

機関番号：11201

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20540479

研究課題名（和文） 新方式大気圧低温プラズマ源の開発と応用

研究課題名（英文） Development and applications of a novel low-temperature plasma source under atmospheric pressure

研究代表者

藤原 民也 (FUJIWARA TAMIYA)

岩手大学・工学部・教授

研究者番号：70042207

研究成果の概要（和文）：

従来のバリア放電に比べて、放電開始電圧が20%程度低いプラズマ源が開発された。プラズマ源はバリア表面に浮遊電位の銅箔を多数点在させたものであり、この新方式の放電機構が明らかになった。銅箔の周囲で電界が集中し、放電は初め銅箔で起こるが、やがて放電は2つの過程を経てバリア領域に移る。表面処理を行ったところ、水の接触角が86.2°であったポリエチレン表面が処理により75.0°に減少し、低温プラズマ源としてプロセスでの有効性を確かめた。

研究成果の概要（英文）：

A novel atmospheric pressure plasma source has been developed. The source has an array of many copper dots with floating potential on the dielectric barrier surface. The floating electrodes, that is, the copper dots decreased the breakdown voltage by about 20% as compared with barrier discharge. It was clarified that a discharge occur around edges of copper dot and it move to a region separated from floating electrodes and at a short distance from them as time pass. It was found from a preliminary experiment of surface treatment that this plasma source is applicable to applications in the field of low-temperature plasma.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：プラズマ科学・プラズマ科学

キーワード：プラズマ・核融合、気体放電、低温プラズマ、放電プラズマ

1. 研究開始当初の背景

大気圧プラズマは真空装置を必要としない簡便さやプロセスにおける有効性から、さまざまな分野に広く使用されており、それに対する社会の要求や期待はますます高まるばかりである。大気圧プラズマの生成に最も使用される放電法は誘電体バリア放電と言える。これは比較的容易な放電法であり、しかも低温プラズマが長時間安定に生成されることから、古くよりオゾナイザーなどに利用されてきた。大気圧での放電は熱プラズマを生成するアーク放電に移行するので、バリア放電では電極に誘電体バリアを介在させて、その移行を回避している。しかし、バリアは絶縁物であるため、その介在によって放電開始電圧は高いこと、そしてそれに関連して電極間隔を広くできない。このことがバリア放電の欠点であり、その解決が望まれている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、低電圧で動作する大気圧プラズマ源の開発である。具体的には、放電開始電圧は従来の誘電体バリア放電よりも少なくとも 30%以上低くすることを目標とした。また、条件（電圧、使用ガス、流量）に影響されずに安定な放電を維持できるプラズマ源の開発とプラズマの大面积化も目的である。従来の誘電体バリア放電は、放電断面方向への広がりや微小放電（マイクロ放電）の発生数は条件に著しく影響される。本研究で開発するプラズマ源は浮遊電極で放電が開始するので放電の広がりや微小放電の発生数は条件によらず一定であると考えられる。現在大気圧プラズマ源として最も利用されているバリア放電では、電極やバリアを広げてもプラズマはそれにとまって広がるとは限らない。しかし本研究ではそれが確実に実現できるプラズマ源の開発が目的である。

3. 研究の方法

本研究で使用した放電容器を図 1 に示す。上側のガラスは誘電体バリアであり、その片側面に ITO 膜が付いており、これを高電圧電極とする。下側のガラスエポキシ板も誘電体バリアである。その放電側の表面に浮遊電極として銅箔（copper dot）が蒸着によって多数

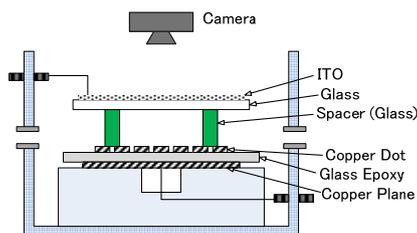


図 1 放電容器

配列されている。放電側の反対側には接地電極として銅の厚膜（copper plane）が蒸着されている。図 2 の上から 3 枚はバリアの放電面に蒸着された 3 種類の浮遊電極である。1 番下はバリアの反対側面の接地電極である。

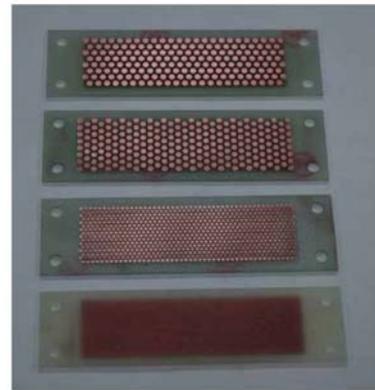


図 2 浮遊電極と接地電極

4. 研究成果

(1) 放電機構：本放電の機構は従来のバリア放電に比べてより複雑であることがわかった。放電は時間経過で 3 つのモードに分けられる。図 3 は電圧波形（赤線）、測定された電流波形（緑線）および放電電流波形（青線）である。放電電流は、測定された電流から静電容量の充電電流を差し引いて求めた。放電電流には、正の半周期で 3 つのピークが表れていることがわかる。これらのピークはそれぞれ異なる領域での放電に対応している。

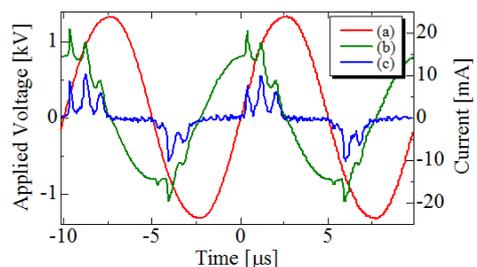


図 3 印加電圧、測定電流および放電電流の波形

電圧上昇から間もなく浮遊電極やその周囲で電界の集中が起こり、浮遊電極の端で放電が開始する（第 1 モード）。やがて浮遊電極には表面電荷が蓄積し、その空間電荷電界によって放電は自己消弧する。印加電圧はまだ上昇中であり、電界が破壊電界の値よりも大きくなって再び放電が起こる。この時の放電は浮遊電極やその周囲ではなく、そこから離れたバリア領域で起こる（第 2 モード）。従来のバリア放電では、バリアの同じ領域でマイクロ放電と自己消弧が繰り返される。こ

のことは本プラズマ源が従来のバリア放電とは明確に異なり、かつ特徴的な点である。第2モードの放電もバリア面の電荷蓄積によってやがて自己消弧する。印加電圧はなおも上昇して、空間の合成電界が絶縁破壊値よりも大きくなって、3回目の放電が起こる(第3モード)。この放電は浮遊電極に近いバリア領域である。それは第1モードと第2モードで放電が起こった領域以外の場所である。

図4にバリア表面の写真を示す。(a)は放電前であり、灰色の小さい円形が浮遊電極である。(b)、(c)および(d)はICCDカメラで撮影した放電の様相である。(b)は第1モードの放電時の写真であり、図3では波形の0.29~0.39 μ sの時間帯に対応している。また(c)は第2モードの時であり、1.09~1.19 μ sの時間帯に対応する。そして、(d)は第3モードであり、1.89~1.99 μ sの時間帯に対応する。

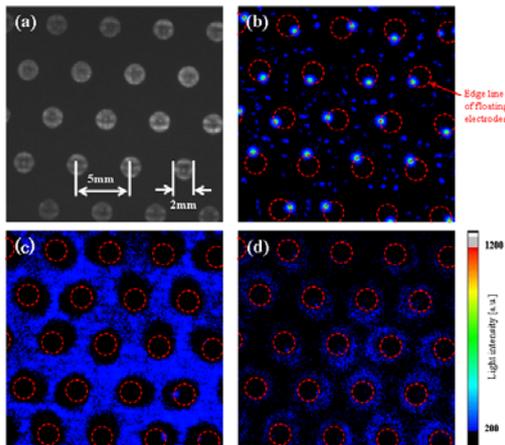


図4 浮遊電極および放電様相

バリア放電によるマイクロ放電の自己組織化に対しては計算モデルが存在するが、それは必ずしも完成されたものではない。例えば、1マイクロ放電で充電される静電容量などは推定値を使用しており実際に測定した値ではない。その点、本方式では浮遊電極の静電容量はわかっているので、1マイクロ放電による蓄積電荷量を正確に知ることができる。それゆえ、本研究の測定値はバリア放電の自己組織化モデルに貴重な数値データを与える。一例として、図3と図4の場合、浮遊電極(銅箔)1個あたりの蓄積電荷は32.7pCであり、これによる空間電荷電界(自己消弧を引き起こす電界)は400Vであった。この成果は2011年8月発行の米国電気電子学会誌IEEE Transaction on Plasma Scienceに掲載されることが正式に決定した。

(2) 放電開始電圧の低下: 第1モードの写真より、最初放電は浮遊電極の端から開始することがわかった。このことは、バリア表面に

浮遊電極を配列することによって、放電開始電圧が低下することを示唆している。実験からこのことを確かめた。放電開始は目視やリサージュ図で急激な変化となつては現れないため、本研究では消費電力と印加電圧の関係を用いた。図5は印加電圧と消費電力の関係である。このグラフにおいて、実測値を左下方向に伸ばし、延長した直線が横軸と交わる点から放電開始電圧を求めた

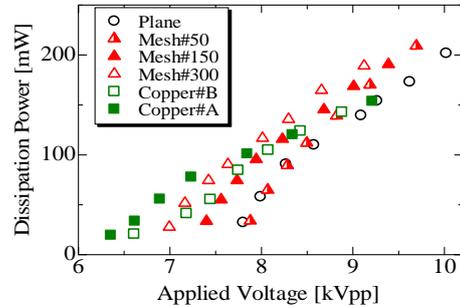


図5 消費電力と印加電圧の関係

比較のため、浮遊電極としてステンレスメッシュを用いた実験も行った。メッシュの目の粗さは#50, #150, #300の3種類である。銅箔は、直径2mmを224個、および1mmを500個の2種類を用い、それぞれ#Aおよび#Bで表す。図5から、平板(浮遊電極無し)、メッシュの浮遊電極および銅箔の浮遊電極の3つの場合で、銅箔の場合が放電開始電圧は最も低いことがわかる。放電開始電圧は、平板(浮遊電極無し)では約7.4kVであるが、銅箔(#A)では約6.0kVとなり約20%の低下である。図6は、3つの場合の消費電力がほぼ等しい値(約55mW)でのLissajous図である。横軸方向の振幅から印加電圧の大きさがわかる。平板(浮遊電極無し)で7.99kV_{pp}、メッシュ#300は7.16kV_{pp}、銅箔#Aは6.88kV_{pp}であり、これからも銅箔の場合が最も低い電圧でプラズマ源を駆動できることがわかる。

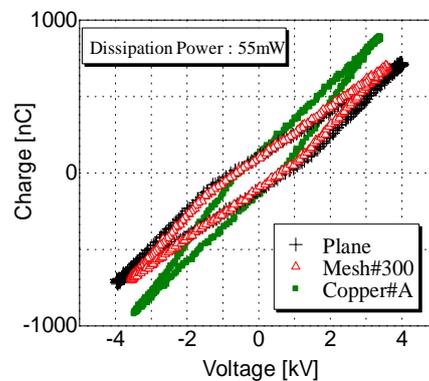


図6 Lissajous 図

(3) プロセスにおける有効性：図7は消費電力と一周あたりの移動電荷量の関係である。平板(浮遊電極無し)、メッシュの浮遊電極、銅箔の浮遊電極の3つの場合を比較すると、同じ値の消費電力に対して移動電荷量が最も大きいのが銅箔の浮遊電極である。このことは、銅箔の場合が同じ消費電力でより多くの活性種を生成できることを意味しており、プロセスにおける有効性が裏付けされる。

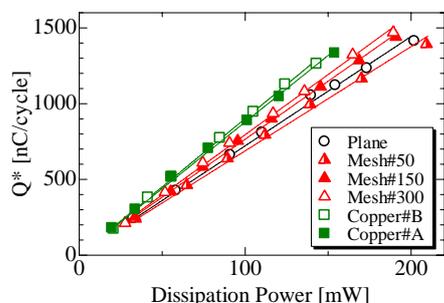


図7 消費電力と一周あたりの移動電荷量の関係

応用の一例としてポリエチレンの表面処理を行った。図8は、プラズマ処理を10秒間行ったときの水の接触角の変化である。縦軸は接触角で、横軸はプラズマ源からサンプルまでの距離である。Type1は浮遊電極有り、Type2が浮遊電極無しの場合である。プラズマ処理前は86.2°であるが、本方式でプラズマ処理を行うと75.0°以下に減少する。また、浮遊電極が無い場合に比べて、接触角の減少は本方式が大きいことがわかる。予備実験ではあるが、この結果より本プラズマ源は低温プラズマの応用分野に十分使用できることが示唆される。

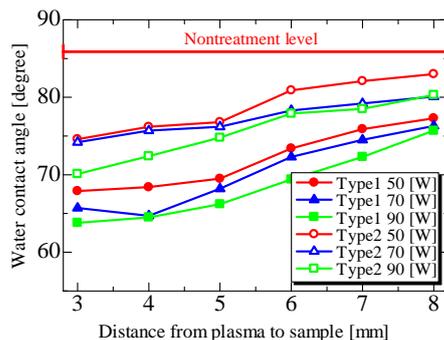


図8 接触角と距離の関係

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

- ① S.Matsumoto, K.Takahashi, S.Mukaigawa, T.Fujiwara, Discharge Formation of DBD with Floating Electrode Array at Atmospheric Pressure in Mixed Gas of Helium and Nitrogen, IEEE Transaction on Plasma Science, 査読有, Vol.3, 2011, in press.
- ② T.Shimokawara, S.Mukaigawa, Y.Shida, K.Takahashi, K.Takaki, T.Fujiwara, Measurement of Heat Flux Applied from Atmospheric Pressure Plasma Jets to Substrate Using a LiNbO3 Laser Interferometer, Transaction of the Material Research Society of Japan, 査読有, Vol.3, 2009, pp.267-270
- ③ K.Takaki, K.Nawa, S.Mukaigawa, T.Fujiwara, T.Aizawa, Self-Organization of Microgap Dielectric-Barrier Discharge in Gas Flow, IEEE Transaction on Plasma Science, 査読有, Vol.36, 2008, pp.1260-1261

[学会発表] (計6件)

- ① 松本創、志田寛、高橋和貴、向川政治、高木浩一、藤原民也、浮遊電極を有する自己消弧放電の放電特性、電気関係学会東北支部連合大会、2010年8月27日、八戸工業大学
- ② 笛宏行、長谷川達也、向川政治、高木浩一、藤原民也、大気圧マイクロギャップバリア放電における誘電体表面電荷の測定、電気関係学会東北支部連合大会、2010年8月27日、八戸工業大学
- ③ 松本創、志田寛、高橋和貴、向川政治、高木浩一、藤原民也、浮遊電極を利用した自己消弧放電による大気圧プラズマの発生、電気学会プラズマ研究会、2009年6月13日、佐賀大学
- ④ 北慎勇希、伊藤寛、志田寛、向川政治、高木浩一、藤原民也、高周波大気圧プラズマを用いた高分子材料表面の親水性向上と浮遊電極の影響、電気学会パルスパワー・放電合同研究会、平成2009年5月28日、山形大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤原 民也 (FUJIWARA TAMIYA)
岩手大学・工学部・教授
研究者番号：70042207

(2) 研究分担者

高木 浩一 (TAKAKI KOICHI)
岩手大学・工学部・准教授
研究者番号：00216615

向川 政治 (MUKAIGAWA SEIJI)
岩手大学・工学部・准教授
研究者番号：60333754

高橋 和貴 (TAKAHASHI KAZUNORI)
岩手大学・工学部・助教
研究者番号：80451491

(3) 連携研究者
なし