

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：17401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13930

研究課題名(和文)超高性能放電スイッチの開発

研究課題名(英文)Development of high performance discharge switch

研究代表者

浪平 隆男(Namihira, Takao)

熊本大学・パルスパワー科学研究所・准教授

研究者番号：40315289

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：数百から数十ナノ秒の時間幅を有していたパルス放電に対して、数ナノ秒へと短パルス化することで得られる反応場「ナノ秒パルス放電」は、これまでにその物理・化学的特性が明らかになり、同時に、その省エネルギー性が評価・実証されてきた。本研究では、「ナノ秒パルス放電」に続いて更なる省エネルギー化をもたらす『ピコ秒パルス放電』を形成するためのピコ秒パルス電源の実現へ必須となる超低インダクタンススイッチの開発を目指した。結果として、体積放電と沿面放電を融合させた放電スイッチを作製し、そのいくつかの特性を明らかにしたが、未解明の特性が残ることとなり、目的の超インダクタンススイッチの開発には至らなかった。

研究成果の概要(英文)：The discharge plasma generated by nano seconds pulsed power has the higher performance of plasma processing such as ozone production, harmful gas treatment, waste water purification and so on than the longer duration pulsed discharge plasma. Therefore, the generation of pico seconds range pulsed discharge plasma is expected to be one of the promising way for plasma processing. For making the pico seconds pulse generator, the development of lower inductance switch is the essential factor. In the work, the discharge switch having both merits of the volume and the surface discharges was studied. As the results, some characteristics of the developed discharge switch was demonstrated. However, there are still unclear properties. So, the research related the developed switch would be followed.

研究分野：パルス放電工学

キーワード：ナノ秒 パルス放電 放電スイッチ 沿面放電 体積放電

1. 研究開始当初の背景

数百から数十ナノ秒の時間幅を有していたパルス放電に対して、数ナノ秒へと短パルス化することで得られる反応場「ナノ秒パルス放電」は、これまでにその物理・化学的特性が明らかになり、同時に、その省エネルギー性が評価・実証されてきた。そのため、複数の企業による「ナノ秒パルス放電」の実機化検討が始まっており、その研究過程は基礎フェーズを脱し、既に実用化フェーズへ突入していると言える。このような状況下において、本研究では、「ナノ秒パルス放電」に続いて更なる省エネルギー化をもたらす『ピコ秒パルス放電』を形成するためのピコ秒パルス電源を実現するための超高速放電スイッチの開発を進める。

2. 研究の目的

現在、ナノ秒パルス電源に使用されているスイッチは、同軸円筒型高気圧放電スイッチであり、ターンオン時間 2 ns 及び最大電流 2 kA、即ち、1 kA/ns の電流増加速度を有している。この性能は、現存する半導体スイッチでは達成不可能である。

本研究では、1 ns 以下の時間幅を有するピコ秒パルス電源に必要となる 500 ps 以下のターンオン時間及び 2 kA の最大電流、即ち、4 kA/ns 以上の電流増加速度を有する超高速放電スイッチの開発を最終目的とする。

3. 研究の方法

現存のナノ秒パルス電源に使用されている同軸円筒型高気圧放電スイッチは、高気圧雰囲気下に置かれた 2 つの金属電極間にて形成される体積放電プラズマをスイッチング媒体としている。このような放電スイッチは、その原理上、放電プラズマ形成時間がターンオン時間となるが、体積放電では、その放電路が空間を進展することとなるため、その形成へ時間を要する、即ち、ターンオン時間が長くなることとなる。一方、沿面放電では、その放電路が絶縁体表面を進展することとなり、絶縁体表面への電界集中及び絶縁体表面からの 2 次電子放出のため、その進展速度が速くなる、即ち、ターンオン時間が短くなることとなる。また、体積放電は、絶縁破壊電圧 (ターンオン電圧) が雰囲気圧力に比例するのに対し、沿面放電は、絶縁破壊電圧が雰囲気圧力に飽和するといった特徴を持っている。

これらをまとめると、体積放電スイッチは、雰囲気圧力によるターンオン電圧の調整が容易といった長所を有するとともに、ターンオン時間が長くなるといった短所を有し、他方、沿面放電スイッチは、雰囲気圧力によるターンオン電圧の調整が困難といった短所を有するとともに、ターンオン時間が短くなるといった長所を有することとなる。

よって、本研究では、体積放電と沿面放電、お互いの長所、即ち、調整容易なターンオン

電圧及び短いターンオン時間を重畳したハイブリッド型放電スイッチの開発を達成するために、ハイブリッド型放電スイッチの基礎特性を把握する。

4. 研究成果

図 1 には、本研究で考案・製作した、体積・沿面放電の長所を重畳したハイブリッド型放電スイッチの形状を示す。放電スイッチの基本形状は、曲率半径 5 mm の半球状先端を有する金属棒電極が対向して設置され、その周囲をアクリルで囲ったものとなっている。図 1 (a) の放電スイッチは、金属棒電極が平面上のアクリルで囲ってあり、図 1 (b)(c) の放電スイッチは、金属棒電極が平面の一部が溝加工されたアクリルで囲ってある。なお、図 1 (b)(c) の放電スイッチは、溝の位置が異なり、(b) は電圧が印可される金属棒電極側に溝があり、(c) は接地される金属棒電極側に溝がある。

本研究では、上記、3 つの放電スイッチについて、増加速度 200 kV/μs を有する電圧を印可した場合における、絶縁破壊電圧及び放電プラズマ形成時間、放電プラズマ形成路を確認した。なお、絶縁破壊電圧及び放電プラズマ形成時間の計測には、電圧プローブ及びカレントトランスフォーマーを、放電プラズマ形成路の確認には、高速ゲート付 ICCD カメラを使用した。

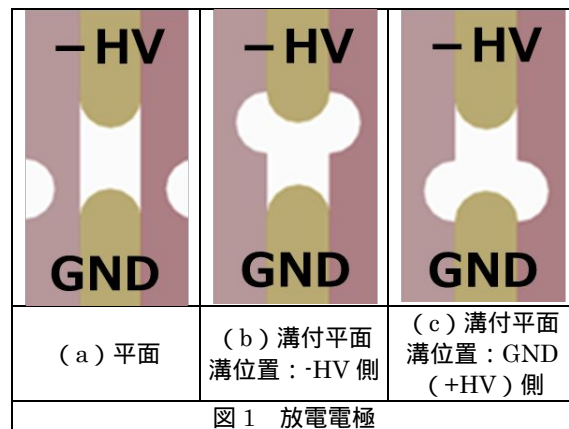


図 2 には、窒素雰囲気下における 3 つの放電スイッチの放電プラズマ形成路を示す。図 2 より、窒素雰囲気下においては、3 つの放電スイッチにて、同様に、体積放電によるプラズマ形成が確認された。また、その時の絶縁破壊電圧及び放電プラズマ形成時間も同様であった。よって、窒素雰囲気下においては、考案した電極形状での沿面放電発生が確認できず、目的としているハイブリッド型放電スイッチの開発は不可能であることが確認された。

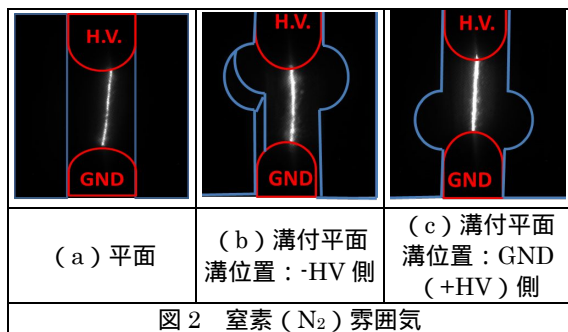
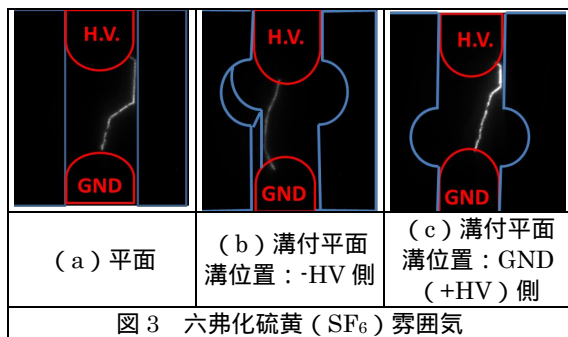


図 3 には、六弗化硫黄雰囲気下における 3 つの放電スイッチの放電プラズマ形成路を示す。図 3 より、六弗化硫黄雰囲気下においては、3 つの放電スイッチにて、同様に、体積放電及び沿面放電の 2 つの放電によるプラズマ形成が確認された。また、その時の絶縁破壊電圧及び放電プラズマ形成時間も同様であった。よって、六弗化硫黄雰囲気下においては、考案した電極形状での体積放電と沿面放電を重ねさせたハイブリッド型放電スイッチの開発が可能であることが確認された。



本研究の成果として、六弗化硫黄雰囲気下におけるハイブリッド型放電スイッチの可能性が示唆された。そのため、今後は、高過電圧率や高気圧雰囲気など、体積放電と沿面放電のプラズマ形成に大きな影響を及ぼすパラメータについて、考察・検討を進めることで、より性能の高いハイブリッド放電スイッチを実現できる形状を探索することができる。

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 1 件)

- [1] A. Ogasawara, J. Han, K. Fukunaga, J. Wang, D. Wang, T. Namihira, M. Sasaki, H. Akiyama, P. Zahng, “Decomposition of toluene using nanosecond pulsed discharge plasma assisted with catalyst”, IEEE Transactions on Plasma Science, Vol.43, No.10, pp.3461-3469, 2015.

[学会発表](計 8 件)

- [1] S. Kodama, S. Matsumoto, D. Wang, T. Namihira, H. Akiyama, “Fundamental

properties of organic acid treatment in water droplets by a nanosecond pulsed discharge in atmospheric oxygen”, 21st International Conference on Gas Discharges and their Applications, pp.557-560, 2016.09.11-16.

- [2] R. Tamura, D. Wang, T. Namihira, H. Akiyama, “Effects of initial ozone concentration on ozone generation characteristics using nanosecond pulsed discharge”, 21st International Conference on Gas Discharges and their Applications, pp.553-556, 2016.09.11-16.
- [3] S. Kori, J. Han, A. Ogasawara, D. Wang, T. Namihira, H. Akiyama, “Opimizing reactor design for ozone generation using nanosecond pulsed discharge plasmaby Taguchi method”, 21st International Conference on Gas Discharges and their Applications, pp.533-536, 2016.09.11-16.
- [4] T. Miyazaki, D. Yamaguchi, T. Namihira, D. Wang, H. Akiyama, “Development of high voltage microsecond pulse charger using SI-Thyristor for nanosecond pulse discharge system”, 21st International Conference on Gas Discharges and their Applications, pp.529-532, 2016.09.11-16.
- [5] Y. Nagata, K. Nakamura, D. Wang, T. Namihira, H. Akiyama, “Effects of wire diameter on pulsed streamer discharge using wire-plate electrode”, 21st International Conference on Gas Discharges and their Applications, pp.385-388, 2016.09.11-16.
- [6] H. Sato, K. Fujii, D. Wang, T. Namihira, H. Akiyama, “Positive and Negative Pulsed Discharge Generated by a ns Pulsed-Power in Compressed Air”, 2015 Korea-Japan Joint Symposium on Electrical Discharge and HV Engineering, O-031, Mokpo, Korea, 2015.11.19-20.
- [7] S. Kodama, S. Matsumoto, D. Wang, T. Namihira, H. Akiyama, “The Effective Treatment of Persistent Organic Pollutants in Wastewater Splay by Nanoseconds Pulsed Discharge in Air”, 2015 Korea-Japan Joint Symposium on Electrical Discharge and HV Engineering, O-025, Mokpo, Korea, 2015.11.19-20.
- [8] J. Han, A. Ogasawara, J. Wang, D. Wang, T. Namihira, M. Sasaki, H. Akiyama, P. Zhang, “Air pollution control using nanoseconds pulsed discharge”, 4th International Conference on Environment Simulation

and Pollution Control, pp.366-367,
Beijing, China, 2015.11.02-03.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

浪平 隆男 (NAMIHIRA, Takao)
熊本大学・パルスパワー科学研究所・准教授
研究者番号：40315289

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

()