流れる流体の流量 Q は、次式で表される。

【0101】

【数14】

$$Q = \frac{\pi \Delta P}{\eta L} d^2 \quad \dots (14)$$

【0102】

ここで、 η ：流体の粘性係数（Pa・s）、 L ：流路すなわちノズルの長さ（m）、 d ：流路すなわちノズルの径（m）、 ΔP ：圧力差（Pa）である。

【0103】

上式より、流量 Q は、流路の半径の4乗に比例するため、流量を制限するためには、微細なノズルの採用が効果的である。この(14)式に、(13)式で求めた吐出圧力 ΔP を代入し、次式を得る。

【0104】

【数15】

$$Q = \frac{4\pi d^3}{\eta L} \left(\frac{2\varepsilon_0 V_0^2}{kd} - \gamma \right) \quad \dots (15)$$

【0105】

この式は、直径 d 、長さ L のノズルに電圧 V を印加した際に、ノズルから流出する流体の流出量を表している。この様子を、図21に示す。計算には $L = 10 \text{ mm}$ 、 $\eta = 1 \text{ (mPa} \cdot \text{s)}$ 、 $\gamma = 72 \text{ (mN/m)}$ の値を用いた。いま、ノズル径 d を先行技術の最小値 $50 \text{ }\mu\text{m}$ と仮定する。電圧 V を徐々に印加していくと、電圧 $V = 1000 \text{ V}$ で吐出が開始する。この電圧は、図19でも述べた吐出開始電圧に相当する。そのときのノズルからの流量が Y 軸に示されている。吐出開始電圧 V_c 直上で流量は急速に立ち上がっている。このモデル計算上では、電圧を V_c よりも少し上で精密に制御することによって微小流量が

得られそうに思えるが、片対数で示される図からも予想されるように、實際上それは不可能であり、特に $10^{-10} \text{ m}^3 / \text{sec}$ 以下、微量の実現は困難である。また、ある径のノズルを採用した場合には、(11) 式で与えられたように、最小駆動電圧が決まってしまう。このため、先行技術のように、直径 $50 \mu\text{m}$ 以上のノズルを用いる限り、 $10^{-10} \text{ m}^3 / \text{sec}$ 以下の微小吐出量や、 1000 V 以下の駆動電圧にすることは困難である。

【0106】

図から分かるように、直径 $25 \mu\text{m}$ のノズルの場合、 700 V 以下の駆動電圧で充分であり、直径 $10 \mu\text{m}$ のノズルの場合、 500 V 以下でも制御可能である。また、直径 $1 \mu\text{m}$ のノズルの場合 300 V 以下でも良いことが分かる。

【0107】

10

以上の考察は、連続流を考えた場合であるが、ドットを形成するためには、スイッチングの必要性がある。次にそれに関して述べる。

【0108】

静電吸引による吐出は、ノズル端部における流体の帯電が基本である。帯電の速度は誘電緩和によって決まる時定数程度と考えられる。

【0109】

【数16】

$$\tau = \frac{\varepsilon}{\sigma} \quad \dots (16)$$

20

【0110】

ここで、 ε ：流体の比誘電率、 σ ：流体の導電率 (S/m) である。流体の比誘電率を 10 、導電率を 10^{-6} S/m を仮定すると、 $\tau = 1.854 \times 10^{-5} \text{ sec}$ となる。或いは、臨界周波数を f_c とすると、

【0111】

【数17】

$$f_c = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \dots (17)$$

【0112】

30

となる。この臨界周波数 f_c よりも早い周波数の電界の変化に対しては、応答できず吐出は不可能になると考えられる。上記の例について計算すると、周波数としては 10 kHz 程度となる。

【0113】

次に、ノズル内における表面張力の低下について考える。電極の上に絶縁体を配置し、その上に滴下した液体と電極との間に電圧を印加すると、液体と絶縁体との接触面積が増す、すなわちぬれ性がよくなることが見出される。この現象は、エレクトロウェットティング (Electro-wetting) 現象と呼ばれている。この効果は、円筒形のキャピラリー形状においても成り立ち、エレクトロキャピラリー (Electro-capillary) と呼ばれることもある。エレクトロウェットティング効果による圧力と、印加電圧、キャピラリーの形状、溶液の物性値との間に以下の関係がある。

40

【0114】

【数18】

$$P_{ec} = \frac{2\varepsilon_0\varepsilon_r V_0^2}{t d} \quad \dots (18)$$

【0115】

ここで、 ε_0 ：真空の誘電率、 ε_r ：絶縁体の誘電率、 t ：絶縁体の厚さ、 d ：キャピラリーの内径である。流体として、水を考えてこの値を計算してみると、上述の特許文献1の実施例の場合を計算してみると、高々 30000 Pa (0.3 気圧) にすぎないが、本

50

前提技術の場合、ノズルの外側に電極を設けることにより30気圧相当の効果が得られることがわかった。これにより、微細ノズルを用いた場合でもノズル先端部への流体の供給は、この効果により速やかに行われる。この効果は、絶縁体の誘電率が高いほど、またその厚さが薄いほど顕著になる。エレクトロキャピラリー効果を得るためには、厳密には絶縁体を介して電極を設置する必要があるが、十分な絶縁体に十分な電場がかかる場合、同様の効果が得られる。

【0116】

以上の議論において、注意すべき点は、これらの近似理論は従来のように電界強度として、ノズルに印加する電圧 V_0 と、ノズルと対向電極との間の距離 h とで決まる電界ではなく、ノズル先端における局所的な集中電界強度に基づいている。また、本前提技術において重要なのは、局所的な強電界、及び流体を供給する流路が非常に小さなコンダクタンスを持つことである。そして、流体自身が微小面積において十分に帯電することである。帯電した微小流体は、基板等の誘電体又は導体を近づけると、鏡像力が働き吐出先基板に対し直角に飛翔する。このために、後述する実施の形態では、ノズルは作成の容易さからガラスキャピラリーを使っているが、これに限定されるものではない。

【0117】

〔実施の形態1〕

以下の実施の形態においては、超微細ノズルから静電力によって超微細液体を吐出させる場合におけるノズルの駆動条件について究明した結果について説明する。

【0118】

静電吸引型流体吐出装置においては、前述の前提技術にて説明したように、ノズル孔の直径（ノズル径）を $\phi 0.01\mu\text{m} \sim 25\mu\text{m}$ の範囲とすることにより、ノズル孔径の微細化と駆動電圧の低電圧化との両立が可能である。

【0119】

また、ノズルからの吐出流体となる液体の吐出量は、ノズルと吐出先基板との間の電位差やノズルと吐出先基板との間の距離、すなわちギャップによって制御することができる。基本的には、電位差が大きいほど、またギャップが小さいほど、ノズル先端の電界強度を大きくすることができるため、その吐出量を制御することが容易となる。

【0120】

しかしながら、上記のような静電吸引型流体吐出方法には、次のような問題点がある。

【0121】

すなわち、絶縁性の吐出先基板に対して液体の吐出を行った場合、DCバイアスや片側極性のパルス電圧等、+又は-の片側極性のバイアスを駆動電圧としてノズルに印加した場合、吐出流体体中の電荷や、駆動電極から発生した電荷の気中放電によって吐出先基板が帯電し、その表面電位が上昇する。そして、この表面電位上昇の影響により、吐出駆動力となるノズル（ノズル内部の駆動電極）と吐出先基板との間の電位差が不安定となり吐出不良が発生する。

【0122】

この結果、片側極性のバイアスを使用して安定吐出を行うためには、上記電位差を確保するために、ノズルの駆動電極にさらに高いバイアスを与える必要があり、ノズルの低電圧駆動が困難となる。実際に、DCバイアスによる吐出最低電圧は、図12に示すように、吐出先基板として表面抵抗値が $10^{15}\Omega/\text{sq}$ のポリイミドを使用した場合の方が、吐出先基板として表面抵抗値が $10^{10}\Omega/\text{sq}$ のガラス基板又は導電体のSUS基板を使用した場合よりも高くなり、前者の方が吐出特性において劣っている。

【0123】

そこで、このような吐出最低電圧の上昇を抑制するために、ノズルの駆動電圧として両極性電圧を使用するのが好ましい。図13のように両極性電圧を用いた場合、DCバイアスを使用する場合と比較して、吐出最低電圧が低下することがわかる。これは、吐出先基板への着弾液滴の帯電電荷が正負交互となり、吐出先基板上へは順次逆極性の電荷が滴下されるため、吐出先基板での帯電を抑制しながら吐出が行われることによる。このように

10

20

30

40

50

、ノズルの駆動電圧として両極性電圧を使用することは、ノズルからの吐出安定性を高める上で有効である。なお、ここでは両極性電圧として両極性パルス電圧を使用しているが、これに限るものではなく、例えば正弦波電圧でも同様の効果を得られる。

【0124】

ところが、ノズルの駆動電圧として両極性電圧を使用した場合であっても、図14に示すように、吐出先基板への描画パターン形成時に、描画パターンの周辺に微小な液滴の飛散が発生し、描画パターンが乱れる事態を招来する。

【0125】

これについて、以下に説明する。図8(a)には電荷蓄積量測定装置の概略構成図を、図9、図10には各種絶縁性基板の表面電位の減衰挙動を示している。図10は図9のガラス基板の単位時間当たりの表面電位減衰量を1/200にしたものである。

10

【0126】

図8(a)に示す電荷蓄積量測定装置では、ノズル11とステージ12とが対向配置されている。すなわち、ノズル11は先端部が下方を向くように配置され、ノズル11の下方にステージ12が水平に設けられている。ステージ12は図示しない駆動装置に駆動されて任意の方向へ移動可能となっている。

【0127】

ノズル11内には駆動電極13が設けられ、この駆動電極13には電源(駆動電圧印加手段)14が接続されている。また、ノズル11内には液体からなる吐出流体15の乾燥・固化物が充填されており、ノズルが放電破損しない範囲での電圧印加状態では吐出流体15がノズル11から吐出されない状態となっている。

20

【0128】

ステージ12上には吐出流体15の吐出先である吐出先基板としての絶縁性基板16が固定される。ステージ12は接地されており、したがって、絶縁性基板16はステージ12を通じて接地される。さらには、ステージ12の上方に基板の表面電位測定装置17のプローブ18が配置されている。

【0129】

本比較例においては、ノズル11としてガラスキャピラリー(先端径2 μ m)を、吐出流体15として銀ペーストを、絶縁性基板16としてガラス(52mm $\times$ 52mm,厚さ7mm)上にポリイミドを塗布・焼成したもの(ポリイミドコート基板)を、表面電位測定装置17として表面電位計(商品名:MODEL344,TREK社製)を使用した。

30

【0130】

次に、電荷蓄積量の測定方法について説明する。表面電位計と基板とのギャップを測定し、表面電位計の測定領域を算出する。上記のギャップ測定手段としては、レーザを利用した変位計或いはレーザを利用したギャップ測長計が利用される。表面電位計、及びノズルは図示しない保持部材により、その相対距離が変動しないように固定される。

【0131】

次に、図8(b)に示すように、ステージを図示しない移動手段により動作させ、絶縁体基板上で表面電位が0Vとなる位置を探し、表面電位測定領域19を決定する。その後、図8(c)に示すように、ノズルに電圧を印加し、表面電位測定領域19全域がノズル11先端直下を通過するようにステージ12を移動させる。その後、図8(d)に示すように、表面電位測定領域19が電圧印加前の位置に戻るようステージ12を移動させ、表面電位を測定する。

40

【0132】

なお、本比較例にて説明した電荷蓄積量の測定方法については、電圧印加から表面電位測定までに時間がかかるため、測定までの時間における表面電位の減衰が危惧されるが、図9に示すように、本比較例で使用したポリイミドコート基板においては約1時間以上表面電位の減衰がほとんどないことから、本比較例の測定方法は効果的である。

【0133】

一方、ガラス基板のように、電荷付与後数分以内に表面電位が0Vになる基板も存在す

50

る。これは表面抵抗値の差に起因する。本実施例の条件では、ガラス基板の表面抵抗値に比べポリイミドコート基板との表面抵抗値が約200倍高く、そのために表面電位の減衰が遅い。これは、図10に示すように、ガラス基板の単位時間当たりの表面電位減衰量を $1/200$ にすると減衰挙動がポリイミドコート基板と非常によくあっていることからわかる。このことから、他の絶縁性基板を用いた場合においても、表面抵抗値を測定し、補正を行うことにより、表面電位減衰前の初期付与電位を見積もることができる。

【0134】

図11は駆動電極に印加する印加電圧と電荷蓄積量（表面電位）の関係を示している。

【0135】

本比較例では、印加電圧はDCのバイアス電圧を用いている。図11から、正電圧印加時における電荷蓄積量と負電圧印加時における電荷蓄積量が異なることがわかる。このことから、例えば駆動電極に正負同振幅の両極性パルスをDuty比50で印加し、本比較例で使用した絶縁性基板に吐出流体を吐出させた場合、絶縁性基板表面が負に帯電、表面電位が上昇し、結果としてDCバイアスを印加した場合と同様に、吐出駆動力となるノズル（ノズル内部の駆動電極）と吐出先基板との間の電位差が不安定となり吐出不良が発生する。

【0136】

さらには、図15(a)に示すように、ノズルの駆動電圧として周波数の低いパルス電圧を使用し、このパルス電圧の正極性パルスにてノズルからの吐出が行われる構成の場合、吐出先基板である絶縁性基板16上には正電荷を有する液体が連続的に吐出される。このとき、図15(b)に示すように、先に滴下されている液体上に後から液体が滴下されると、両液体は同極性に帯電しているために絶縁性基板16上において反発し合い、例えば後から滴下された液体がさらに微細な液滴となって絶縁性基板16上に飛び散ることになる。

【0137】

上記のような微細液滴の飛散は、例えば、吐出流体を導電性材料として絶縁性基板16上に配線パターンを描画した場合に、基板の電気特性に悪影響を及ぼすことになる。

【0138】

そこで、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置では、さらに、ノズルの駆動電圧として両極性パルス電圧を使用する構成において、吐出先基板上における吐出流体の飛散を抑制して、描画像の乱れの少ない鮮明な微細パターンを形成できるようにする。

【0139】

以下、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置について詳細に説明する。

【0140】

本実施の形態における静電吸引型流体吐出装置では、図2に示すように、液滴吐出ヘッドとなるノズル11とステージ12とが対向配置されている。すなわち、ノズル11は先端部が下方を向くように配置され、ノズル11の下方にステージ12が水平に設けられている。ノズル11は、図示しない駆動装置に駆動されて任意の方向へ移動可能となっている。例えば、ノズル11は、このノズル11を独立して移動させるための3次元ロボットに備え付けられている。なお、ノズル11とステージ12とは相対移動すればよく、したがって、ステージ12が駆動装置に駆動されて移動するものであってもよい。

【0141】

上記ノズル11内には駆動電極13が設けられ、この駆動電極13には駆動電圧印加手段としての電源14が接続されている。また、ノズル11内には液体からなる流体としての吐出流体15が充填され、ステージ12上には吐出流体15の吐出先である絶縁性基板16が固定されている。上記ステージ12は接地されている。この結果、絶縁性基板16はステージ12を通じて接地されている。絶縁性基板16にはノズル11から吐出された吐出流体15により、例えば微細な配線パターンが形成される。

【0142】

ノズル11は、超微細液体を吐出可能とするために、低コンダクタンスの流路がノズル

10

20

30

40

50

11の近傍に設けられているか、又はノズル11自身が低コンダクタンスのものとなっている。このために、ノズル11は、ガラス製キャピラリーが好適であるが、導電性物質で作製したキャピラリーの表面を絶縁材でコーティングしたものでも可能である。ノズル11をガラス製とする理由は、容易に数 μm 程度のノズル孔を形成できること、ノズル孔の閉塞時にはノズル端を破碎することにより新しいノズル端を再生できること、ガラスノズルの場合、テーパ角がついているために、不要な溶液が表面張力によって上方へと移動し、ノズル端に滞留せず、ノズル詰まりの原因にならないこと、及びノズル11が適度な柔軟性を持つため、可動ノズルの形成が容易であること等による。

【0143】

具体的には、芯入りガラス管（例えば、商品名：株式会社ナリシゲ製GD-1）を用い、キャピラリープラーにより作成することができる。芯入りガラス管を用いた場合には次のような利点がある。

（1）芯側ガラスがインクに対し濡れやすいために、インクの充填が容易になる。

（2）芯側ガラスが親水性で、外側ガラスが疎水的であるためにノズル端部において、インクの存在領域が芯側のガラスの内径程度に限られ、電界の集中効果がより顕著となる。

（3）微細ノズル化が可能となる。

（4）十分な機械的強度が得られる。

【0144】

ノズル径の下限値は、制作上の都合から $0.01\mu\text{m}$ が好ましく、また、ノズル径の上限値は、図18に示すように、局所的な電界強度によって吐出条件を満たす場合のノズル径の上限が $25\mu\text{m}$ であることから、 $25\mu\text{m}$ が好ましく、 $15\mu\text{m}$ がより好ましい。特に、局所的な電界集中効果をより効果的に利用するには、ノズル径は $0.01\mu\text{m}\sim 8\mu\text{m}$ の範囲が望ましい。本実施の形態において、ノズル径は $\phi 0.1\mu\text{m}\sim \phi 20\mu\text{m}$ の範囲に設定している。

【0145】

また、ノズル11は、キャピラリーチューブに限らず、微細加工により形成される2次元パターンノズルでもかまわない。ノズル11を成形性の良いガラスとした場合、ノズル11を電極として利用することはできないから、ノズル11内には、例えばタングステン線等の金属線を駆動電極13として挿入する。なお、ノズル11内にメッキにて駆動電極13を形成しても良い。また、ノズル11自体を導電性物質で形成した場合には、その表面に絶縁材をコーティングする。

【0146】

また、駆動電極13は、ノズル11内に充填された液体である吐出流体15に浸されるように配置する。吐出流体15は、図示しない供給源から供給される。

【0147】

電源14の動作は、例えばコンピュータからなる駆動電圧変調手段としての制御装置20により制御される。すなわち、制御装置20からの吐出信号が電源14に供給され、この吐出信号に応じて電源14から電圧が駆動電極13に印加される。ノズル11内の吐出流体15はこの電圧により帯電し、ノズル11から吐出される。

【0148】

絶縁性基板16としては、表面抵抗値が $10^{10}\Omega/\text{sq}$ 以上のものであれば良く、ポリイミドやアクリル、ポリカーボネード等の高分子材料以外に、低湿度環境下のガラス等からなるものも上記範囲内に当てはまる。本実施例では、絶縁性基板16としてガラス（ $52\text{mm}\times 52\text{mm}$ 、厚さ 7mm ）上にポリイミドを塗布・焼成したもの（ポリイミドコート基板）を使用した。

【0149】

上記の構成において、まず、ノズル11からの微細液体の吐出原理について説明する。

【0150】

この吐出原理は次のように考えられている。

【0151】

静電吸引型流体吐出装置では、電源 1 4 から駆動電極 1 3 に駆動電圧が印加されることにより、駆動電極 1 3 から吐出流体 1 5 に電荷が供給される。この電荷は、ノズル 1 1 内部の吐出流体 1 5 を通じて、ノズル 1 1 の先端部に形成された、静電容量を有するメニスカス 4 0 に移動する。そして、静電吸引型流体吐出装置 4 0 の電荷量が所定量に達すると、ノズル 1 1 から絶縁性基板 1 6 への液体の吐出が行われる。

【0152】

次に、静電吸引型流体吐出装置におけるノズル 1 1 から吐出流体 1 5 を吐出して絶縁性基板 1 6 に所望のパターンを形成する場合の動作について説明する。

【0153】

ノズル 1 1 は、3次元ロボット等の駆動装置により、所望のパターニングデータに応じて X 軸方向及び Y 軸方向に 2 次元駆動される。この際、ノズル 1 1 は、さらにノズル 1 1 の先端と絶縁性基板 1 6 との距離（ギャップ）が常に 30～200 μm の範囲内となるように、Z 軸方向の位置が制御される。上記のギャップ測定手段としては、レーザを利用した変位計又はレーザを利用したギャップ測長計が利用される。

10

【0154】

ノズル 1 1 の上記移動に伴い、ノズル 1 1 の駆動電極 1 3 に対して電源 1 4 から駆動電圧としての両極性電圧が印加される。これにより、ノズル 1 1 内の吐出流体 1 5 においてノズル 1 1 の先端方向に向けて電荷の移動が始まる。そして、ノズル 1 1 の先端部において吐出流体 1 5 により形成されるメニスカス 4 0 に電荷が蓄積されてその周辺部の電界強度が上昇する。その後、電界強度がノズル 1 1 から吐出流体 1 5 を吐出させるための臨界点を超えると、ノズル 1 1 から吐出流体 1 5 が吐出され、絶縁性基板 1 6 上に着弾する。

20

【0155】

この場合、ノズル 1 1 の駆動電圧として両極性電圧が駆動電極 1 3 に印加されているので、絶縁性基板 1 6 上に着弾する液体の極性は順次正負に反転する。吐出時間は両極性電圧の周波数に応じて変化し、この吐出時間、吐出電圧値に応じて、単位時間当たり絶縁性基板 1 6 上に着弾する吐出流体 1 5 が持つ電荷量、及びノズルから放電される電荷量に変化する。

【0156】

また、本実施の形態において、移動装置はステージ 1 2 を移動させるものとしているが、必ずしもこれに限らず、絶縁性基板 1 6 に描画するためにはステージ 1 2（絶縁性基板 1 6）とノズル 1 1 とが相対移動すればよく、したがって、移動装置はノズル 1 1 とステージ 1 2 との少なくとも一方を移動させるものであればよい。

30

【0157】

次に、上記駆動電圧の印加方法について説明する。

【0158】

静電吸引型流体吐出装置において、ノズル 1 1 から液体を吐出した場合、着弾した液体のもつ電荷の影響、電圧印加時にノズルから放電される電荷の影響で、絶縁性基板 1 6 上に駆動電圧印加時に駆動電極 1 3 から吐出流体 1 5 に供給された電荷と同極性の電荷が着弾部近傍に蓄積される。したがって、吐出前に比べ、絶縁性基板 1 6 とノズル 1 1 との間の電位差が低下し、ノズル－絶縁性基板間の電界強度が低下する。そのため、吐出前と同極性の電圧を印加し続けた場合、吐出に必要な電荷が蓄積されるまでの時間が長くなるばかりでなく、吐出された際に絶縁性基板 1 6 上に蓄積された電荷による反発電界の影響を受け、吐出された液体が分裂し、飛散する。

40

【0159】

したがって、絶縁性基板 1 6 上における液滴の飛散領域幅を最小限に抑制する上での理想的な状態は、図 1 に示すように、両極性電圧の正電圧と負電圧とで交互に吐出流体 1 5 を吐出することである。なお、両極性電圧の印加電圧値は、電荷蓄積量測定装置により測定した表面電位値を基に、各極性の印加電圧時間と印加バイアス電圧値との積を調整することにより、表面電位が略 0 V に除電することができる。

【0160】

50

本実施の形態においては、ノズル 11 としてガラスキャピラリー（先端径 $2\ \mu\text{m}$ ）を、吐出流体 15 として銀ペーストを、絶縁性基板 16 としてガラス（ $52\text{mm} \times 52\text{mm}$ 、厚さ 7mm ）上にポリイミドを塗布・焼成したもの（ポリイミドコート基板）を使用する。

【0161】

これらを使用した際の電荷蓄積量は、図 11 に示した結果と同じである。このことから、本実施の形態の条件では、絶縁性基板 16 は負極性側に帯電し易いことがわかる。よって、印加時間と印加電圧値との積が正極性印加時の値が負極性印加時の値以上となるように両極性電圧を印加することにより、表面電位が略 0V に除電されることがわかる。

【0162】

本実施の形態においては、図 1 に示すように、上記駆動電圧として振幅 400V 、+ と - との電圧印加時間比を $3:2$ のパルス電圧を用いることにより、絶縁性基板 16 の表面電位が略 0V に除電しながら所望のパターンを形成している。このように、絶縁性基板 16 の表面電位を除電しながら所望のパターンを形成することによって、絶縁性基板 16 上の液滴の飛散領域幅を抑制することができ、良好な描画像を安定して形成することができる。

【0163】

すなわち、図 11 から表面電位が略 0V に除電できる印加電圧値を判断できる。この図 11 に関する実験について、以下に詳述する。

【0164】

実験の目的は、電極に印加する印加電圧値に対し、基板表面がどの程度帯電するのかを測定することにより、絶縁性基板 16 の表面電位を略 0V に除電できる電圧印加条件を抽出することにある。絶縁性基板 16 の基板表面の帯電状況は表面電位を測定することにより評価する。

【0165】

まず、ガラスから作製したノズル（先端径 $1\ \mu\text{m}$ ）内に、吐出流体として銀ナノペーストを充填し、電極を挿入後、これを 300°C で焼成し、実験用ノズルとする。このノズルを用いた場合、電圧を印加しても流体の吐出は行われない。このノズルに電圧を印加し、絶縁性基板 16 の一定エリアを一定時間で操作した後、そのエリアの表面電位を測定することによって、電圧印加により、ノズルから放電され、基板表面に蓄積される電荷量を測定することができる。なお、絶縁性基板 16 としてはポリイミドを用いている。図 9 からわかるように、ポリイミドは非常に表面電位の減衰が小さい材料であるため、電荷の拡散の影響が殆どなく、絶縁性基板 16 に蓄積された電荷量を正確に測定できる。

【0166】

図 11 はその測定結果であるが、このように、同振幅の電圧を印加しても、極性により帯電状況が異なることがわかる。具体的には、本実験条件（ノズル材：ガラス、先端径： $\phi 1\ \mu\text{m}$ 、吐出流体：銀ナノペースト、基板材：ポリイミド）では、 $+400\text{V}$ 印加した際の表面電位値が $+30\text{V}$ であったのに対し、 -400V では表面電位値は -45V であった。印加電圧値が一定の場合、単位時間当たりの電荷蓄積量は一定と考えられるので、印加電圧の振幅値 400V における各極性の単位時間当たりの電荷蓄積量を比較すると、正極性電圧印加時に比べ、負極性電圧印加時は 1.5 倍になると考えられる。表面電位を略 0V に除電するには、正極性電圧の印加時間を負極性に比べ 1.5 倍にする必要がある。

【0167】

以上のことから、駆動電圧として振幅 400V 、+ と - の電圧印加時間比を $3:2$ のパルス電圧を用いることにより、吐出先部材の表面電位が略 0V に除電しながら所望のパターンを形成できると考えられる。したがって、図 11 から印加電圧値に対する表面電位値を読み取り、正負の電荷が打ち消しあうような電圧印加時間を決定することができる。

【0168】

なお、印加電圧の振幅値が同じであるにもかかわらず、負極性電圧を印加した場合の方

10

20

30

40

50

が基板の表面電位の上昇値が大きいのは、以下のことが考えられる。

(1) 正電圧印加時と負電圧印加時では、放電の種類が異なる。つまり、正電圧印加時は α 放電(印加電圧値に比例)が、負電圧印加時は α 放電+ γ 放電(印加電圧値の二乗に比例)が起これと考えられる。(この立場に立てば、材料を問わず常に吐出先基板は負極性側に帯電すると考えられる。)

(2) ノズル、吐出物、吐出先基板等の使用材料の物性により帯電しやすい極性が異なる。(本実験条件においては、負極性のほうが帯電し易い。)

しかしながら、いずれの場合においても、帯電状態が使用材料の物性(例えば吐出先部材の表面抵抗)により異なるため、その都度、図11に関する実験を行い、その結果から印加電圧値を決定することが好ましい。

10

【0169】

以上のように、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置では、ノズル11の駆動電極13に印加する駆動電圧として両極性電圧を使用しているので、絶縁性基板16のチャージアップによる絶縁性基板16での液滴の飛散領域の拡大と駆動電圧の上昇とを抑制することができる。この結果、絶縁性基板16に対する微細パターンの形成を、ノズル11の低電圧駆動により、かつ鮮明に行うことができる。

【0170】

なお、本実施の形態では、駆動電圧としての両極性電圧をノズル11の駆動電極13に印加するものとして説明したが、ノズル11からの吐出に必要な駆動電圧は駆動電極13に印加される電圧と対向電極として機能するステージ12との間の電位差である。したがって、駆動電圧は、ステージ12にのみ印加される電圧である構成、又はステージ12に印加される電圧と駆動電極13に印加される電圧との合成電圧(電位差)である構成であってもよい。

20

【0171】

また、吐出方式においては、ノズルに印加する駆動電圧を一定として、ノズル先端のメニスカス隆起量を別のアクチュエーター(圧電素子による体積変化、サーマルの膜沸騰による体積変化等)により制御して吐出タイミングを制御するメニスカス制御法がある。前期メニスカス制御法は、メニスカス隆起量が小さいときは、液滴が、吐出されず、メニスカス隆起量が大きいときに電界がより集中し、液滴が吐出される原理となっている。

【0172】

本実施の形態では、上記制御方法においても有効性で、メニスカス隆起タイミングと、本件記載の駆動電圧と同期を図ることで同様の効果を確認している。

30

【0173】

また、駆動電圧である両極性電圧としては、正弦波等のようなスルーレートの低い波形であっても利用可能である。

【0174】

〔実施の形態2〕

本発明の他の実施の形態について図3に基づいて説明すれば、以下の通りである。なお、本実施の形態において説明すること以外の構成は、前記実施の形態1と同じである。また、説明の便宜上、前記の実施の形態1の図面に示した部材と同一の機能を有する部材については、同一の符号を付し、その説明を省略する。

40

【0175】

本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置においても、図2に示した構成を有する。また、本実施の形態では、図3(a)(b)(c)に示す駆動方法を行う。

【0176】

本実施の形態における条件で、本実施例の静電吸引型流体吐出装置を使用した際、ノズル11の駆動電極13に片極性のバイアス電圧を印加した場合の吐出先基板に蓄積される電荷(表面電位)との関係は、図11のようになる。

【0177】

すなわち、片側極性のバイアス電圧を印加し続けると、吐出先基板の表面電位が上昇し

50

、吐出前に比べ絶縁性基板 16 とノズル 11 との間の電位差が低下し、ノズルー絶縁性基板間の電界強度が低下する。そのため、吐出に必要な電荷が蓄積されるまでの時間が長くなるばかりでなく、吐出された際に絶縁性基板 16 上に蓄積された電荷による反発電界の影響を受け、吐出された液体が分裂し、飛散する。

【0178】

したがって、絶縁性基板 16 上における液滴の飛散領域幅を抑制するには、両極性電圧の正電圧と負電圧とで交互に吐出流体 15 を吐出することが有効である。しかし、一方では、両極性電圧を同振幅で同時間印加しても、図 11 からわかるように、正電圧印加時と負電圧印加時とによって絶縁性基板 16 の電荷蓄積量が異なるため、絶縁性基板 16 は負極性側に帯電する。

10

【0179】

そのため、本実施の形態では、図 3 (a) に示すように、駆動電圧として振幅 375 V、Duty 比 50 の両極性パルス電圧に、図 3 (b) (c) に示すように、25 V のバイアス電圧を印加したものを使用している。これにより、絶縁性基板 16 が負極性側に帯電するのを防ぎ、絶縁性基板 16 の表面電位を略 0 V に除電する。

【0180】

また、振幅 375 V、Duty 比 50 の両極性パルス電圧に 25 V のバイアス電圧を印加することにより、負極性側の駆動電圧を低電圧化することができ、安全性も向上する。

【0181】

以上のように、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置では、駆動電圧として両極性パルス電圧にバイアス電圧を印加したものを使用してノズル 11 を駆動することにより、駆動電圧を低電圧化し、さらには吐出最低電圧の上昇を抑制し、かつ絶縁性基板 16 上における液滴の飛散領域を狭くし、絶縁性基板 16 上において鮮明な微細パターンを形成することができる。

20

【0182】

なお、本実施の形態では、駆動電圧としての両極性パルス電圧をノズル 11 の駆動電極 13 に印加するものとして説明したが、ノズル 11 からの吐出に必要な駆動電圧は駆動電極 13 に印加される電圧と対向電極として機能するステージ 12 との間の電位差である。

【0183】

したがって、駆動電圧は、ステージ 12 にのみ印加される電圧である構成、或いはステージ 12 に印加される電圧と駆動電極 13 に印加される電圧との合成電圧（電位差）である構成であってもよい。

30

【0184】

また、吐出方式においては、ノズルに印加する駆動電圧を一定として、ノズル先端のメニスカス隆起量を別のアクチュエーター（圧電素子による体積変化、サーマルの膜沸騰による体積変化等）により制御して吐出タイミングを制御するメニスカス制御法がある。前期メニスカス制御法は、メニスカス隆起量が小さいときは、液滴が、吐出されず、メニスカス隆起量が大きいときに電界がより集中し、液滴が吐出される原理となっている。

【0185】

本実施の形態では、上記制御方法においても有効性で、メニスカス隆起タイミングと、本件記載の駆動電圧と同期を図ることによって、同様の効果を確認している。

40

【0186】

また、駆動電圧である両極性電圧としては、正弦波等のようなスルーレートの低い波形であっても利用可能である。

【0187】

〔実施の形態 3〕

本発明のさらに他の実施の形態について図 4 に基づいて説明すれば、以下の通りである。なお、本実施の形態において説明すること以外の構成は、前記実施の形態 1 及び実施の形態 2 と同じである。また、説明の便宜上、前記の実施の形態 1 及び実施の形態 2 の図面に示した部材と同一の機能を有する部材については、同一の符号を付し、その説明を省略

50

する。

【0188】

本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置は、図2に示した構成を有する。

【0189】

本実施の形態では、図4に示すように、駆動電圧としてDuty比の異なる両極性電圧にバイアス電圧を印加したものを使用している。これにより、正電圧印加時と負電圧印加時に発生する電荷供給量の差に依存した絶縁性基板16の帯電の原因となる、駆動電圧の電圧印加条件をより詳細に設定することができ、絶縁性基板16のチャージアップをより効率良く防ぎ、絶縁性基板16の表面電位を略0Vに除電することができる。

【0190】

また、負極性側の駆動電圧を低電圧化することができ、安全性も向上する。

【0191】

以上のように、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置では、Duty比の異なる両極性電圧にバイアス電圧を印加したものを駆動電圧として使用することにより、絶縁性基板16上における液滴の飛散を抑制して、鮮明な微細パターンを形成することが可能となる。

【0192】

なお、本実施の形態では、駆動電圧としての両極性パルス電圧をノズル11の駆動電極13に印加するものとして説明したが、ノズル11からの吐出に必要な駆動電圧は駆動電極13に印加される電圧と対向電極として機能するステージ12との間の電位差である。したがって、駆動電圧は、ステージ12にのみ印加される電圧である構成、或いはステージ12に印加される電圧と駆動電極13に印加される電圧との合成電圧（電位差）である構成であってもよい。

【0193】

また、吐出方式においては、ノズルに印加する駆動電圧を一定として、ノズル先端のメニスカス隆起量を別のアクチュエーター（圧電素子による体積変化、サーマルの膜沸騰による体積変化等）により制御して吐出タイミングを制御するメニスカス制御法がある。前期メニスカス制御法は、メニスカス隆起量が小さいときは、液滴が、吐出されず、メニスカス隆起量が大きいときに電界がより集中し、液滴が吐出される原理となっている。

【0194】

本発明は、上記制御方法においても有効性で、メニスカス隆起タイミングと、本件記載の駆動電圧と同期を図ることで同様の効果を確認している。

【0195】

また、駆動電圧である両極性パルス電圧としては、正弦波等のように比較的スルーレートの低い波形であっても利用可能である。

【0196】

〔実施の形態4〕

本発明のさらに他の実施の形態について図5及び図6に基づいて説明すれば、以下の通りである。なお、本実施の形態において説明すること以外の構成は、前記実施の形態1～実施の形態3と同じである。また、説明の便宜上、前記の実施の形態1～実施の形態3の図面に示した部材と同一の機能を有する部材については、同一の符号を付し、その説明を省略する。

【0197】

本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置は、図2に示した構成を有する。

【0198】

本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置を用いて、絶縁性基板16上へ吐出材を吐出する際、駆動電圧としてDuty比の異なる両極性電圧にバイアス電圧を印加したものを使用しても、液滴の飛散が生じることがある。これは、絶縁性基板16表面の初期帯電の影響により、通常略0Vに除電される電圧印加状態であっても除電されずに電荷が絶縁性基板表面に蓄積されるため、ノズル吐出先基板間の電位差を不安定にし、吐出量変動や吐

10

20

30

40

50

出不良、吐出流体滴の飛散を発生させる。

【0199】

そのため、本実施の形態では上記問題を解消した流体吐出方法を使用している。以下に、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置を用いた流体吐出方法について詳細に説明する。

【0200】

まず、図5に示す初期帯電量測定装置により、吐出先基板の吐出箇所における帯電量を測定する。上記の初期帯電量測定装置では、表面電位測定装置17のプローブ18とステージ12とが対向配置されている。すなわち、プローブ18の測定部が下方を向くように配置され、プローブ18の下方にステージ12が水平に設けられている。ステージ12は

10

【0201】

ステージ12上には吐出流体15の吐出先である吐出先基板としての絶縁性基板16が固定される。ステージ12は接地されている。したがって、絶縁性基板16はステージ12を通じて接地される。

【0202】

本実施の形態においては、絶縁性基板16としてガラス(52mm×52mm、厚さ7mm)上にポリイミドを塗布・焼成したもの(ポリイミドコート基板)を、表面電位測定手段17として高精度表面電位計(例えば、商品名:MODEL323,TREK社製)を使用した。

20

【0203】

次に、初期帯電量の測定方法について説明する。

【0204】

表面電位測定装置17におけるプローブ18と絶縁性基板16とのギャップを測定し、表面電位測定装置17の測定領域を算出する。上記のギャップ測定手段としては、レーザを利用した変位計又はレーザを利用したギャップ測長計が利用される。表面電位測定装置17及びノズルは図示しない保持部材によりその相対距離が変動しないように固定される。このとき、表面電位測定装置17と絶縁性基板16とのギャップをできるだけ小さくすることにより、より微小領域の表面電位測定を可能とし、測定精度が向上する。

【0205】

30

次に、ステージ12を図示しない移動手段により動作させ、絶縁性基板16上の表面電位を測定し、吐出対象の絶縁性基板16の表面電位の二次元分布図を作成する。これをもとに、吐出箇所における駆動電圧をコンピュータ等の駆動電圧作製手段、駆動電圧印加手段により作製する。駆動電圧の作製方法として、Duty比の異なる両極性電圧にバイアス電圧を印加し、単位周期毎にDuty比、印加バイアス電圧値を調整する。具体的には、例えば表面電位が正極性側に帯電している場合、正極性のバイアス電圧を印加すると共に、負極性側の印加時間を長くする。このことにより、正極性印加時において十分な電位差を確保しつつ、負極性印加により十分に除電することができる。同様の理由から、表面電位が負極性側に帯電している場合、負極性のバイアス電圧を印加すると共に、正極性側の印加時間を長くすればよい。

40

【0206】

図6(a)は本実施の形態の表面電位二次元分布図、図6(b)は図6(a)の直線1に沿って測定した際の表面電位変化、図6(c)は図6(b)のように帯電した基板上に吐出する際の駆動電圧の波形の一例である。

【0207】

上記の吐出方法によれば、ノズルー吐出先基板間の電位差の変動をより小さくすることが可能となり、吐出量変動や吐出不良、吐出流体滴の飛散を抑制する。さらには、吐出前に絶縁性基板16の除電を行う除電用装置の必要がなくなり、装置構成に自由度が増す。

【0208】

以上のように、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置では、駆動電圧としてDuty

50

比の異なる両極性電圧にバイアス電圧を印加し、単位周期毎にDuty比、印加バイアス電圧値を調整したものを使用しているため、絶縁性基板16上において、着弾ドット（着弾液滴）周辺部への液滴の飛散を抑制し、鮮明な微細パターンを形成することができる。

【0209】

なお、本実施の形態では、駆動電圧としての両極性パルス電圧をノズル11の駆動電極13に印加するものとして説明したが、ノズル11からの吐出に必要な駆動電圧は駆動電極13に印加される電圧と対向電極として機能するステージ12との間の電位差である。したがって、駆動電圧は、ステージ12にのみ印加される電圧である構成、或いはステージ12に印加される電圧と駆動電極13に印加される電圧との合成電圧（電位差）である構成であってもよい。

10

【0210】

また、吐出方式においては、ノズルに印加する駆動電圧を一定として、ノズル先端のメニスカス隆起量を別のアクチュエーター（圧電素子による体積変化、サーマルの膜沸騰による体積変化等）により制御して吐出タイミングを制御するメニスカス制御法がある。前期メニスカス制御法は、メニスカス隆起量が小さいときは、液滴が、吐出されず、メニスカス隆起量が大きいときに電界がより集中し、液滴が吐出される原理となっている。

【0211】

本発明は、上記制御方法においても有効性で、メニスカス隆起タイミングと、本件記載の駆動電圧と同期を図ることで同様の効果を確認している。

【0212】

20

また、駆動電圧である両極性電圧としては、正弦波等のようなスルーレートの低い波形であっても利用可能である。

【0213】

〔実施の形態5〕

本発明のさらに他の実施の形態について図7に基づいて説明すれば、以下の通りである。なお、本実施の形態において説明すること以外の構成は、前記実施の形態1～実施の形態4と同じである。また、説明の便宜上、前記の実施の形態1～実施の形態4の図面に示した部材と同一の機能を有する部材については、同一の符号を付し、その説明を省略する。

【0214】

30

本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置は、前記実施の形態1～4で説明した静電吸引型流体吐出装置の構成に加え、図7に示すように、絶縁性基板16の電荷蓄積量を測定する表面電位測定装置17とそのプローブ18、及びその結果をフィードバックさせ、上記駆動電圧の極性毎の電圧印加時間、印加バイアス電圧値を変調させる駆動電圧変調手段としての制御装置20と、表面電位測定手段17と上記ノズルとの相対距離を保持する保持部材21と、上記ノズルを上記表面電位測定手段と共に移動させる図示しない移動手段と、上記表面電位測定手段と上記ノズルとの絶対位置が変動できる回転機構22とを備えている。

【0215】

本実施の形態においては、表面電位測定装置17として高精度表面電位計を、駆動電圧変調手段20としてコンピュータを使用している。なお、駆動電圧はコンピュータから出力された電圧信号を図示しない増幅器により増幅したものを使用している。なお、駆動電圧変調手段から出力される出力電圧が条件に見合えば、増幅器等により出力信号を増幅させる必要はない。

40

【0216】

また、上記回転機構22は、保持部材21に対し、垂直でかつプローブ18の測定面が基板と並行になるように固定されている。プローブ18にも実施の形態1で説明したような絶縁性基板16の段差を測定できるレーザー測長機を付随させる必要があるため、絶縁性基板16に対し垂直方向に変動できるよう、プローブ18を固定している保持部材21に垂直方向の移動機構を設け、レーザー測長機の信号を基に、その位置を変調する必要がある。

50

ある。

【0217】

なお、同図に示す位置に回転機構22を設けた理由は、吐出開始時の描画方向を変更する際、プローブ18のみを回転させることによって、吐出方向の変更ができるからである。本実施の形態の内容を満たす回転機構22の設置場所は、ノズル11とプローブ18とを保持しているものであれば、どこに設置してもかまわないが、同図に示す以外の場所に設置する場合は、別途ヘッド全体を保持している部材に、描画方向を変更するための回転機構を設ける必要がある。

【0218】

次に、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置における、ノズル11から吐出流体15を吐出して絶縁性基板16に所望のパターンを形成する場合の動作について説明する。

【0219】

まず、絶縁性基板16上の吐出予定箇所の上方に、ノズル11との相対距離が保持部材21によって固定された表面電位測定装置17のプローブ18を配置する。この保持部材21は、自身の長さが調整可能となっている。すなわち、プローブ18が検知した表面電位値を基に印加電圧値を変更する（フィードバックする）ので、プローブ18は常にノズル前方に配置される必要がある。フィードバックにはある一定時間が必要であるが、その際、ヘッド部（ノズル、保持部材、プローブ等）の移動速度、或いは絶縁性基板16の送り速度により、ノズルー吐出先基板間の相対移動距離が異なる。このことにより、フィードバックされた情報を基に吐出する位置が、吐出目的位置とずれることが考えられる。これを微調整するために、保持部材21に長さ調整できる機構を設けるのが好ましい。なお、フィードバック情報の伝達速度を調整することでも可能であるが、長さ調整の方が、より簡易に調整できる。

【0220】

一方、上記ノズル11はプローブ18の移動方向と反対側に配置される。ノズル11とプローブとの距離は、表面電位測定装置17の測定時間分解能、ノズル11とプローブ18の移動速度、表面電位測定装置17から制御装置20にフィードバックされ、吐出信号として出力されるまでの時間から逆算することにより、プローブ18で測定した場所に対応した位置の上方にノズル11が配置されたときにノズル11から吐出流体15が吐出されるように調整する。

【0221】

次に、駆動電圧について説明する。表面電位測定装置17により測定された表面電位値が0Vの場合、図11に示す印加電圧と電荷蓄積量との関係を基に、一周期電圧を印加した際、絶縁性基板16の吐出箇所近傍の表面電位が略0Vになるように、両極性電圧のDuty比、印加バイアス電圧値のうち少なくともいずれか一つを調整し、駆動電圧として使用する。

【0222】

表面電位値が0V以外の場合は、その表面電位値を考慮した上で、一周期電圧を印加した際、絶縁性基板16の吐出箇所近傍の表面電位が略0Vになるように、両極性電圧のDuty比、印加バイアス電圧値のうち少なくともいずれか一つを調整する。

【0223】

絶縁性基板16に所望のパターンを形成する場合、駆動電圧を印加しながらノズル11、プローブ18を移動させる。このとき、絶縁性基板16において局所帯電が生じている箇所では、プローブ18により測定される表面電位値が変化する。この表面電位値の変化量を読み取り、駆動電圧発生手段であるコンピュータに信号として送る。コンピュータ内部では、送られてきた表面電位値の変化量と、予めコンピュータ内部に入力された印加電圧と電荷蓄積量の関係に関する情報を基に、両極性電圧のDuty比、印加バイアス電圧値のうち少なくともいずれか一つを調整し、一周期電圧を印加した際、吐出先基板の吐出箇所近傍の表面電位が略0Vになるような駆動電圧を変調し、出力する。上記記載の駆動電圧の変調は、あらかじめ作成したプログラムにより自動的に行う。

【0224】

移動方向を変更する場合、保持部材21の伸縮、ノズルを軸とした表面電位計保持機構の回転のうち少なくとも一つの動作により、常にノズル11の移動予定位置のある一定距離先をプローブ18が移動する。

【0225】

上記構成の静電吸引型流体吐出装置を使用し、上記の吐出方法によれば、絶縁性基板16の初期帯電の影響によるノズルー絶縁基板間の電位差の変動をより小さくすることが可能となり、吐出量変動や吐出不良、吐出流体滴の飛散を抑制する。さらには、吐出前に絶縁性基板16の除電を行う除電用装置の必要がなくなり、装置構成に自由度が増す。

【0226】

10

以上のように、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置では、ノズル11の移動方向前方に、ノズル11との相対距離が変動しないように保持する保持部材21により保持された絶縁性基板16の電荷蓄積量を測定する表面電位測定装置17のプローブ18を備え、この表面電位測定装置17により絶縁性基板16の吐出箇所における局所帯電を測定し、その結果を駆動電圧変調手段としての制御装置20にフィードバックさせ、駆動電圧の電圧印加時間、印加電圧値を変調させることにより、絶縁性基板16の局所帯電による、ノズルー吐出先基板間の電位差不安定による吐出不良を解消するだけでなく、吐出流体滴の飛散を抑制し、鮮明な微細パターンを形成することができる。

【0227】

また、前実施の形態で説明した、初期帯電量測定の必要がなくなり、より簡便な吐出方法を提供することができる。

20

【0228】

また、表面電位の絶対量ではなく、移動による変位から駆動電圧を変調させるため、より精度のよい駆動電圧変調を行うことができる。すなわち、実施の形態4に示したように、吐出前に絶縁性基板16全体の表面電位を測定し、それを初期帯電分布のデータとしてコンピュータに取り込み、吐出電圧波形を作製する手法では、初期帯電分布データの習得、コンピュータへの取り込み、電圧波形作製とかなりの時間が必要となる。この時間内に、微量ではあるが、表面電位の減衰などが起こり絶縁性基板16の帯電分布が変わることが考えられる。このことにより、吐出の際、基板表面を除電しようと供給した電荷が余剰となり基板表面が帯電してしまうため、結果として吐出不良が発生する。

30

【0229】

それに比べ、実施の形態5のように、吐出直前に吐出先の表面電位を測定しフィードバックさせる方法では、絶縁性基板16の表面電位の減衰等の帯電量変化による、印加電圧値の誤差を最小限にとどめることができる。また、常に絶対量を測定し、その値から波形を作製するのではなく、変化量のみを読み取ることによって、表面電位が変化した際のみコンピュータに情報を送り、新たな波形を作製するため、フィードバックに要する時間が短縮され、分解能があがる。結果として、より精度のよい駆動電圧変調を行うことができる。

【0230】

さらに、本実施の形態では保持部材21は、表面電位測定装置17と上記ノズル11との距離を保ってその絶対位置関係を変動する回転機構に取り付けられている。

40

【0231】

すなわち、表面電位測定装置17のプローブ18は、常にノズル11の移動方向の前方に配置する必要がある。吐出を行いながら、移動方向を変更したいとき、ノズル11よりも先にプローブ18が移動方向を変更する必要がある。例えば、ノズル11は北方向へ移動しているが、次に西方向へ移動したいため（左に回転）、プローブ18だけ西方向へ移動させる。このような動作を行わせるためには、ノズル11とプローブ18とを保持する保持部材21に回転機構22が必要である。

【0232】

また、回転機構は、少なくとも一つあれば足りるが、好ましくは二つ以上ある方が好ま

50

しい。これは、ノズル 11 とは逆方向にプローブ 18 を動かすことができるためである。勿論、ノズル 11 と保持部材 21 とが接触しないように、接触するような状態においては、プローブ 18 を別途回避させ、フィードバックを停止し、接触しない状態になった後にプローブ 18 のみの移動速度を上げ、情報を伝達する等の、回避方法が必要となる。また、プローブ 18 のみ移動速度を上げるのは、移動と同時に保持部材 21 を伸延させることで可能である。また、回転機構の回転方向については、絶縁性基板 16 に対し垂直方向を軸とした回転としている。したがって、ノズル-基板間距離、及びプローブ-基板間距離は回転により変動しない。

【0233】

なお、本実施の形態では、駆動電圧としての両極性パルス電圧をノズル 11 の駆動電極 13 に印加するものとして説明したが、ノズル 11 からの吐出に必要な駆動電圧は駆動電極 13 に印加される電圧と対向電極として機能するステージ 12 との間の電位差である。したがって、駆動電圧は、ステージ 12 にのみ印加される電圧である構成、又はステージ 12 に印加される電圧と駆動電極 13 に印加される電圧との合成電圧（電位差）である構成であってもよい。

【0234】

さらに、吐出方式においては、ノズルに印加する駆動電圧を一定として、ノズル先端のメニスカス隆起量を別のアクチュエーター（圧電素子による体積変化、サーマルの膜沸騰による体積変化等）により制御して吐出タイミングを制御するメニスカス制御法がある。前記メニスカス制御法は、メニスカス隆起量が小さいときは、液滴が、吐出されず、メニスカス隆起量が大きいときに電界がより集中し、液滴が吐出される原理となっている。

【0235】

本実施の形態では、上記制御方法においても有効性で、メニスカス隆起タイミングと、本件記載の駆動電圧と同期を図ることで同様の効果を確認している。

【0236】

また、駆動電圧である両極性電圧としては、正弦波等のようなスルーレートの低い波形であっても利用可能である。

【0237】

なお、本発明は、上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

【産業上の利用可能性】

【0238】

本発明の静電吸引型流体吐出方法及び静電吸引型流体吐出装置は、基板上に微細なドットや微細な配線パターンを形成することができるので、液晶ディスプレイ、プラズマディスプレイ、エレクトロルミネッセンス等のフラットディスプレイ製造におけるパターン形成を始め、半導体装置製造やプリント配線板の導体パターン形成等にも適用できる。

【図面の簡単な説明】

【0239】

【図 1】本発明における静電吸引型流体吐出方法及び静電吸引型流体吐出装置の実施の一形態を示すものであり、駆動電極に印加すべく、電源から出力される駆動電圧の一例を示す波形図である。

【図 2】上記静電吸引型流体吐出装置の概略構成を示す斜視図である。

【図 3】上記電源から出力される駆動電圧の他の例を示す波形図であり、（a）の波形と（b）の波形とを合成することにより（c）の波形が出力される。

【図 4】上記電源から出力される駆動電圧の他の例を示す波形図である。

【図 5】上記静電吸引型流体吐出方法及び静電吸引型流体吐出装置に使用される初期帯電量測定装置の概略構成を示す斜視図である。

【図 6】（a）は、上記初期帯電量測定装置を用いて測定した、絶縁性基板の初期帯電の二次元分布図であり、（b）は（a）の直線 I に沿って測定した際の表面電位の変化を示

10

20

30

40

50

す波形図であり、(c)は(b)のように帯電した吐出先基板上に吐出する際の駆動電圧の一例を示す波形図示である。

【図7】本発明の実施の他の形態を示すものであり、静電吸引型流体吐出装置の概略構成を示す斜視図である。

【図8】(a)は本発明の比較例を示すもの静電吸引型流体吐出方法及び静電吸引型流体吐出装置に使用される電荷蓄積量測定装置の概略構成を示す斜視図であり、(b)～(d)は上記電荷蓄積量測定装置を使用したときの、絶縁性基板の電荷蓄積量測定方法を示す説明図である。

【図9】各種絶縁性基板の表面電位の減衰挙動を示すグラフである。

【図10】各種絶縁性基板の表面電位の減衰挙動を、表面抵抗値を下に補正したグラフである。

10

【図11】駆動電極に印加する印加電圧と電荷蓄積量(表面電位)との関係を示したグラフである。

【図12】吐出先基板として表面抵抗値が $10^{15} \Omega / sq$ のポリイミドを使用した場合と吐出先基板として表面抵抗値が $10^{10} \Omega / sq$ のガラス基板又は導電体のSUS基板を使用した場合とにおけるDCバイアスによる吐出最低電圧を示す説明図である。

【図13】ノズルの駆動電圧として両極性パルス電圧を使用する場合とDCバイアスを使用する場合とにおける吐出最低電圧を示す説明図である。

【図14】ノズルの駆動電圧として両極性パルス電圧を使用しての描画パターン形成時に、描画パターンの周辺に微小な液滴の飛散が発生した状態を示す説明図である。

20

【図15】(a)はノズルの駆動電圧としての周波数の低いパルス電圧の一例を示す波形図であり、(b)は絶縁性基板上において液滴の飛散が発生する原理を説明する図である。

【図16】本発明の前提技術におけるノズルの電界強度を示す説明図である。

【図17】上記前提技術における、表面張力圧力と静電的圧力とのノズル径依存性についてのモデル計算結果を示したグラフである。

【図18】上記前提技術における、吐出圧力のノズル径依存性についてのモデル計算結果を示したグラフである。

【図19】上記前提技術における、吐出限界電圧のノズル径依存性についてのモデル計算結果を示したグラフである。

30

【図20】上記前提技術における、荷電液滴と吐出先基板との間に働く鏡像力とノズルー基板間距離との相関を示したグラフである。

【図21】上記前提技術における、ノズルから流出する流量と印加電圧との相関関係についてのモデル計算結果を示したグラフである。

【図22】従来の静電吸引型インクジェット方式の考え方である、電気流体力学的な不安定性による静電曳き糸現象による曳き糸成長の原理を示す説明図である。

【符号の説明】

【0240】

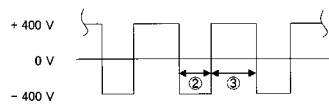
- 11 ノズル
- 12 ステージ
- 13 駆動電極
- 14 電源(駆動電圧印加手段)
- 15 吐出流体(流体)
- 16 絶縁性基板(吐出先基板)
- 17 表面電位測定装置(表面電位測定手段)
- 18 プローブ
- 19 表面電位測定領域
- 20 制御装置(駆動電圧変調手段)
- 21 保持部材
- 22 回転機構

40

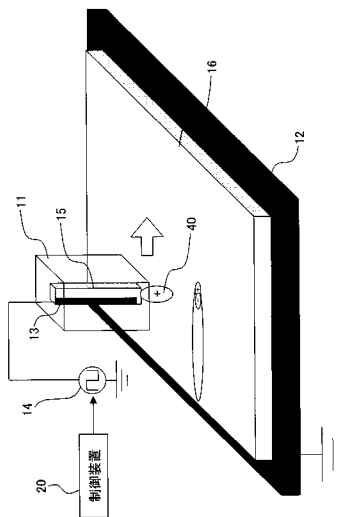
50

40 メニスカス

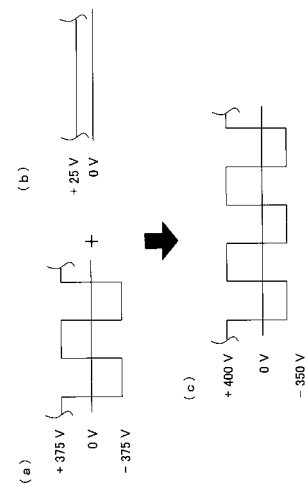
【図 1】



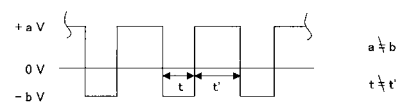
【図 2】



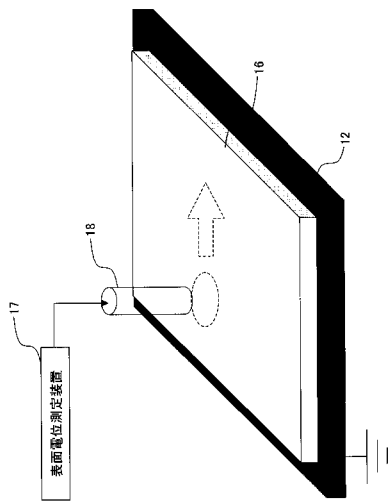
【図 3】



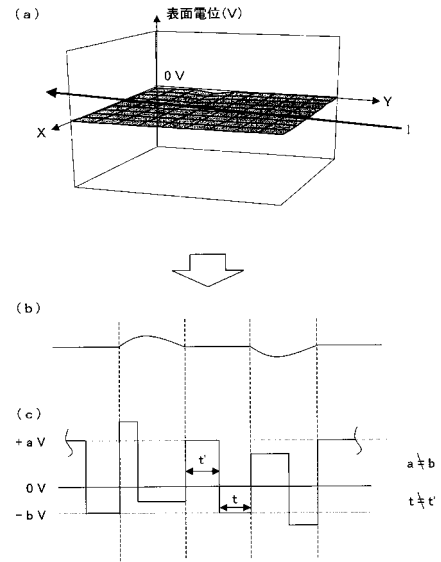
【図 4】



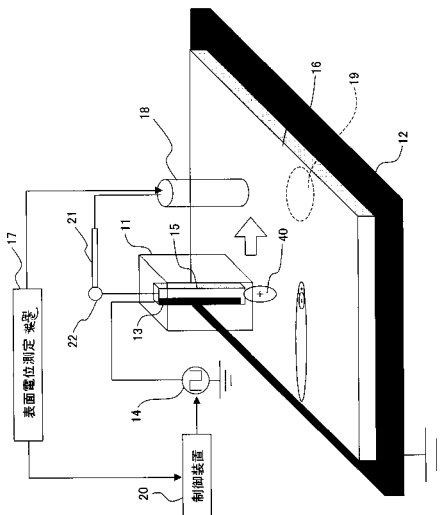
【図 5】



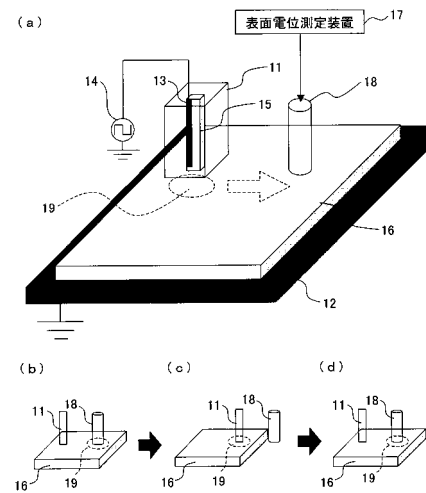
【図 6】



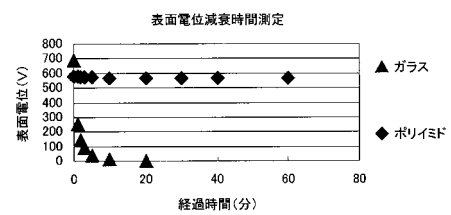
【図 7】



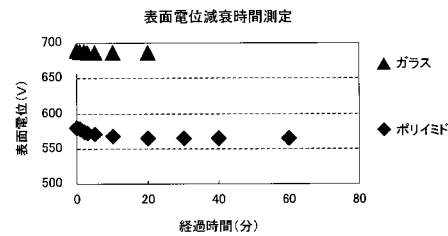
【図 8】



【図 9】



【図 1 0】



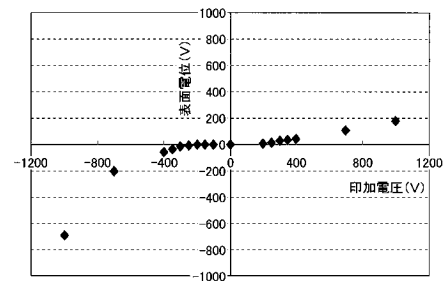
【図 1 2】

基板の種類	吐出最低電圧
ポリイミド ($10^{15} \Omega / sq$)	330V
ガラス ($10^{15} \Omega / sq$)	148V
SUS	148V

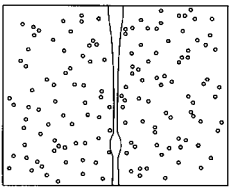
【図 1 3】

電圧印加方法	吐出最低電圧
DC	330V
両極性パルス電圧	163V

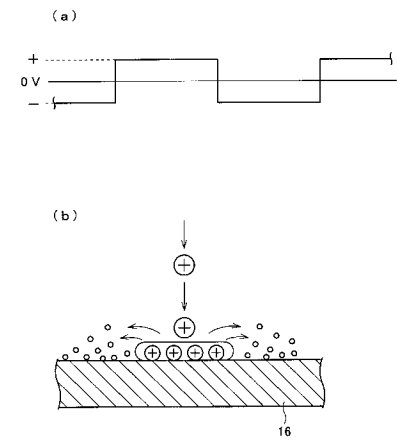
【図 1 1】



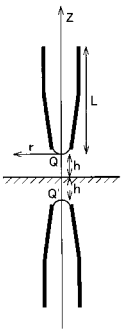
【図 1 4】



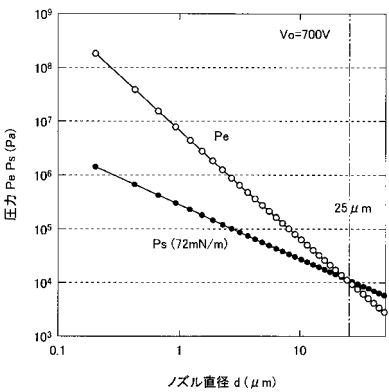
【図 1 5】



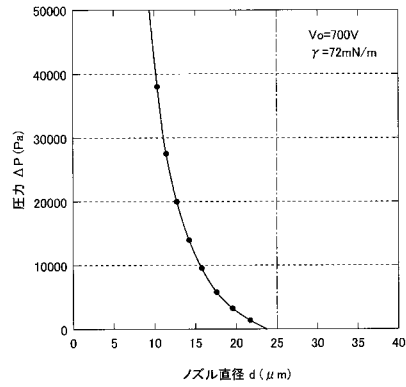
【図 1 6】



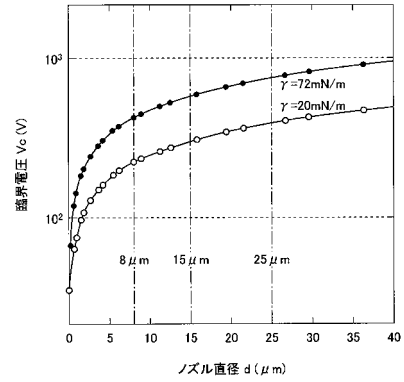
【図 1 7】



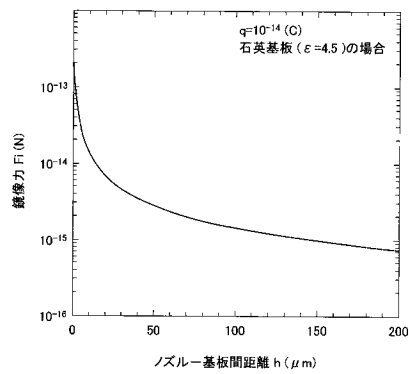
【図 18】



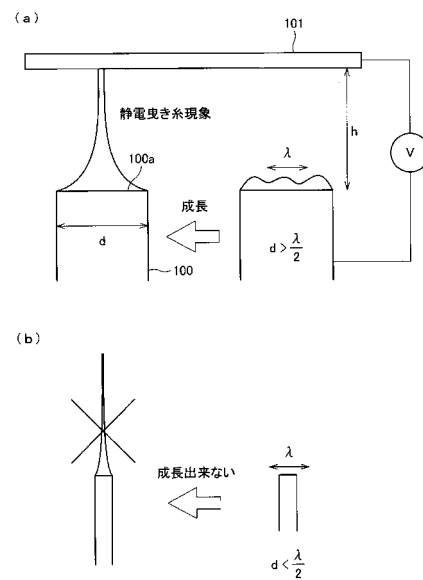
【図 19】



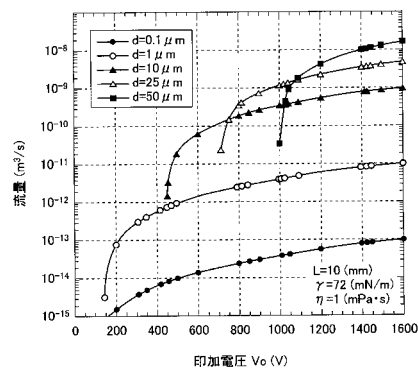
【図 20】



【図 22】



【図 21】



フロントページの続き

- (72)発明者 河合 英嗣
大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号 シャープ株式会社内
- (72)発明者 村田 和広
茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内
- (72)発明者 岩下 広信
東京都日野市さくら町1番地 コニカミノルタテクノロジーセンター株式会社内

審査官 山本 晋也

- (56)参考文献 特許第3967296 (JP, B2)
特開平07-290704 (JP, A)
特開平05-330034 (JP, A)
特開2004-136656 (JP, A)
国際公開第97/032728 (WO, A1)
特開2004-165587 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | | |
|------|-------|-------|
| B05D | 1/00- | 7/26 |
| B41J | 2/00- | 2/525 |
| B05C | 5/00- | 5/04 |