

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7285193号  
(P7285193)

(45)発行日 令和5年6月1日(2023.6.1)

(24)登録日 令和5年5月24日(2023.5.24)

(51)国際特許分類 F I  
H 0 5 H 1/24 (2006.01) H 0 5 H 1/24  
B 6 4 C 21/10 (2006.01) B 6 4 C 21/10

請求項の数 3 (全12頁)

(21)出願番号	特願2019-197809(P2019-197809)	(73)特許権者	000000099 株式会社 I H I 東京都江東区豊洲三丁目 1 番 1 号
(22)出願日	令和1年10月30日(2019.10.30)	(73)特許権者	504132881 国立大学法人東京農工大学 東京都府中市晴見町 3 - 8 - 1
(65)公開番号	特開2021-72204(P2021-72204A)	(74)代理人	100161207 弁理士 西澤 和純
(43)公開日	令和3年5月6日(2021.5.6)	(74)代理人	100175802 弁理士 寺本 光生
審査請求日	令和4年6月7日(2022.6.7)	(74)代理人	100169764 弁理士 清水 雄一郎
		(74)代理人	100167553 弁理士 高橋 久典
		(72)発明者	浅海 典男

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 プラズマアクチュエータ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

誘電体である板状の誘電体層と、  
前記誘電体層の第 1 面に設けられた第 1 電極と、  
前記誘電体層の第 2 面に設けられた第 2 電極と、  
前記誘電体層に設けられている第 3 電極と、  
前記第 2 電極を接地電極として、前記第 1 電極に直流電圧を印加し、前記第 3 電極に交流電圧を印加することで、プラズマを発生させて噴流を誘起する制御装置と、  
気流に対して露出した電極である第 4 電極と、

を備え、

前記第 1 電極及び第 3 電極のうち、一方の電極は、他方の電極からの距離が最も近い面が少なくとも絶縁体で被覆されており、

前記第 1 電極は、前記誘電体層の第 1 端部側の前記第 1 面に設けられ、

前記第 3 電極は、全ての表面が被覆されており、前記誘電体層の第 2 端部側における前記誘電体層の内部に設けられ、

前記第 4 電極は、前記第 2 端部側の前記第 1 面に設けられていることを特徴とする、プラズマアクチュエータ。

【請求項 2】

前記第 3 電極は、前記誘電体層の内部に設けられている、

ことを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマアクチュエータ。

## 【請求項 3】

誘電体である板状の誘電体層と、  
 前記誘電体層の第 1 面に設けられた第 1 電極と、  
 前記誘電体層の第 2 面に設けられた第 2 電極と、  
 前記誘電体層に設けられている第 3 電極と、  
 前記第 2 電極を接地電極として、前記第 1 電極に直流電圧を印加し、前記第 3 電極に交流電圧を印加することで、プラズマを発生させて噴流を誘起する制御装置と、  
 を備え、  
 前記第 1 電極は、前記誘電体層の第 1 端部側の前記第 1 面に設けられ、  
 前記第 3 電極は、前記誘電体層の第 2 端部側における前記誘電体層の内部に設けられ、前記第 3 電極の複数の面のうち、前記第 2 端部側の側面のみが気流に対して露出している、  
 ことを特徴とする、プラズマアクチュエータ。

10

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、プラズマアクチュエータに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

下記特許文献 1 には、誘電体から成る誘電体層の表面に A C 電極、前記誘電体層の裏面に接地電極を設けて、両電極間に交流電圧を印加することにより、誘電体層の表面にプラズマを発生させてジェット（噴流）を誘起させるプラズマアクチュエータが開示されている。

20

## 【0003】

近年、噴流の推力を向上させることを目的として、直流電圧を印加する電極（以下、「D C 電極」という。）を誘電体層の表面にさらに設ける三電極プラズマアクチュエータが提案されている。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0004】

【文献】特開 2019 - 61778 号公報

30

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

しかしながら、電体層の表面に設けられた 2 つの電極である A C 電極と D C 電極との間でアーク放電が発生してしまう場合がある。

## 【0006】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、その目的は、アーク放電の発生を抑制するプラズマアクチュエータを提供することである。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

(1) 本発明の一態様は、誘電体である板状の誘電体層と、前記誘電体層の第 1 面に設けられた第 1 電極と、前記誘電体層の第 2 面に設けられた第 2 電極と、前記誘電体層に設けられている第 3 電極と、前記第 2 電極を接地電極として、前記第 1 電極に直流電圧を印加し、前記第 3 電極に交流電圧を印加することで、プラズマを発生させて噴流を誘起する制御装置と、を備え、前記第 1 電極及び第 3 電極のうち、一方の電極は、他方の電極からの距離が最も近い面が少なくとも絶縁体で被覆されていることを特徴とする、プラズマアクチュエータである。

40

## 【0008】

(2) 上記(1)のプラズマアクチュエータであって、前記第 3 電極は、全ての表面が被覆されてもよい。

50

## 【 0 0 0 9 】

( 3 ) 上記 ( 2 ) のプラズマアクチュエータであって、前記第 3 電極は、前記誘電体層の内部に設けられてもよい。

## 【 0 0 1 0 】

( 4 ) 上記 ( 2 ) のプラズマアクチュエータであって、気流に対して露出した電極である第 4 電極を更に備え、前記第 1 電極は、前記誘電体層の第 1 端部側の前記第 1 面に設けられ、前記第 3 電極は、前記誘電体層の第 2 端部側における前記誘電体層の内部に設けられ、前記第 4 電極は、前記第 2 端部側の前記第 1 面に設けられてもよい。

## 【 0 0 1 1 】

( 5 ) 上記 ( 3 ) のプラズマアクチュエータであって、前記第 1 電極は、前記誘電体層の第 1 端部側の前記第 1 面に設けられ、前記第 3 電極は、前記誘電体層の第 2 端部側における前記誘電体層の内部に設けられ、前記第 3 電極の複数の面のうち、前記第 2 端部側の側面のみが気流に対して露出しているもよい。

10

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 1 2 】

以上説明したように、本発明によれば、プラズマアクチュエータにおいて、アーク放電の発生を抑制することができる。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 1 3 】

【 図 1 】 第 1 の実施形態に係るプラズマアクチュエータ 1 の概略構成の一例を示す図である。

20

【 図 2 】 第 1 の実施形態に係るジェット J を説明する図である。

【 図 3 】 第 2 の実施形態に係るプラズマアクチュエータ 1 B の概略構成の一例を示す図である。

【 図 4 】 第 2 の実施形態に係る作用効果を説明する図である。

【 図 5 】 第 3 の実施形態に係るプラズマアクチュエータ 1 C の概略構成の一例を示す図である。

【 図 6 】 第 3 の実施形態に係るプラズマアクチュエータ 1 C の模式的な斜視図である。

【 図 7 】 第 1 の実施形態に係るプラズマアクチュエータ 1 の変形例を示す図である。

【 図 8 】 第 3 の実施形態に係るプラズマアクチュエータ 1 C の変形例を示す図である。

30

## 【 発明を実施するための形態 】

## 【 0 0 1 4 】

以下、本実施形態に係るプラズマアクチュエータを、図面を用いて説明する。

## 【 0 0 1 5 】

( 第 1 の実施形態 )

図 1 は、第 1 の実施形態に係るプラズマアクチュエータ 1 の概略構成の一例であって、断面図を示す図である。プラズマアクチュエータ 1 は、気体中の放電によりプラズマを発生させて、周囲気体にジェット J ( 噴流 ) を誘起する。例えば、プラズマアクチュエータ 1 は、航空機翼や回転機器翼での剥離制御に用いられる。ここで、上記気体中の放電とは、誘電体バリア放電 ( Dielectric Barrier Discharge : D B D ) やコロナ放電が含まれる。

40

## 【 0 0 1 6 】

以下において、第 1 の実施形態に係るプラズマアクチュエータ 1 の概略構成を、図 1 を用いて説明する。

## 【 0 0 1 7 】

図 1 に示すように、プラズマアクチュエータ 1 は、誘電体層 2、D C 電極 3、接地電極 4、A C 電極 5 及び制御装置 6 を備える。

## 【 0 0 1 8 】

誘電体層 2 は、板状の誘電体であって、例えば、誘電体層 2 は、P T F E ( ポリテトラフルオロエチレン ) やポリイミドなどの誘電体層である。

50

## 【 0 0 1 9 】

D C 電極 3 は、誘電体層 2 の表面 2 a に設けられている電極である。D C 電極 3 は、制御装置 6 により直流電圧が印加される電極である。例えば、D C 電極 3 は、銅箔テープである。表面 2 a は、本発明の「第 1 面」の一例である。本実施形態に係る D C 電極 3 は、露出電極である。露出電極とは、気流に対して露出している電極である。

例えば、D C 電極 3 は、誘電体層 2 の表面 2 a であって、且つ、誘電体層 2 の平面方向において A C 電極 5 よりも誘電体層 2 の一端（第 1 端部）1 0 0 側に設けられている。

なお、D C 電極 3 は、本発明の「第 1 電極」の一例である。

## 【 0 0 2 0 】

接地電極 4 は、誘電体層 2 の裏面 2 b に設けられている電極である。接地電極 4 は、グランド（GND）に接地される電極である。例えば、接地電極 4 は、銅箔テープである。裏面 2 b は、本発明の「第 2 面」の一例である。すなわち、第 2 面は、誘電体層の面であって、第 1 面と反対の面である。なお、本実施形態では、接地電極 4 は、露出電極であるが、これに限定されず、絶縁体により全体が被覆されてもよい。例えば、接地電極 4 は、誘電体層 2 とは異なる絶縁体で被覆されてもよい。

10

なお、接地電極 4 は、本発明の「第 2 電極」の一例である。

## 【 0 0 2 1 】

D C 電極 3 と接地電極 4 とは、誘電体層 2 の平面方向に沿って位置をずらして配置されている。また、図 1 に示す例では、D C 電極 3 と接地電極 4 とが誘電体層 2 の法線方向において重ならないように配置されているが、D C 電極 3 と接地電極 4 とが法線方向において部分的に重なるように配置されてもよい。

20

## 【 0 0 2 2 】

A C 電極 5 は、誘電体層 2 に設けられている電極である。A C 電極 5 は、D C 電極 3 と所定の距離 H だけ離して誘電体層 2 に設けられている。A C 電極 5 は、絶縁体で被覆されている。ここで、A C 電極 5 に対する被覆は、A C 電極 5 の表面全体を絶縁体で被覆する場合や表面全体の一部を絶縁体で被覆する場合も含む。ただし、表面全体の一部を被覆する場合は、少なくとも D C 電極 3 との距離が最も近い面が被覆されている。

また、A C 電極 5 は、2 つの底面（上面及び下面）及び 4 つの側面のうち、第 2 端部 2 0 0 側の側面のみを露出させ、その他の側面及び 2 つの底面を絶縁体で被覆してもよい。

## 【 0 0 2 3 】

なお、誘電体層 2 は絶縁体であるため、図 1 に示す例では、A C 電極 5 は、誘電体層 2 の内部に設けられている。換言すれば、A C 電極 5 は、誘電体層 2 の内部に埋め込まれている。これにより、A C 電極 5 は、すべての面が誘電体で被覆される。ただし、これに限定されず、A C 電極 5 は、必ずしも誘電体層 2 の内部に設けられている必要はなく、例えば、すべての面が誘電体で被覆された状態で誘電体層 2 の表面 2 a に設けられてもよい。A C 電極 5 は、制御装置 6 により交流電圧が印加される電極である。例えば、A C 電極 5 は、銅箔テープである。

30

例えば、A C 電極 5 は、誘電体層 2 の内部において、D C 電極 3 よりも誘電体層 2 の他端（第 2 端部）2 0 0 側に設けられている。第 2 端部 2 0 0 は、誘電体層 2 の平面方向において、第 1 端部 1 0 0 とは反対方向の端部である。また、A C 電極 5 は、誘電体層 2 の内部において、接地電極 4 よりも誘電体層 2 の第 2 端部 2 0 0 側に設けられている。

40

## 【 0 0 2 4 】

A C 電極 5 と D C 電極 3 とは、誘電体層 2 の平面方向に沿って位置をずらして配置されている。さらに、A C 電極 5 と接地電極 4 とは、誘電体層 2 の平面方向に沿って位置をずらして配置されている。また、図 1 に示す例では、A C 電極 5 は、D C 電極 3 及び接地電極 4 のそれぞれと誘電体層 2 の法線方向において重ならないように配置されている。ただし、これに限定されず、A C 電極 5 と接地電極 4 とが法線方向において部分的に重なるように配置されてもよい。

なお、A C 電極 5 は、本発明の「第 3 電極」の一例である。

## 【 0 0 2 5 】

50

制御装置 6 は、直流電源 7 及び交流電源 8 を備える。

【 0 0 2 6 】

直流電源 7 は、プラス端子 7 a が DC 電極 3 に接続され、マイナス端子 7 b が接地電極 4 に接続される。直流電源 7 は、接地電極 4 を基準として DC 電極 3 に直流電圧 VDC を印加する。なお、マイナス端子 7 b は、直接又は間接的にグランド ( GND ) に接続される。ここで、直流電圧 VDC は、正の直流電圧でもよいし、負の直流電圧であってもよい。例えば、直流電圧 VDC は、数 kV ~ 数十 kV である。

【 0 0 2 7 】

交流電源 8 は、例えば、単相の交流電源である。交流電源 8 は、第 1 の出力端子 8 a が AC 電極 5 に接続され、第 2 の出力端子 8 b が接地電極 4 に接続される。交流電源 8 は、接地電極 4 を基準として AC 電極 5 に交流電圧 VAC を印加する。なお、第 2 の出力端子 8 b は、直接又は間接的にグランド ( GND ) に接続される。例えば、交流電圧 VAC は、ピークピーク ( Peak-to-peak ) 値が数 kV ~ 数十 kV であり、周波数が数 kHz から数十 kHz である。

10

【 0 0 2 8 】

このように、制御装置 6 は、接地電極 4 を基準として、DC 電極 3 に直流電圧 VDC を印加し、AC 電極 5 に交流電圧 VAC を印加することで、表面 2 a 上にプラズマを発生させてジェット J を誘起する。

【 0 0 2 9 】

以下に、第 1 の実施形態に係るプラズマアクチュエータ 1 に動作について説明する。なお、直流電圧 VDC は、交流電圧 VAC のピーク値よりも高いとする。

20

【 0 0 3 0 】

制御装置 6 は、誘電体層 2 の表面 2 a にジェット J を誘起するために、接地電極 4 を接地電極として、DC 電極 3 に直流電圧 VDC を印加し、AC 電極 5 に交流電圧 VAC を印加する。

【 0 0 3 1 】

DC 電極 3 と接地電極 4 との間に直流電圧 VDC を印加すると、DC 電極 3 に近傍に放電 (例えば、直流のコロナ放電) が形成されて、DC 電極 3 の近傍の表面 2 a 上にプラズマが生成される。そして、DC 電極 3 と接地電極 4 との間や DC 電極 3 と AC 電極 5 との間の電界によって、プラズマ中のイオンが加速され、周囲気体の中性粒子と衝突する。この衝突によって、運動量が中性粒子に交換され、DC 電極 3 の近傍の表面 2 a に体積力 F ( body force ) 1 が生成される。

30

【 0 0 3 2 】

また、AC 電極 5 と接地電極 4 との間に交流電圧 VAC を印加すると、AC 電極 5 に近傍に放電 (誘電体バリア放電) が形成されて、AC 電極 5 の近傍の表面 2 a 上にプラズマが生成される。そして、AC 電極 5 と接地電極 4 との間や AC 電極 5 と DC 電極 3 との間の電界によって、プラズマ中のイオンが加速され、周囲気体の中性粒子と衝突する。この衝突によって、運動量が中性粒子に交換され、AC 電極 5 の近傍の表面 2 a に体積力 F 2 が生成される。したがって、これらの体積力 F 1 及び体積力 F 2 によって、表面 2 a 上にジェット J が誘起される ( 図 2 ) 。

40

【 0 0 3 3 】

ここで、AC 電極 5 が誘電体で被覆されていても AC 電極 5 と接地電極 4 との間の誘電体バリア放電は、問題なく形成され、体積力 F 2 が生成される。ただし、体積力 F 2 は、体積力 F 1 よりも小さい。

体積力 F 1 は、体積力 F 2 によりも大きく、第 1 端部 100 から第 2 端部 200 にむけて流体を加速させる力である。一方、体積力 F 2 は、体積力 F 1 によりも小さく、第 2 端部 200 から第 1 端部 100 にむけて流体を加速させる力である。すなわち、体積力 F 1 と体積力 F 2 とは逆方向の力であり、これにより、誘起されるジェット J は、表面 2 a に垂直な方向に偏向することになる。このように、体積力 F 1 と体積力 F 2 とを合わせた体積力によってジェット J が誘起されることになる。

50

## 【 0 0 3 4 】

さらに、第 1 の実施形態では、被覆された A C 電極 5 により生じた誘電体バリア放電が D C 電極 3 による放電を強化する。すなわち、被覆された A C 電極 5 により生じた誘電体バリア放電によって電子が D C 電極 3 側に供給され、D C 電極 3 による放電が強化される。これにより、A C 電極 5 と D C 電極 3 との間のアーク放電を生じさせずに、体積力を向上させ、ジェット J の推力を向上させることができる。

## 【 0 0 3 5 】

上述したように、第 1 の実施形態に係るプラズマアクチュエータ 1 は、A C 電極 5 が誘電体に被覆されている。

このような構成により、故障の原因である A C 電極 5 と D C 電極 3 との間のアーク放電が抑制される。さらに、A C 電極 5 と D C 電極 3 との間の距離 H を従来よりも短く設定することが可能となり、プラズマアクチュエータ 1 の小型化に寄与する。

10

## 【 0 0 3 6 】

(第 2 の実施形態)

次に、第 2 の実施形態に係るプラズマアクチュエータ 1 B について説明する。図 3 は、第 2 の実施形態に係るプラズマアクチュエータ 1 B の概略構成図であって、断面図を示す図である。第 2 の実施形態に係るプラズマアクチュエータ 1 B は、第 1 の実施形態と比較して、基準電極 1 0 が設けられている点で相違し、その他の構成については第 1 の実施形態と同様である。なお、図面において、同一又は類似の部分には同一の符号を付して、重複する説明を省く場合がある。

20

## 【 0 0 3 7 】

プラズマアクチュエータ 1 B は、第 1 の実施形態と同様に、気体中の放電によりプラズマを発生させて、周囲気体にジェット J を誘起する。例えば、プラズマアクチュエータ 1 B は、航空機翼や回転機器翼での剥離制御に用いられる。

## 【 0 0 3 8 】

以下において、第 2 の実施形態に係るプラズマアクチュエータ 1 B の概略構成を、図 3 を用いて説明する。

## 【 0 0 3 9 】

図 3 に示すように、プラズマアクチュエータ 1 B は、誘電体層 2、D C 電極 3、接地電極 4、A C 電極 5、制御装置 6 及び基準電極 1 0 を備える。

30

## 【 0 0 4 0 】

基準電極 1 0 は、基準電極 1 0 は、誘電体層 2 の表面 2 a であって、A C 電極の周囲に設けられている。本実施形態に係る基準電極 1 0 は、誘電体層 2 の表面 2 a であって、且つ、A C 電極 5 よりも誘電体層 2 の第 2 端部 2 0 0 側に設けられている。基準電極 1 0 は、露出電極である。例えば、基準電極 1 0 は、銅箔テープである。この基準電極 1 0 は、グランド ( G N D ) に接続されている。すなわち、基準電極 1 0 は、接地されている。

ここで、水平方向の距離において、A C 電極 5 と基準電極 1 0 との距離 L は、D C 電極 3 と A C 電極 5 との距離 H と同一であってもよいし、距離 H よりも長くてもよい。

基準電極 1 0 は、本発明の「第 4 電極」の一例である。

## 【 0 0 4 1 】

なお、第 2 の実施形態に係るプラズマアクチュエータ 1 B におけるジェット J が誘起される原理は、第 1 の実施形態と同様であるため、説明を省略する。

40

## 【 0 0 4 2 】

次に、第 2 の実施形態に係る作用効果について、図 4 を用いて説明する。

プラズマアクチュエータ 1 B は、第 1 の実施形態と同様に、A C 電極 5 に交流電圧 V A C を印加し、D C 電極 3 に直流電圧 V D C を印加することでプラズマを発生させジェット J を誘起させる。ここで、A C 電極 5 は、被覆されているため、ジェット J を誘起させる放電は、D C 電極 3 による放電が支配的になる。そして、被覆された A C 電極 5 により生じた誘電体バリア放電は、D C 電極 3 による放電を強化するように作用する。

## 【 0 0 4 3 】

50

DC電極3による放電は、DC電極3と接地電極4との間に生じる電界E1によって生じ、プラズマが発生する。そして、プラズマ中のイオン（プラスイオン）が電界E1やDC電極3とAC電極との電界E2とによって加速される（図4(a)）。ただし、プラスイオンが表面2aに帯電してしまうため、この帯電によって、誘電体層2の表面2aの電位が上昇し、電界E1が打ち消される。ここで、AC電極5が露出電極であれば、DC電極3とAC電極5との電界E2により、DC電極3による放電が持続され、ジェットが誘起され続けることができる。ただし、AC電極5が誘電体層2の内部に埋め込まれることで被覆されていると、図4(b)に示すように、AC電極5上の誘電体層2の表面2aにまでプラスイオンが帯電するため、誘電体層2の表面2aの電位の上昇によって、電界E2も打ち消されてしまう。これにより、DC電極3による放電が持続することができなくなり、ジェットJが誘起することができない場合が起こり得る。

10

## 【0044】

そこで、第2の実施形態に係るプラズマアクチュエータ1Bでは、露出電極である基準電極10を備える。これにより、基準電極10は、表面2aに上記帯電の影響を受けないため、DC電極3による放電を持続させることができる。よって、AC電極5とDC電極3との間のアーク放電を生じさせずに、体積力を向上させ、ジェットJの推力を向上させることができる。

## 【0045】

上述したように、第2の実施形態に係るプラズマアクチュエータ1Bは、AC電極5が誘電体に被覆されている。

20

このような構成により、故障の原因であるAC電極5とDC電極3との間のアーク放電が抑制される。さらに、AC電極5とDC電極3との間の距離Hを従来よりも短く設定することが可能となり、プラズマアクチュエータ1の小型化に寄与する。

さらに、第2の実施形態に係るプラズマアクチュエータ1Bでは、露出電極である基準電極10が表面2aに設けられている。これにより、プラズマアクチュエータ1Bは、表面2aの帯電の影響を受けずに、DC電極3による放電を持続させることができる。

## 【0046】

## (第3の実施形態)

次に、第3の実施形態に係るプラズマアクチュエータ1Cについて説明する。図5は、第3の実施形態に係るプラズマアクチュエータ1Cの概略構成図であって、断面図を示す図である。また、図6は、第3の実施形態に係るプラズマアクチュエータ1Cの模式的な斜視図である。第3の実施形態に係るプラズマアクチュエータ1Cは、第1の実施形態の図1と比較して、AC電極5において被覆されていない面がある点で相違し、その他の構成については第1の実施形態の図1と同様である。なお、図面において、同一又は類似の部分には同一の符号を付して、重複する説明を省く場合がある。

30

## 【0047】

プラズマアクチュエータ1Cは、第1の実施形態と同様に、気体中の放電によりプラズマを発生させて、周囲気体にジェットJを誘起する。例えば、プラズマアクチュエータ1Cは、航空機翼や回転機器翼での剥離制御に用いられる。

## 【0048】

以下において、第3の実施形態に係るプラズマアクチュエータ1Cの概略構成を、図5及び図6を用いて説明する。

40

## 【0049】

プラズマアクチュエータ1Cは、誘電体層2、DC電極3、接地電極4、AC電極5C、制御装置6を備える。

## 【0050】

AC電極5Cは、DC電極3と所定の距離Hだけ離して誘電体層2の内部に設けられており、且つ、AC電極5Cの2つの底面（上面及び下面）及び4つの側面のうち、第2端部200側の側面5fのみが気流に対して露出した電極である。AC電極5CとDC電極3とは、誘電体層2の平面方向に沿って位置をずらして配置されている。さらに、AC電

50

極 5 C と接地電極 4 とは、誘電体層 2 の平面方向に沿って位置をずらして配置されている。具体的には、A C 電極 5 C は、誘電体層 2 の内部において、D C 電極 3 よりも誘電体層 2 の第 2 端部 2 0 0 側に設けられている。さらに、A C 電極 5 C は、誘電体層 2 の内部において、接地電極 4 よりも誘電体層 2 の第 2 端部 2 0 0 側に設けられている。図 5 に示す例では、A C 電極 5 C は、D C 電極 3 及び接地電極 4 のそれぞれと誘電体層 2 の法線方向において重ならないように配置されている。ただし、これに限定されず、A C 電極 5 C と接地電極 4 とが部分的に重なるように配置されてもよい。

【 0 0 5 1 】

A C 電極 5 C は、制御装置 6 により交流電圧が印加される電極である。例えば、A C 電極 5 C は、銅箔テープである。なお、A C 電極 5 C は、本発明の「第 3 電極」の一例である。

10

【 0 0 5 2 】

A C 電極 5 C には、交流電源 8 が接続されている。具体的には、A C 電極 5 C には、交流電源の第 1 の出力端子 8 a が接続されている。そして、交流電源 8 の第 2 の出力端子 8 b は、接地されている。

【 0 0 5 3 】

なお、第 3 の実施形態に係るプラズマアクチュエータ 1 C におけるジェット J が誘起される原理は、第 1 の実施形態と同様であるため、説明を省略する。

【 0 0 5 4 】

次に、第 3 の実施形態に係る作用効果について、説明する。

20

プラズマアクチュエータ 1 C は、第 1 の実施形態と同様に、A C 電極 5 に交流電圧 V A C を印加し、D C 電極 3 に直流電圧 V D C を印加することでプラズマを発生させジェット J を誘起させる。ここで、A C 電極 5 は、被覆されているため、ジェット J を誘起させる放電は、D C 電極 3 による放電が支配的になる。そして、被覆された A C 電極 5 により生じた誘電体バリア放電は、D C 電極 3 による放電を強化するように作用する。

【 0 0 5 5 】

D C 電極 3 による放電は、D C 電極 3 と接地電極 4 との間に生じる電界によって生じ、プラズマが発生する。そして、プラズマ中のイオン（プラスイオン）が電界 E 1 や D C 電極 3 と A C 電極との電界 E 2 とによって加速されるが、プラスイオンが表面 2 a に帯電してしまう。よって、この帯電によって、誘電体層 2 の表面 2 a の電位が上昇し、電界 E 1 が打ち消される。ここで、A C 電極 5 が露出電極であれば、D C 電極 3 と A C 電極 5 との電界 E 2 により、D C 電極 3 による放電が持続され、ジェットが誘起され続けることができる。ただし、A C 電極 5 が誘電体層 2 の内部に埋め込まれることで被覆されていると、A C 電極 5 上の誘電体層 2 の表面 2 a までプラスイオンが帯電するため、誘電体層 2 の表面 2 a の電位の上昇によって、電界 E 2 も打ち消されてしまう。これにより、D C 電極 3 による放電が持続することができなくなり、ジェット J が誘起することができない場合が起こり得る。

30

【 0 0 5 6 】

そこで、第 3 の実施形態に係るプラズマアクチュエータ 1 C では、A C 電極 5 は、D C 電極 3 から最も遠い側面 5 f のみが気流に対して露出している。これにより、A C 電極 5 の側面 5 f は、表面 2 a に上記帯電の影響を受けないため、側面 5 f の電位が基準電位となって、D C 電極 3 による放電を持続させることができる。よって、A C 電極 5 と D C 電極 3 との間のアーク放電を生じさせずに、体積力を向上させ、ジェット J の推力を向上させることができる。

40

【 0 0 5 7 】

上述したように、第 3 の実施形態に係るプラズマアクチュエータ 1 C は、A C 電極 5 において、D C 電極 3 から最も遠い側面 5 f のみが気流に対して露出されており、その他の面が誘電体で被覆されている。

このような構成により、故障の原因である A C 電極 5 と D C 電極 3 との間のアーク放電が抑制される。さらに、A C 電極 5 と D C 電極 3 との間の距離 H を従来よりも短く設定す

50

ることが可能となり、プラズマアクチュエータ 1 の小型化に寄与する。

さらに、第 3 の実施形態に係るプラズマアクチュエータ 1 C では、A C 電極 5 において、A C 電極 5 の側面 5 f のみが気流に対して露出されている。これにより、プラズマアクチュエータ 1 C は、A C 電極 5 の側面 5 f が表面 2 a の帯電の影響を受けないため、側面 5 f の電位を基準として、D C 電極 3 による放電を持続させることができる。

【 0 0 5 8 】

以上、この発明の実施形態について図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計等も含まれる。

【 0 0 5 9 】

( 変形例 1 ) 第 1 の実施形態のプラズマアクチュエータ 1 は、A C 電極 5 及び D C 電極 3 の双方が絶縁体 ( 誘電体 ) で全体又は一部が被覆されてもよい。また、第 1 の実施形態のプラズマアクチュエータ 1 は、D C 電極 3 が絶縁体 ( 誘電体 ) で全体が被覆され、A C 電極 5 が露出電極であってもよい。さらに、第 1 の実施形態のプラズマアクチュエータ 1 では、D C 電極 3 は、A C 電極 5 からの距離が最も近い面が少なくとも絶縁体で被覆されていてもよい。

また、図 7 に示すように、D C 電極 3 は、誘電体層 2 に埋め込まれてもよい。この場合に、D C 電極 3 の上面は、露出してもよいし、露出していなくてもよい。

【 0 0 6 0 】

( 変形例 2 ) 第 3 の実施形態のプラズマアクチュエータ 1 C において、A C 電極 5 C は、A C 電極 5 C の 4 つの側面のうち、第 1 端部 1 0 0 側の側面以外の側面 5 f 及び 2 つの側面 5 s のみが気流に対して露出した電極であってもよい。よって、この場合には、A C 電極 5 C の 2 つの底面及び第 1 端部 1 0 0 側の側面が誘電体に被覆されている。

【 0 0 6 1 】

以上、説明したように、上記実施形態に係るプラズマアクチュエータ 1 は、D C 電極 3 及び A C 電極 5 のうち、一方の電極は、他方の電極からの距離が最も近い面が少なくとも絶縁体で被覆されている。

例えば、A C 電極 5 は、誘電体層 2 の内部に埋め込まれ、全ての表面が誘電体 ( 絶縁体 ) で被覆されている。

【 0 0 6 2 】

このような構成によれば、A C 電極 5 と D C 電極 3 との間のアーク放電の発生を抑制することができる。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 3 】

- 1 , 1 B , 1 C プラズマアクチュエータ
- 2 誘電体層
- 3 D C 電極
- 4 接地電極
- 5 A C 電極
- 6 制御装置
- 1 0 基準電極

10

20

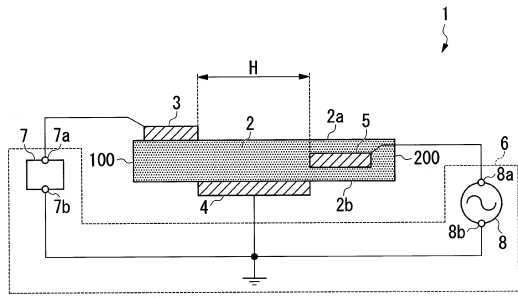
30

40

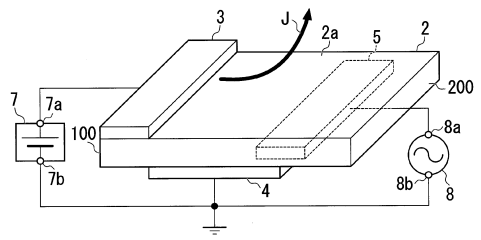
50

【図面】

【図 1】

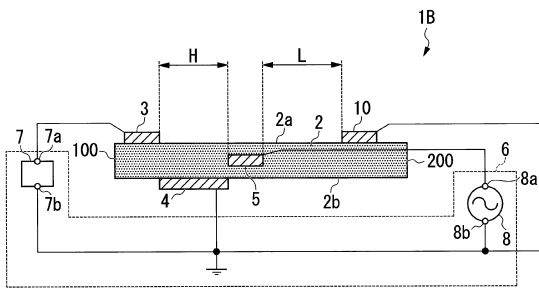


【図 2】

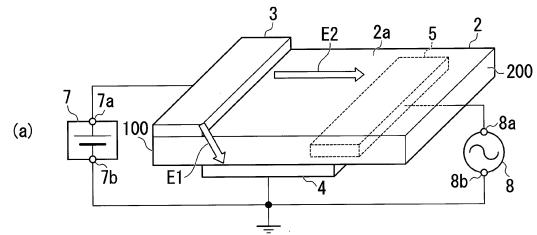


10

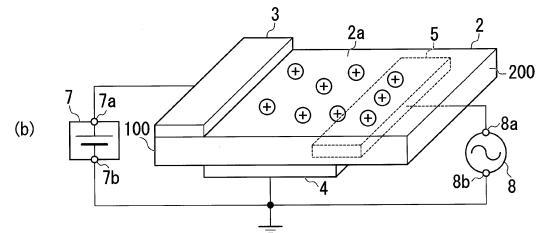
【図 3】



【図 4】



20

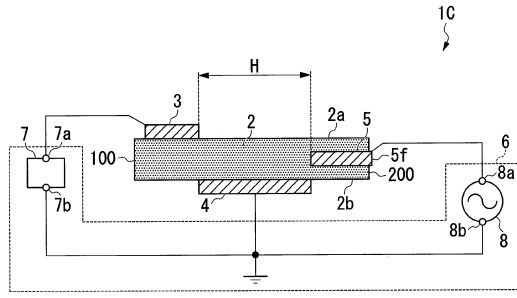


30

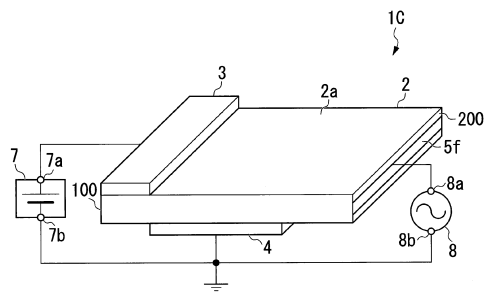
40

50

【図5】

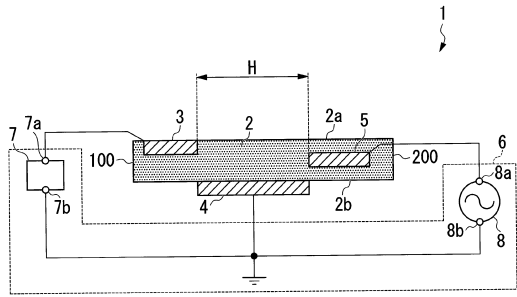


【図6】

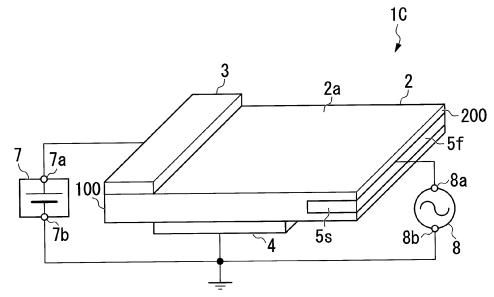


10

【図7】



【図8】



20

30

40

50

## フロントページの続き

- 東京都江東区豊洲三丁目1番1号 株式会社IHI内
- (72)発明者 西田 浩之  
東京都府中市晴見町3-8-1 国立大学法人東京農工大学内
- (72)発明者 中井 公美  
東京都府中市晴見町3-8-1 国立大学法人東京農工大学内
- (72)発明者 畑本 明彩未  
東京都府中市晴見町3-8-1 国立大学法人東京農工大学内
- 審査官 中尾 太郎
- (56)参考文献 特開2013-236995(JP,A)  
特開2008-001354(JP,A)  
米国特許出願公開第2019/0193863(US,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
H05H 1/24  
B64C 21/10