

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5961630号
(P5961630)

(45) 発行日 平成28年8月2日 (2016.8.2)

(24) 登録日 平成28年7月1日 (2016.7.1)

(51) Int. Cl.	F I
B O 5 B 5/08 (2006.01)	B O 5 B 5/08 B
B O 5 B 5/025 (2006.01)	B O 5 B 5/025 A
B O 1 J 2/04 (2006.01)	B O 1 J 2/04

請求項の数 19 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2013-550564 (P2013-550564)	(73) 特許権者	597025806 ワシントン・ユニバーシティ Washington University アメリカ合衆国63130ミズーリ州セント・ルイス、ワン・ブルッキングズ・ドライブ
(86) (22) 出願日	平成24年1月18日 (2012.1.18)		
(65) 公表番号	特表2014-509251 (P2014-509251A)		
(43) 公表日	平成26年4月17日 (2014.4.17)		
(86) 国際出願番号	PCT/US2012/021723		
(87) 国際公開番号	W02012/099961	(74) 代理人	100100158 弁理士 鮫島 睦
(87) 国際公開日	平成24年7月26日 (2012.7.26)	(74) 代理人	100138863 弁理士 言上 恵一
審査請求日	平成27年1月15日 (2015.1.15)	(74) 代理人	100145403 弁理士 山尾 憲人
(31) 優先権主張番号	61/434,249		
(32) 優先日	平成23年1月19日 (2011.1.19)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 液体シートを放出する電気流体力学的噴霧ノズル

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

外表面を有するインナーロッドと、
前記インナーロッドと同心状に整列し、かつ前記インナーロッドと離間しており、内表面を有するアウターチューブと、
前記インナーロッドと前記アウターチューブとの間に規定された環状流路であって、ノズルのスプレイエンドに円形スリットを形成しており、前記円形スリットは、前記インナーロッドの外表面と前記アウターチューブの内表面とによって規定される幅を有する、環状流路と、
前記円形スリットに近接する前記インナーロッドと前記アウターチューブの、少なくとも一方の上に位置する少なくとも1つの帯電可能なノッチと、
を含む電気流体力学的噴霧のためのノズル。

【請求項 2】

前記インナーロッドが、その内部を通して規定される中央流路を含む、請求項 1 に記載のノズル。

【請求項 3】

前記中央流路が、その内部を通る安定化ガスおよび安定化液体の少なくとも一方の流れを容易にするように構成される、請求項 2 に記載のノズル。

【請求項 4】

前記インナーロッドおよび前記アウターチューブと同心状に整列した最外部チューブを

更に含み、前記アウターチューブと前記最外部チューブとの間に外側流路が規定される、請求項 1 に記載のノズル。

【請求項 5】

前記最外部チューブ上に位置する少なくとも 1 つの帯電可能なノッチを更に含む、請求項 4 に記載のノズル。

【請求項 6】

前記少なくとも 1 つの帯電可能なノッチが、前記インナーロッドと前記アウターチューブのどちらか一方にのみ位置する、請求項 1 に記載のノズル。

【請求項 7】

前記インナーロッドが前記ノズルのスプレイエンドにセンターピースを含み、前記アウターチューブが前記ノズルのスプレイエンドに末端部分を含み、前記センターピースが前記末端部分に対して凹部を有する、請求項 1 に記載のノズル。

10

【請求項 8】

前記インナーロッドが前記ノズルのスプレイエンドにセンターピースを含み、前記アウターチューブが前記ノズルのスプレイエンドに末端部分を含み、前記センターピースが前記末端部分に対して延在している、請求項 1 に記載のノズル。

【請求項 9】

前記少なくとも 1 つの帯電可能なノッチが複数のノッチを含み、前記複数のノッチが互いに間隔を空けて配置され、前記複数のノッチが帯電している時に、前記複数のノッチの 1 つにより作られる電界が前記複数のノッチの近接するノッチにより作られる電界によって妨げられない、請求項 1 に記載のノズル。

20

【請求項 10】

電気流体力学的噴霧のシステムであって、

ノズルであって、

ソースエンドと、

スプレイエンドと、

第 1 表面を含む第 1 部品と、

第 2 表面を含み、前記第 2 表面は前記第 1 部品の第 1 表面と離間しており、前記第 1 部品と同心状に整列している、第 2 部品と、

第 1 表面と第 2 表面との間に規定された流路であって、前記ノズルの前記スプレイエンドに出口スリットを形成しており、前記出口スリットは、前記第 1 部品の第 1 表面と、前記第 2 部品の第 2 表面とにより規定される幅を有する、流路と、

30

前記出口スリットに近接する前記第 1 部品および前記第 2 部品の少なくとも一方の上に位置する、少なくとも 1 つの帯電可能なノッチと、を含むノズルと、

前記ノズルに電氣的につながれ、前記少なくとも 1 つの帯電可能なノッチに電圧を供給するように構成された電源と、

前記ノズルの前記ソースエンドで流体連通し、前記ノズルを通る噴霧液を押し出すように構成されるシリンジポンプと、

を含む電気流体力学的噴霧のシステム。

40

【請求項 11】

液体シートの放出のためのノズル手段をさらに含む、請求項 10 に記載のシステム。

【請求項 12】

前記ノズルから放出される液体シートを複数のジェットに分離するためのノッチ手段をさらに含む、請求項 10 に記載のシステム。

【請求項 13】

前記ノズルから放出される液体シートの形状を維持するための手段をさらに含む、請求項 10 に記載のシステム。

【請求項 14】

前記少なくとも 1 つの帯電可能なノッチが第 1 ノッチおよび第 2 ノッチを含み、前記第

50

１ノッチおよび第２ノッチが互いに間隔を空けて配置され、電圧が前記第１ノッチおよび第２ノッチに供給されている時、前記第１ノッチによって作られる電界が前記第２ノッチによって作られる電界を妨げない、請求項１０に記載のシステム。

【請求項１５】

電気流体力学的噴霧の方法であって、

ノズルであって、外表面を有するインナーロッド、前記インナーロッドと同心状に整列し、かつ前記インナーロッドと離間しており、内表面を有するアウターチューブ、前記インナーロッドと前記アウターチューブとの間に規定される環状流路、前記ノズルのスプレイエンドに円形スリットを形成しており、前記円形スリットは、前記インナーロッドの外表面と前記アウターチューブの内表面とによって規定される幅を有する、前記環状流路および前記円形スリットに近接する前記インナーロッドおよび前記アウターチューブの少なくとも一方の上に位置する複数のノッチ、を含むノズルを提供することと、

10

前記複数のノッチに電圧を供給することと、

前記ノズルの前記環状流路を介して噴霧液を送り出すことと、
を含む方法。

【請求項１６】

前記インナーロッドが、その内部を通して規定される中央流路を含み、前記方法が、前記中央流路を通じて安定化ガスを送り出すことをさらに含む、請求項１５に記載の方法。

【請求項１７】

前記インナーロッドが、その内部を通して規定される中央流路を含み、前記方法が、前記中央流路を通じて安定化液体を送り出すことをさらに含む、請求項１５に記載の方法。

20

【請求項１８】

前記インナーロッドおよび前記アウターチューブと同心状に整列した最外部チューブを提供し、前記アウターチューブと前記最外部チューブとの間に外側流路が形成されることと、

前記外側流路を通してシース液を送り出すことと、
をさらに含む請求項１５に記載の方法。

【請求項１９】

電圧の供給が、前記複数のノッチのそれぞれで噴霧液のジェットが形成されるような電圧の提供を含む、請求項１５に記載の方法。

30

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【０００１】

電気流体力学的噴霧(electrohydrodynamic atomization)は、しばしば電気スプレイ(ES)と呼ばれるが、将来性および微細な粉末の製造、食品加工、医薬、薬剤学、生物学および化学での実用的な粒子の用途で近ごろ大きな注目を集めている。その技術は、マイクロメートルからナノメートルの範囲のサイズを備える様々な材料の、凝集していない単分散の粒子の製造を可能にする。既知のESシステムでは、細管(または毛细管、キャピラリー)ノズルの出口での液体メニスカスは、スプレイヘッドと参照電極との間に確立した発散電場(divergent electrical field)から生じる電氣的ストレスの影響を受ける。しかし細管ノズルの形状が原因で、既知のESシステムは低質量の処理能力(throughput)であり、大規模な実施の実現可能性を困難としている。

40

【０００２】

最近のいくつかの電気流体力学的噴霧の技術は、質量処理能力を増加していると報告されている。例えば、単一細管のESノズルでは、コーンジェットモード(a cone-jet mode)が発生する電圧の範囲を超える電圧を印加するとき、マルチジェットモード(multi-jet mode)を発生することができる。しかし、単一細管の先頭から始まった複数のジェットは不安定である。多数の個々の細管を一次元の直線配列状に構成することで、スプレイの液体流量の総量を増加することもできる。しかし、個々の細管の一次元の構成は室内実験の目的では容易に作ることが出来るが、工業規模の用途では実用的ではない。さらに、

50

個々の細管のそれぞれが、別々の給水流路および／または分配流路（feeding and/or distribution channel）を使用する。

【発明の概要】

【0003】

本発明の第1態様は、電気流体力学的噴霧のためのノズルを提供することである。前記ノズルは、インナーロッド（inner rod）、インナーロッドと同心状に整列されたアウターチューブ（outer tube）、インナーロッドとアウターチューブとの間に規定される環状流路、ノズルのスプレイエンド（a spray end）で円形スリットを形成する環状流路および円形スリットに近接するインナーロッドおよびアウターチューブの少なくとも一方の上に位置する少なくとも1つの帯電可能な（electrically chargeable）ノッチを含む。

10

【0004】

他の態様において、電気流体力学的噴霧のシステムを提供する。前記システムはソースエンド（a source end）、スプレイエンド、第1表面を含む第1部品、第2表面を含む第2部品、第1表面と第2表面との間に規定される流路、ノズルのスプレイエンドに出口スリットを形成する流路（例えば、円形の出口スリット、平面的なまたは直線状の出口スリット等）および出口スリットに近接する第1部品と第2部品の少なくとも一方の上に位置する少なくとも1つの帯電可能なノッチを含むノズルを含む。前記システムはさらに、ノズルに電氣的につながれ、少なくとも1つの帯電することができるノッチに電圧を供給するように構成される電源、ノズルのソースエンドと流体連通するシリンジポンプ、ノズルを通る噴霧液を押し出すように構成されるシリンジポンプを含んでよい。

20

【0005】

さらに他の態様において、本明細書で記載する1つ以上のノズルの構成を使用することができる電気流体力学的噴霧の方法が提供される。例えば、1つの態様において、前記方法はインナーロッド、インナーロッドと同心状に整列したアウターチューブ、インナーロッドとアウターチューブとの間に規定される環状流路、ノズルのスプレイエンドに円形スリットを形成する環状流路、および円形スリットに近接するインナーロッドとアウターチューブの少なくとも一方の上に位置する複数のノッチの提供を含んでもよい。前記方法はさらに、複数のノッチへの電圧の提供すること、およびノズルの環状流路を通して噴霧液を送り出すこと（pumping）を含んでもよい。

【0006】

30

本明細書で記載する実施形態は、添付図面と併せて以下の記載を参照することでより理解することができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】図1は、例示的な電気スプレイシステムの配線図である。

【図2】図2は、図1のシステムと共に使用され得る例示的なノズルの断面図である。

【図3A】図3Aおよび図3Bは、図1のシステムと共に使用され得る例示的なノズルの斜視図である。

【図3B】図3Aおよび図3Bは、図1のシステムと共に使用され得る例示的なノズルの斜視図である。

40

【図4A】図4Aおよび図4Bは、図3Aおよび図3Bの例示的なノズルの平面図である。

【図4B】図4Aおよび図4Bは、図3Aおよび図3Bの例示的なノズルの平面図である。

【図5A】図5A～図5Cは、図1のシステムと共に使用され得る例示的なノズルの画像である。

【図5B】図5A～図5Cは、図1のシステムと共に使用され得る例示的なノズルの画像である。

【図5C】図5A～図5Cは、図1のシステムと共に使用され得る例示的なノズルの画像である。

50

【図 6 A】図 6 A ~ 図 6 L は、図 1 のシステムと共に使用され得る例示的なノズルの断面図である。

【図 6 B】図 6 A ~ 図 6 L は、図 1 のシステムと共に使用され得る例示的なノズルの断面図である。

【図 6 C】図 6 A ~ 図 6 L は、図 1 のシステムと共に使用され得る例示的なノズルの断面図である。

【図 6 D】図 6 A ~ 図 6 L は、図 1 のシステムと共に使用され得る例示的なノズルの断面図である。

【図 6 E】図 6 A ~ 図 6 L は、図 1 のシステムと共に使用され得る例示的なノズルの断面図である。

10

【図 6 F】図 6 A ~ 図 6 L は、図 1 のシステムと共に使用され得る例示的なノズルの断面図である。

【図 6 G】図 6 A ~ 図 6 L は、図 1 のシステムと共に使用され得る例示的なノズルの断面図である。

【図 6 H】図 6 A ~ 図 6 L は、図 1 のシステムと共に使用され得る例示的なノズルの断面図である。

【図 6 I】図 6 A ~ 図 6 L は、図 1 のシステムと共に使用され得る例示的なノズルの断面図である。

【図 6 J】図 6 A ~ 図 6 L は、図 1 のシステムと共に使用され得る例示的なノズルの断面図である。

20

【図 6 K】図 6 A ~ 図 6 L は、図 1 のシステムと共に使用され得る例示的なノズルの断面図である。

【図 6 L】図 6 A ~ 図 6 L は、図 1 のシステムと共に使用され得る例示的なノズルの断面図である。

【図 7】図 7 は、いくつかの数のノズルに対して、安定したマルチジェット操作を確立するために印加する電圧を示すグラフである。

【図 8 A】図 8 A ~ 図 8 C は、6 個、12 個および 20 個のノッチを備えるノズルについてのスプレイ電流を、適用する電圧の関数として示すグラフである。

【図 8 B】図 8 A ~ 図 8 C は、6 個、12 個および 20 個のノッチを備えるノズルについてのスプレイ電流を、適用する電圧の関数として示すグラフである。

30

【図 8 C】図 8 A ~ 図 8 C は、6 個、12 個および 20 個のノッチを備えるノズルについてのスプレイ電流を、適用する電圧の関数として示すグラフである。

【図 9】図 9 は、液体流量の最大値を噴霧液の導電率の関数として示すグラフである。

【図 10】図 10 は、液体シートノズルの液体流量の最大値の、単一細管ノズルの液体流量の最大値に対する比率を示すグラフである。

【図 11】図 11 は、図 1 のシステムと共に使用され得る例示的なノズルの平面図である。

【図 12】図 12 は、図 11 に示す例示的なノズルの斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

40

実施形態は、凝集していない単分散の液滴を製造するように液体シート（または自由液膜、a liquid sheet）を用いる電気流体力学的噴霧を提供する。既知の電気スプレイ（ES）システムで用いられる細管ノズルとは対照的に、出口スリットの開口（exit slit opening）を備えるノズルは、噴霧液がスリットの開口から出るので、噴霧液を薄い液体シートに形成する。安定したマルチジェット操作は、スリットの端部に沿ってノッチを含むことにより達成される。ノッチは液体シートをマルチジェットに分離し、定着した（anchoring）安定的なマルチジェット操作を提供する。すなわち、それぞれのノッチが、ノズルの周りで対応するジェットが移動するのを防ぐことにより、対応するジェットを定着させ（anchor）、実質的にジェットの位置を固定（fix）する。いくつかの実施形態において、液体シートの電気スプレイ技術および本明細書に記載するノズルは、高質量の処理能力

50

および多目的の多重化スプレイスシステムを提供し、一方で技術的な労力 (engineering effort) と高い製造コストを低減する。

【 0 0 0 9 】

例示的な電気スプレイスシステム 1 0 0 の配線図を図 1 に示す。システム 1 0 0 は、シリンジポンプ 1 0 2、ノズル 1 0 4 および高電圧源 1 0 6 を含む。ひとつの例示的な実施形態においてシリンジポンプ 1 0 2 は、Harvard Apparatus PHD 2 0 0 シリーズのポンプである。あるいは、シリンジポンプ 1 0 2 は、システム 1 0 0 が本明細書に記載のように機能することを可能とする任意のポンプである。

【 0 0 1 0 】

高電圧源 1 0 6 は、ノズル 1 0 4 のスプレイエンド 1 0 8 に電圧を印加することができるように、ノズル 1 0 4 につながっている。1つの例示的な実施形態において、高電圧源 1 0 6 は、1 3 k V から 1 6 k V の範囲の電圧をスプレイエンド 1 0 8 に供給する。あるいは高電圧源は、システム 1 0 0 が本明細書に記載するように機能することができる任意の電圧をノズル 1 0 4 に印加してもよい。

【 0 0 1 1 】

システム 1 0 0 はまた、モニタリングシステム 1 1 0 も含む。モニタリングシステム 1 1 0 は、顕微鏡レンズ 1 1 2、デジタルカメラ 1 1 4、モニター 1 1 6 およびコンピューター 1 1 8 を含み、ノズル 1 0 4 により作られたスプレイをモニタリングシステム 1 1 0 が観察することができる。

【 0 0 1 2 】

システム 1 0 0 はまた、電流システム 1 2 0 も含む。電流システム 1 2 0 は、接地 1 2 4 と電氣的につながり、また抵抗器 1 2 8 を越えてリング 1 2 6 に電氣的につながる回路計 (またはマルチメーター、multimeter) 1 2 2 を含む。抵抗器 1 2 8 を越える電圧を測定することで、電流システム 1 2 0 はノズル 1 0 4 により作られたスプレイの電流を測定することができる。回路計 1 2 2 を通って、リング 1 2 6 も接地 1 2 4 に電氣的につながる。

【 0 0 1 3 】

図 2 は、システム 1 0 0 とともに用いることができる、例示的なノズル 2 0 0 の断面図である。ノズル 2 0 0 はソースエンド 2 0 2 およびスプレイエンド 2 0 4 を含む。ノズル 2 0 0 は、ノズル 2 0 0 の縦軸 2 1 0 に沿ってアウターチューブと同軸状に整列したインナーロッド 2 0 6 を含む。環状流路 2 1 2 はアウターチューブ 2 0 8 の内表面 2 1 4 とインナーロッド 2 0 6 の外表面 2 1 6 との間に規定される。スプレイエンド 2 0 4 で、環状流路 2 1 2 は円形スリット 2 1 8 になる。1つの例示的な実施形態において、円形スリット 2 1 8 の内径 2 2 0 は 2 9 5 0 μ m であり、円形スリット 2 1 8 の外径 2 2 2 は 3 2 5 0 μ m であり、円形スリット 2 1 8 の幅 2 2 4 は 1 5 0 μ m である。あるいは、円形スリット 2 1 8 は、ノズル 2 0 0 が本明細書で記載するように機能することができる任意の寸法を有してよい。

【 0 0 1 4 】

操作中、シリンジポンプ 1 0 2 は圧力を噴霧液に印加し噴霧液はノズル 2 0 0 に向かって押され、ノズル 2 0 0 のソースエンド 2 0 2 で受けられる。噴霧液はそれから、環状流路 2 1 2 に均一に分配され、円形スリット 2 1 8 から薄い液体シートとして放出される。図 2 に示す 1 つの例示的な実施形態において、放出される液体シートは実質的に円筒形状である。

【 0 0 1 5 】

ノズル 2 0 0 はさらに、円形スリット 2 1 8 に近接する 1 つ以上のノッチ 2 3 0 を含む。本明細書で使用する “ノッチ” は、ノズル 2 0 0 のスプレイエンド 2 0 4 から伸びるノッチ 2 3 0 のような、ノズルのスプレイエンドから伸びて突き出た要素を意味する。例えば、このようなノッチは、このようなノッチで分けられたスプレイエンドの他の領域よりもさらにスプレージェットの方向に伸びても、または突き出してもよい。1つの例示的な実施形態において、ノッチ 2 3 0 はインナーロッド 2 0 6 およびアウターチューブ 2 0

10

20

30

40

50

8の両方の上に位置する。あるいは、ノッチ230はインナーロッド206またはアウターチューブ208のどちらかの上にのみ位置してもよい。高電圧源106がノズル200のスプレイエンド204に電圧を印加するとき、ノッチ230の形状と構成が、ノッチ230における電界の局所的な向上を容易にする。噴霧液が円形スリットに達するとき、噴霧液は環状流路212の形状により薄い液体シートとしてノズル200を出て行く。ノズル200のスプレイエンド204に印加される十分に高い電圧により、液体シートは複数のジェットへ分けられる。それぞれのノッチ230で局所的に高まった電界により、それぞれのジェットはノッチ230の1つに位置する。さらにスプレイエンド204に印加される十分に高い電圧により、安定したマルチジェット操作が達成され得る。いくつかの実施形態において、“安定したマルチジェット操作”は、噴霧液のジェットがノズル200上のノッチ230のそれぞれから放出されることを意味する。

10

【0016】

図3Aおよび図3Bは、図1のシステムとともに使用され得る例示的なノズル200の斜視図である。図4Aおよび図4Bは、図3Aおよび図3Bで示すノズル200の平面図である。図3Aおよび図4Aで示す実施形態は、6個のノッチ230を含み、図3Bおよび図4Bに示す実施形態は20個のノッチ230を含む。ノッチ230は円周方向の距離240ずつ、円周方向に互いに間隔を空けて配置している。いくつかの実施形態において、円周方向の距離240はノッチ230の寸法以上である。円周方向の距離240は、増大された電界領域を維持しながら、ノッチ230の数が最大限になるように選択される。すなわち、ノッチ230間の円周方向の距離240が小さすぎると、1つのノッチ230に発生する電界が近接するノッチ230に発生する電界を妨げるであろう。しかし、ノッチ230間の円周方向の距離240が増大すると、より少ないノッチ230がノズル200上に位置することができる。より少ないノッチ230によって、より少ないジェットが作られ、そしてノズル200の全体的な処理質量は減少する。

20

【0017】

図5A～図5Cは、噴霧液の複数のジェット250を作るノズル200の画像である。図5A、5Bおよび5Cのノズル200は、それぞれ6個、12個、20個のノッチ230を含む。

【0018】

図6A～図6Lは、図1のシステムに用いられ得る例示的なノズル300の断面図である。図6A～図6Lに示す実施形態により実現されるように、ノズル300のいくつかの異なる構成はノズル300が本明細書に記載するように機能することができる。さらに、ノズル300の構成は、本明細書に具体的に記載されるものに限定するものでない。

30

【0019】

図6A～6Lのそれぞれのノズル300は、ソースエンド302およびスプレイエンド304を含む。さらに、それぞれのノズル300は、ノズル300の縦軸310に沿ってアウターチューブ308の同軸上に整列したインナーロッド306を含む。環状流路312は、アウターチューブ308の内表面314とインナーロッド306の外表面316との間に規定される。スプレイエンド304で、環状流路312は円形スリット318になる。さらに、スプレイエンド304でインナーロッド306はセンターピース(center piece)320を含み、アウターチューブ308は末端部分(またはエンドポーション、end portion)を含む。それぞれのノズル300はまた、図2に示すノッチ230と実質的に同様に機能する複数のノッチ330を含む。図6A～図6Lの実施形態は、それぞれを以下に詳細に記載する。

40

【0020】

図6Aに示すノズル300の実施形態において、インナーロッド306とアウターチューブ308の両方ともがノッチ330をその上を含む。さらに、センターピース320は末端部分322に対して、凹部を有しておらず、または延在していない。図6Aに示す実施形態に操作する間、噴霧液は円形スリット318から放出される。

【0021】

50

図 6 B に示すノズル 3 0 0 の実施形態において、アウターチューブ 3 0 8 だけがその上にノッチ 3 3 0 を含む。すなわち、インナーロッド 3 0 6 はノッチ 3 3 0 を含まない。さらに、センターピース 3 2 0 は末端部分 3 2 2 に対して凹部を有している。図 6 B に示す実施形態の操作の間、噴霧液は円形スリット 3 1 8 から放出される。

【 0 0 2 2 】

図 6 C に示すノズル 3 0 0 の実施形態は、図 6 C に示す実施形態がインナーロッド 3 0 6 通って規定される中央流路 3 4 0 を含むことを除いては、図 6 A に示す実施形態と実質的に同様である。同様に、図 6 D に示すノズル 3 0 0 の実施形態は、図 6 D に示す実施形態がインナーロッド 3 0 6 を通って規定される中央流路 3 4 0 を含むことを除いては、図 6 B に示す実施形態と実質的に同様である。図 6 C および図 6 D の実施形態において、安定化ガスは中央流路 3 4 0 から放出される。放出されるガスは、噴霧液が円形スリット 3 1 8 から放出されるときに、噴霧液の薄い液体シートの形状を維持することを容易にする。

10

【 0 0 2 3 】

図 6 E および図 6 F に示すノズル 3 0 0 の実施形態は、安定化ガスの代わりに安定化液体が中央流路 3 4 0 から放出されることを除いては、それぞれ図 6 C および図 6 D に示す実施形態と実質的に同様である。安定化ガスと同様に安定化液体は、噴霧液が円形スリット 3 1 8 から放出されるときに、噴霧液の薄い液体シートの形状を維持することを容易にする。図 6 G に示すノズル 3 0 0 の実施形態は、センターピース 3 2 0 が末端部分 3 2 2 に対して延在していることを除いては、図 6 F に示す実施形態と実質的に同様である。

20

【 0 0 2 4 】

図 6 H および図 6 I に示すノズル 3 0 0 の実施形態は、図 6 H および図 6 I の実施形態がさらに 2 つ目のアウターチューブ 3 5 0 を含むことを除いては、図 6 C および図 6 D に示す実施形態とそれぞれ実質的に同様である。2 つ目のアウターチューブ 3 5 0 は、アウターチューブ 3 0 8 と同心状に整列し、2 つ目の環状流路 3 5 2 は、アウターチューブ 3 0 8 の外表面 3 5 4 と 2 つ目のアウターチューブ 3 5 0 の内表面 3 5 6 との間に規定される。2 つ目の環状流路 3 5 2 は、スプレイエンド 3 0 4 で 2 つ目の円形スリット 3 6 0 になる。

【 0 0 2 5 】

図 6 H および図 6 I に示す実施形態において、2 つ目のアウターチューブ 3 5 0 はその上にノッチ 3 3 0 を含む。1 つ目の円形スリット 3 1 8 から放出される噴霧液に加えて、シース液 (sheath liquid) が薄い (または細い、thin) 液体シートの形状で 2 つ目の円形スリット 3 6 0 から放出される。噴霧液およびシース液 (両方ともにノズル 3 0 0 から放出される) があることにより、粒子の封入 (または被覆、encapsulation) が容易になり、ノズル 3 0 0 から作られる粒子は、シース液の粒子により封入された噴霧液の粒子および / または噴霧液の粒子により封入されたシース液の粒子を含む。図 6 C および図 6 D に示す実施形態と同様に、中央流路 3 4 0 から放出される安定化ガスは、噴霧液およびシース液の薄い液体シート形状を維持することを容易にする。あるいは、図 6 E ~ 図 6 G と同様に、安定化ガスは中央流路 3 4 0 から放出されてもよい。図 6 J に示す実施形態は、センターピース 3 2 0 が末端部分 3 2 2 に対して延在していることを除いては、図 6 I に示す実施形態と実質的に同様である。

30

40

【 0 0 2 6 】

図 6 K に示すノズル 3 0 0 の実施形態は、図 6 K に示す実施形態がさらに 3 つ目のアウターチューブ 3 7 0 を含むことを除いては、図 6 H に示す実施形態と実質的に同様である。3 つ目のアウターチューブ 3 7 0 は 2 つ目のアウターチューブ 3 5 0 と同心状に整列し、3 つ目の環状流路 3 7 2 は 2 つ目のアウターチューブ 3 5 0 の外表面 3 7 4 と 3 つ目のアウターチューブ 3 7 0 の内表面 3 7 6 との間に規定される。3 つ目の環状流路 3 7 2 はスプレイエンド 3 0 4 で円形スリット 3 8 0 になる。

【 0 0 2 7 】

図 6 K に示す実施形態において、3 つ目のアウターチューブ 3 7 0 はその上にノッチ 3

50

30を含む。1つ目の円形スリット318から放出される噴霧液および2つ目の円形スリット360から放出されるシース液に加えて、3つ目の円形スリット380から外周液(outer liquid)が薄い液体シートの形状で放出される。1つ目の円形スリット318、2つ目の円形スリット360および3つ目の円形スリット380からの液体の放出は、粒子の封入および多層粒子(multilayered particles)の製造を容易にする。図6Cおよび図6Dに示す実施形態と同様に、中央流路340から放出される安定化ガスは、放出される液体の薄い液体シート形状を維持することを容易にする。あるいは、図6E~図6Gと同様に安定化液体が中央流路340から放出されてもよい。

【0028】

円形スリット318、360および380が階段形状に構成され、アウターチューブ308が2つ目のアウターチューブ350に対して延在し、2つ目のアウターチューブ350が3つ目のアウターチューブ370に対して延在していることを除いては、図6Lに示す実施形態は図6Kに示す実施形態と実質的に同様である。階段形状により、図6Kに示す実施形態よりも低い電圧を図6Lに示す実施形態に印加して、安定したマルチジェット操作を達成してもよい。図6Lおよび図6Kに示す実施形態において、3つ目の円形スリット380から放出される外周液は、1つ目の円形スリット318から放出される噴霧液および2つ目の円形スリット360から放出されるシース液のうち少なくとも一方と同じ液体であってよい。あるいは、噴霧液、シース液および外周液は、全て異なる液体であってもよい。さらに、図6A~図6Lに示す実施形態において、特定の流路がガスまたは液体を含むように示されるが、その他にも、ノズル300が本明細書に記載されるように機能できるように、任意の適切な流体(すなわち、ガス、液体)が任意の流路に供給されてもよい。

【0029】

本明細書に記載するノズルを使用して複数の実験が実行された。以下の例では、イソプロパノールを噴霧液として選択し、硝酸をイオン添加剤として使用し、噴霧液の導電率を $0.0079\mu\text{S}/\text{cm}$ (純イソプロパノール)から $1,044\mu\text{S}/\text{cm}$ まで変化させた。噴霧液の導電率は導電率計(Orion 162A、Thermo Electron Corporation)により測定され、純イソプロパノールの電気抵抗率は研究室で作成した液体セルにより測定した。あるいは、当業者なら容易に理解するように、システム100が本明細書に記載するように機能することができる任意の噴霧液が使用されてよい。

【0030】

図7は、異なる数のノッチを有するノズルに対する、安定したマルチジェット操作を確立ために印加する電圧を示すグラフである。グラフは、印加する電圧がノッチの数とともに増加することを実証する。また、安定したマルチジェット操作の確立のために印加する電圧も、供給する噴霧液の流量にわずかに比例するということがわかる。

【0031】

1つの実施例において、複数のジェット形成の発達(または変遷、evolution)を調べるため、スプレイ電流が測定され、印加する電圧が連続的に上昇しそれから低下させたときのジェットの数が数えられた。図8A~図8Cは、6個、12個および20個のノッチを備えるノズルのそれぞれについてのスプレイ電流を、印加する電圧の関数として示すグラフである。スプレイ電流およびジェットの数は印加する電圧の上昇に伴って増加した。安定したマルチジェット操作(ジェットの数がノッチの数と同じである)は、十分に高い印加電圧で達成された。印加する電圧が低下すると、ジェットの数はそれに応じて減少した。さらに、グラフに示すように、ヒステリシス現象が観測された。

【0032】

他の実施例において、ノズルの質量処理能力を決定するために、様々な導電率の噴霧液を用いてノズル操作に対する最大液体流量(Q_{max})を見出した。図9は、最大液体流量を噴霧液の導電率の関数として示したグラフである。グラフは、噴霧している液体の導電率が上昇するにつれて Q_{max} の値が著しく低下し、高い導電率を有する噴霧液である

ほど、安定したマルチジェット操作を確立するのに強い電界を一般的に使用するという事実に起因することを実証する。グラフはまた、ノッチの数が増加するにつれて Q_{max} が増加することも実証する。これは、ノッチの数が多量であるほどより多くのジェットを確立することができ、これにより噴霧液の流量および全体の質量処理能力が増加するためである。

【0033】

図10は、既知の単一細管ノズルの最大液体流量に対する本明細書に記載の液体シートノズルの最大液体流量の比率を、噴霧液の導電率の関数として示すグラフである。この例において、単一細管ノズルの直径および液体シートノズルの円形スリットの幅は、ともに $150\mu m$ である。図10のグラフ内に示すように、 $0.0079\mu S/cm$ の導電率の噴霧液を使用するとき、20個のノッチを備える液体シートノズルの最大液体流量、すなわち Q_{max} は、単一細管ノズルの最大流量よりも166倍大きかった。さらに、 $1.044\mu S/cm$ の導電率の噴霧液を使用するとき、20個のノッチを備える液体シートノズルの最大液体流量は、単一細管ノズルの最大液体流量よりも70倍大きかった。

【0034】

とりわけ、20個のノッチを備える液体シートのノズルの Q_{max} の値は、20個の単一細管ノズル全体の液体流量の合計よりも、はるかに高い。この同様の現象は、6個および12個のノッチを備える液体シートノズルを使用しても観測される。これは、単一細管ノズルの既存の一次元配列および二次元配列に比べて、液体シートノズルが、広い範囲の導電率を有する噴霧液の質量処理能力を劇的に増加させる可能性を持っていることを意味する。

【0035】

図11は、システム100で 사용할 ことができる代替ノズル500の平面図である。図12は、図11で示すノズル500の斜視図である。1つの実施形態において、ノズル500は第1プレート502、第2プレート504、ソースエンド506およびスプレイエンド508を含む。平面的な流路510は、第1プレート502と第2プレート504との間に規定される。平面的な流路510は、スプレイエンド508で線形のスリット512になる。操作中、噴霧液は線形のスリット512からのノズル500から放出される。ノズル200から放出される薄い液体シートが実質的に円筒形状であるのに対し、ノズル500から放出される薄い液体シートは実質的に平面状である。

【0036】

1つの例示的な実施形態において、複数のノッチ514は、第1プレート502および第2プレート504の両方の上に位置し、互い違いとなる。あるいは、ノッチ514は、第1プレート502と第2プレート504のうちの1つの上にのみ位置してもよい。ノッチ514に電圧を印加することで、ノッチ514は薄い液体シートを複数のジェットに分離しやすくなり、実質的にノズル200のノッチ230と同様である。

【0037】

図1~6L、11、12に示すノズルは、液体シートを放出するための例示的な手段を構成する。さらに、図2~6L、11、12に示すノッチは、ノズルから放出された液体シートをマルチジェットに分離するための例示的な手段を構成する。さらに、図6C~6Lに示すノズルは、ノズルから放出される液体シートの形状を維持するための例示的な手段を構成する。

【0038】

本明細書で具体的に記載される円筒形状および平面状のノズルに加えて、当業者なら容易に理解するように、本明細書で記載するようにシステム100を機能することができる任意のノズルの形状および/または構成が利用されてもよい。

【0039】

本明細書で記載する実施形態は、薄い液体シートを作り出すノズルを用いる電気流体力学的噴霧、すなわち電気スプレイ(ES)を可能にする。本明細書で記載の方法およびシステムはESシステムの質量処理能力を増加し、複数の単一細管ノズルを用いる既知のE

10

20

30

40

50

S システムに比べて構成費用および製造費用を低減する。本明細書で記載するノズルは、噴霧液の薄い液体シートを放出するよう構成される環状および／または平面状のスリットを含む。薄い液体シートを複数のジェットに分離するように、またそのジェットを安定的な操作のために固定するように、複数のノッチが環状および／または平面上スリットに含まれる。すなわち、それぞれのノッチは、対応するジェットがノズルの周りに移動するのを防ぐことにより、その対応するジェットを固定し、実質的にその対応するジェットの位置を固定する。本明細書に記載するノズルに電圧が印加されるとき、これらのノッチの局所的な電界の増大が可能になる。さらに、本明細書に記載のノズルの安定的なマルチジェット操作は、様々な導電率を有する噴霧液の広範囲にわたって確立することができる。

【 0 0 4 0 】

10

さらに、複数列の (an arrays of) 単一細管ノズルを用いる既知の E S システムに比べて、複数の液体流れの給水流路および／または分配流路は、本明細書に記載するノズルにはもはや必要でない。このように、本明細書に記載するノズルの構成概念および製作は既知のノズルよりも単純であり、ノズルの構成および／または配置の融通 (または柔軟性、flexibility) を可能とする。

【 0 0 4 1 】

本明細書で記載するノズルを利用した実験を通して、ジェットの数および液体流量の両方ともが増加するにつれ、安定したマルチジェット操作を確立するために印加される電圧が増加することが実証された。さらに、本明細書で記載するノズルを通る最大の運用流量は、噴霧液の導電率の関数となった。さらに、いくつかの数のノッチを備える液体シートノズルの最大流量は、並べられた同数の単一細管ノズルの総流量合計よりも常に大きくなる。その結果、本明細書で記載する液体シートノズルは優れた E S 技術を可能とする。さらに、噴霧液の液体シートの形状は、既知の単一細管ノズルから放出されるコーンジェットとは対照的に、ノズルのデザインが、限定されるものではないが、環状および／または平面上のスリットを含む様々な幾何学形状を有することを可能にする。

20

【 0 0 4 2 】

本明細書で例示および記載する開示の実施形態での操作の遂行または実行 (execution or performance) の順序は、特に明記しない限り、不可欠な要素ではない。すなわち、特に明記しない限り、任意の順序で操作を遂行してよく、開示の実施形態は、追加的な操作を、または本明細書に記載されるよりも少ない操作を含んでよい。例えば、別の操作の前、同時または後に特定の操作の実行または遂行をすることは、開示の態様の範囲内である。

30

【 0 0 4 3 】

開示の態様またはその実施形態の要素を取り上げるとき、冠詞 “ a ”、“ a n ”、“ t h e ” および “ s a i d ” は、1 つ以上の要素があることを意味することを目的とする。“ ~を含む (c o m p r i s i n g) ”、“ ~を含む (i n c l u d i n g) ” および “ ~を有する ” は、包括的であり、記載された要素以外に付加的な要素があってもよいことを意味することを意図する。

【 0 0 4 4 】

ここに書かれた記載は、実施例を用いて最良の形態を含む開示を公開し (disclose the disclosure)、また当業者が、任意の装置またはシステムを作ること、および用いること、ならびに任意の取り込まれた方法を実行することを含む開示を実行することも可能である。本開示の特許を受けることが出来る範囲は、請求項によって規定され、また当業者が思いつく他の実施例を含んでもよい。このような他の実施例は、それらが、特許請求の範囲の文言と異なる構造要素を有する場合、または特許請求の範囲の文言と均等な構造要素を有する場合、当該特許の範囲内であることが意図される。

40

なお、本発明は、以下の態様を含む。

・ 態様 1

インナーロッドと、

50

前記インナーロッドと同心状に整列するアウターチューブと、
 前記インナーロッドと前記アウターチューブとの間に規定され、ノズルのスプレイエンドに円形スリットを形成する環状流路と、
 前記円形スリットに近接する前記インナーロッドと前記アウターチューブの、少なくとも一方の上に位置する少なくとも1つの帯電可能なノッチと、
 を含む電気流体力学的噴霧のためのノズル。

・態様 2

前記インナーロッドが、その内部を通して規定される中央流路を含む、態様 1 に記載のノズル。

・態様 3

前記中央流路が、その内部を通る安定化ガスおよび安定化液体の少なくとも一方の流れを容易にするように構成される、態様 2 に記載のノズル。

・態様 4

前記インナーロッドおよび前記アウターチューブと同心状に整列した最外部チューブを更に含み、前記アウターチューブと前記最外部チューブとの間に外側流路が規定される、態様 1 に記載のノズル。

・態様 5

前記最外部チューブ上に位置する少なくとも1つの帯電可能なノッチを更に含む、態様 4 に記載のノズル。

・態様 6

前記少なくとも1つの帯電可能なノッチが、前記インナーロッドと前記アウターチューブのどちらか一方にのみ位置する、態様 1 に記載のノズル。

・態様 7

前記インナーロッドが前記ノズルのスプレイエンドにセンターピースを含み、前記アウターチューブが前記ノズルのスプレイエンドに末端部分を含み、前記センターピースが前記末端部分に対して凹部を有する、態様 1 に記載のノズル。

・態様 8

前記インナーロッドが前記ノズルのスプレイエンドにセンターピースを含み、前記アウターチューブが前記ノズルのスプレイエンドに末端部分を含み、前記センターピースが前記末端部分に対して延在している、態様 1 に記載のノズル。

・態様 9

前記少なくとも1つの帯電可能なノッチが複数のノッチを含み、前記複数のノッチが互いに間隔を空けて配置され、前記複数のノッチが帯電している時に、前記複数のノッチの1つにより作られる電界が前記複数のノッチの近接するノッチにより作られる電界によって妨げられない、態様 1 に記載のノズル。

・態様 10

電気流体力学的噴霧のシステムであって、
 ノズルであって、

ソースエンドと、

スプレイエンドと、

第 1 表面を含む第 1 部品と、

第 2 表面を含む第 2 部品と、

第 1 表面と第 2 表面との間に規定され、前記ノズルの前記スプレイエンドに出口スリットを形成する流路と、

前記出口スリットに近接する前記第 1 部品および前記第 2 部品の少なくとも一方の上に位置する、少なくとも1つの帯電可能なノッチと、
 を含むノズルと、

前記ノズルに電氣的につながれ、前記少なくとも1つの帯電可能なノッチに電圧を供給するように構成された電源と、

前記ノズルの前記ソースエンドで流体連通し、前記ノズルを通る噴霧液を押し出すよう

10

20

30

40

50

に構成されるシリンジポンプと、
を含む電気流体力学的噴霧のシステム。

・ 態様 1 1

前記第 1 部品が第 1 プレートを含み、前記第 2 部品が第 2 プレートを含み、前記流路が実質的に平面状である、態様 1 0 に記載のシステム。

・ 態様 1 2

液体シートの放出のためのノズル手段をさらに含む、態様 1 0 に記載のシステム。

・ 態様 1 3

前記ノズルから放出される液体シートを複数のジェットに分離するためのノッチ手段をさらに含む、態様 1 0 に記載のシステム。

・ 態様 1 4

前記ノズルから放出される液体シートの形状を維持するための手段をさらに含む、態様 1 0 に記載のシステム。

・ 態様 1 5

前記少なくとも 1 つの帯電可能なノッチが第 1 ノッチおよび第 2 ノッチを含み、前記第 1 ノッチおよび第 2 ノッチが互いに間隔を空けて配置され、電圧が前記第 1 ノッチおよび第 2 ノッチに供給されている時、前記第 1 ノッチによって作られる電界が前記第 2 ノッチによって作られる電界を妨げない、態様 1 0 に記載のシステム。

・ 態様 1 6

電気流体力学的噴霧の方法であって、

ノズルであって、インナーロッド、前記インナーロッドと同心状に整列したアウターチューブ、前記インナーロッドと前記アウターチューブとの間に規定される環状流路、前記ノズルのスプレイエンドに円形スリットを形成する前記環状流路および前記円形スリットに近接する前記インナーロッドおよび前記アウターチューブの少なくとも一方の上に位置する複数のノッチ、を含むノズルを提供することと、

前記複数のノッチに電圧を供給することと、

前記ノズルの前記環状流路を介して噴霧液を送り出すことと、
を含む方法。

・ 態様 1 7

前記インナーロッドが、その内部を通して規定される中央流路を含み、前記方法が、前記中央流路を通じて安定化ガスを送り出すことをさらに含む、態様 1 6 に記載の方法。

・ 態様 1 8

前記インナーロッドが、その内部を通して規定される中央流路を含み、前記方法が、前記中央流路を通じて安定化液体を送り出すことをさらに含む、態様 1 6 に記載の方法。

・ 態様 1 9

前記インナーロッドおよび前記アウターチューブと同心状に整列した最外部チューブを提供し、前記アウターチューブと前記最外部チューブとの間に外側流路が形成されることと、

前記外側流路を通してシース液を送り出すことと、
をさらに含む態様 1 6 に記載の方法。

・ 態様 2 0

電圧の供給が、前記複数のノッチのそれぞれで噴霧液のジェットが形成されるような電圧の提供を含む、態様 1 6 に記載の方法。

10

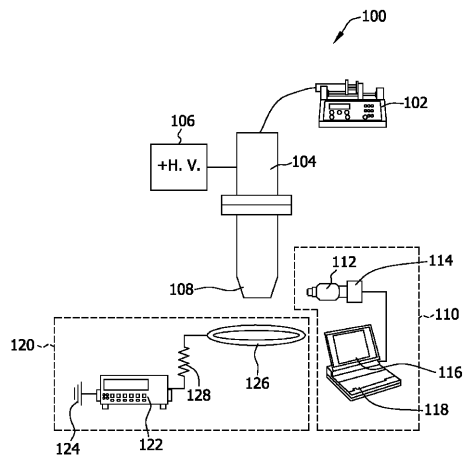
20

30

40

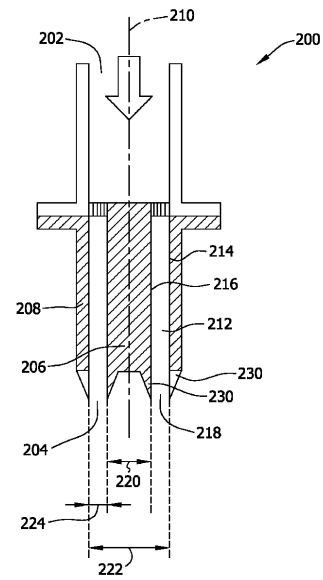
【図 1】

Figure 1



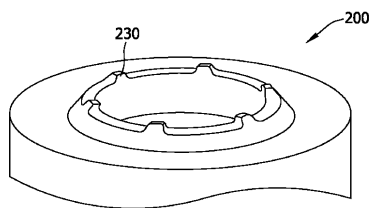
【図 2】

Figure 2



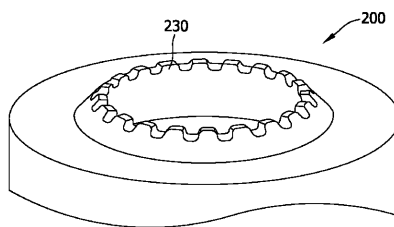
【図 3 A】

Figure 3A



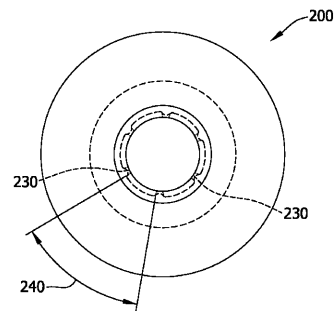
【図 3 B】

Figure 3B



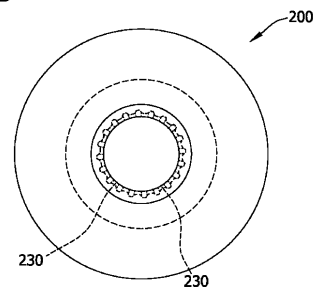
【図 4 A】

Figure 4A



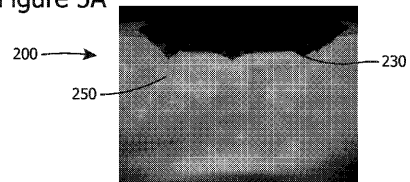
【図 4 B】

Figure 4B



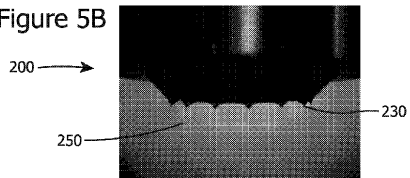
【図 5 A】

Figure 5A



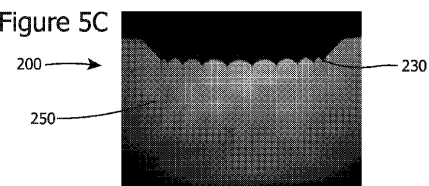
【図 5 B】

Figure 5B



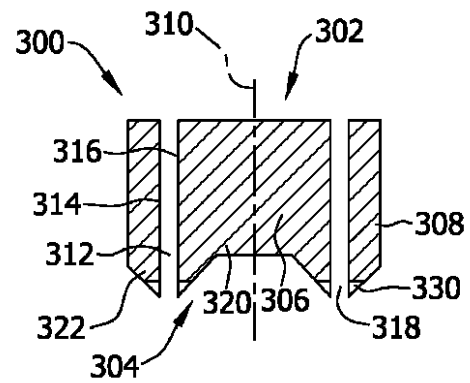
【図 5 C】

Figure 5C



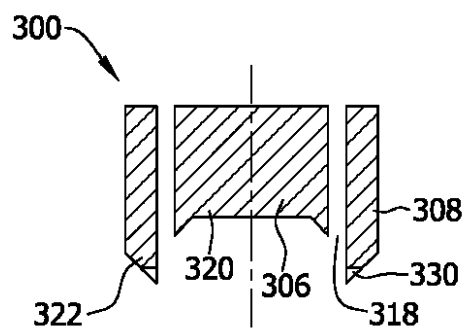
【図 6 A】

Figure 6A



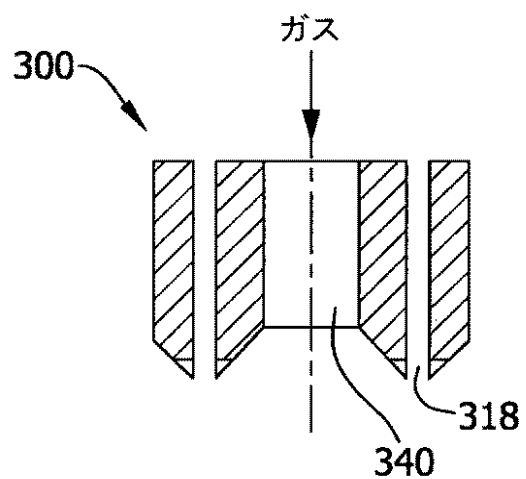
【図 6 B】

Figure 6B



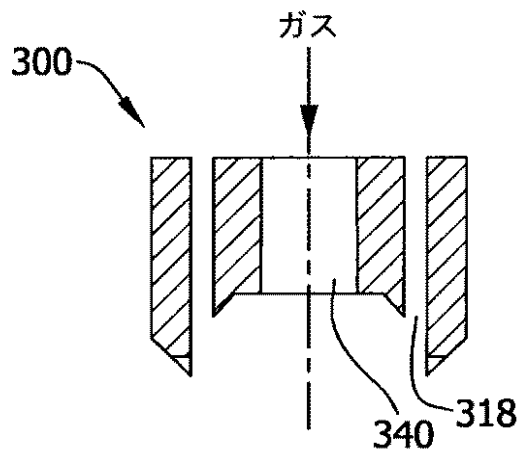
【図 6 C】

図 6 C



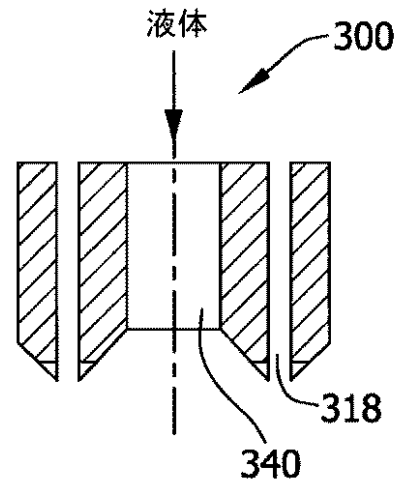
【図 6 D】

図 6 D



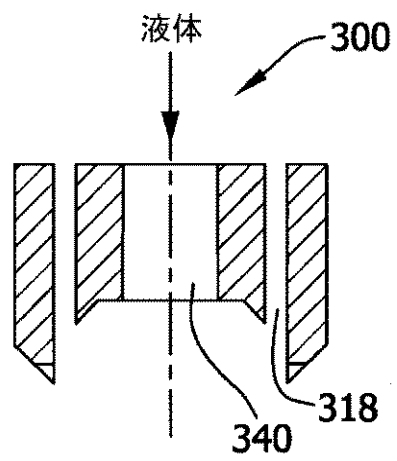
【図 6 E】

図 6 E



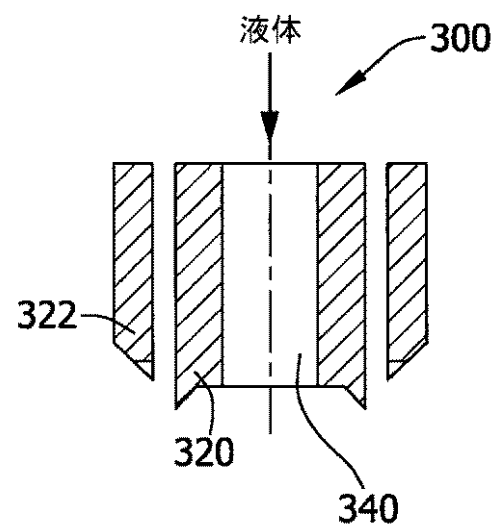
【図 6 F】

図 6 F



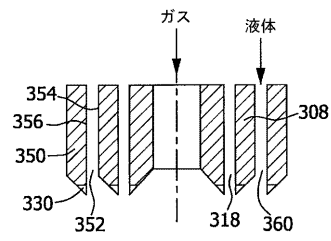
【図 6 G】

図 6 G



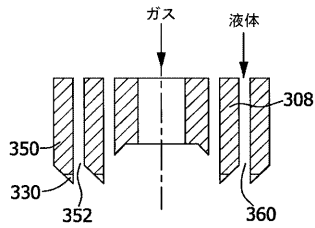
【図 6 H】

図 6 H



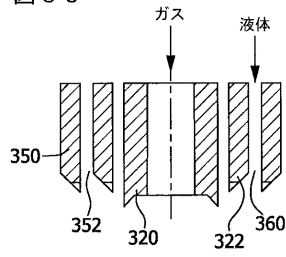
【図 6 I】

図 6 I



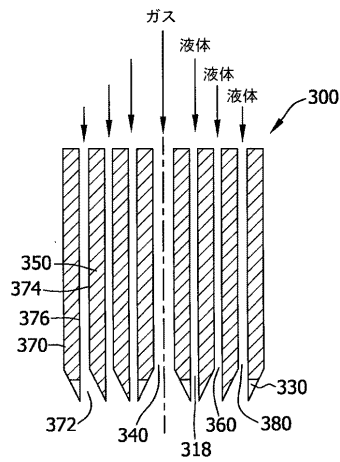
【図 6 J】

図 6 J



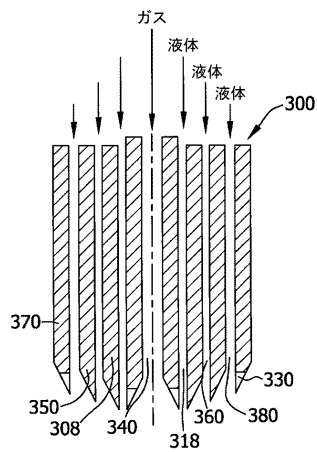
【図 6 K】

図 6 K



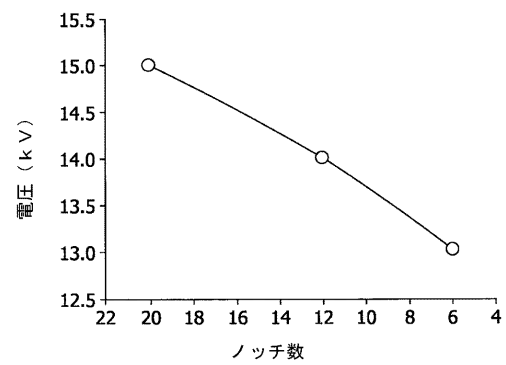
【図 6 L】

図 6 L



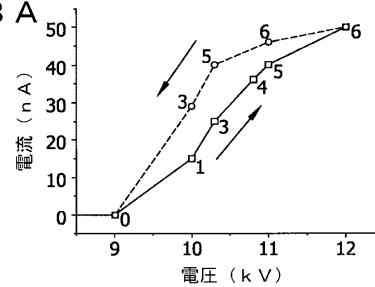
【図 7】

図 7



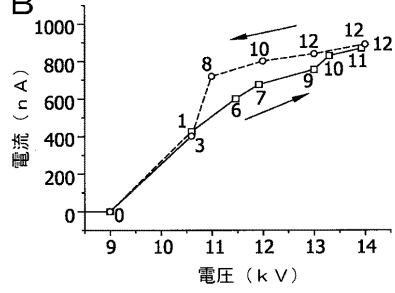
【図 8 A】

図 8 A



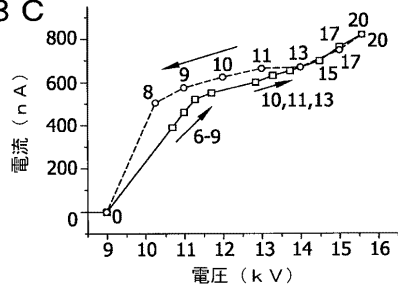
【図 8 B】

図 8 B



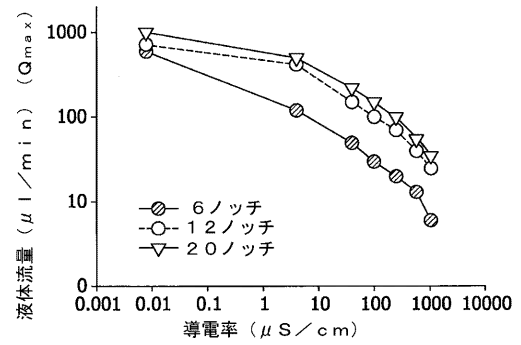
【図 8 C】

図 8 C



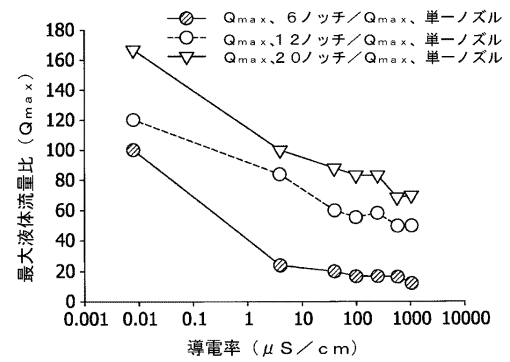
【図 9】

図 9



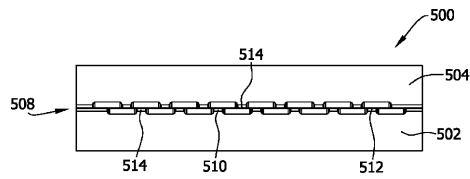
【図 10】

図 10



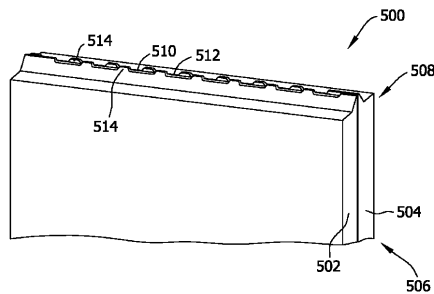
【図 11】

Figure 11



【図 12】

Figure 12



フロントページの続き

(72)発明者 ダレン・チェン

アメリカ合衆国 6 3 1 3 0 ミズーリ州セント・ルイス、ワン・ブルッキングズ・ドライブ、ワシントン・ユニバーシティ内

(72)発明者 チャン・ジンジェ

アメリカ合衆国 6 3 1 3 0 ミズーリ州セント・ルイス、ワン・ブルッキングズ・ドライブ、ワシントン・ユニバーシティ内

審査官 加藤 昌人

(56)参考文献 特開昭 6 2 - 2 5 8 7 6 5 (J P , A)

特表平 0 1 - 5 0 1 8 4 9 (J P , A)

特公平 0 4 - 0 1 5 0 2 2 (J P , B 2)

特公昭 5 8 - 0 2 9 1 5 0 (J P , B 2)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

B 0 5 B 5 / 0 0 - 5 / 1 6

B 0 5 B 1 / 0 0 - 7 / 2 6

B 0 1 J 2 / 0 4