

# 高速パルス駆動 MCS 放電方式による高反応性大気圧プラズマ源の開発

## Development of Highly Reactive Plasma Source in Atmospheric Pressure using Parallel MHCD and Repetitive Impulse Voltage to the Third Axial Electrode

前山 光明  
Mitsuaki Maeyama

埼玉大学 理工学研究科  
Saitama University, Graduate School of Science and Engineering

### Abstract

In this report, the new plasma source that is a cylindrical atmospheric plasma using parallel MHCD and repetitive impulse voltage to the third axial electrode is demonstrated. This repetitively impulse voltage make it possible to expand these parameters and enlarge the reduced electric field  $E/n$ , which is an important physical parameter for gas treatment applications.

**Key Words:** atmospheric pressure plasma, micro hollow cathode discharge, repetitive impulse voltage generator

### 1. 研究の背景および目的

産業で広く利用されているプラズマは、圧力を大気圧の 1/100 以下という低圧力のガスに高電圧を印加することで発生させる。これは、絶縁破壊による放電現象でプラズマを生成する場合に、必要な電圧の値が、圧力が低いほど小さくなるためである。近年、大気圧付近の高圧力下でプラズマを生成する研究が国内外で盛んに行われている。廃棄ガスをプラズマにより処理する応用において、大気圧に近ければ、処理速度が向上すると共に、生成する容器の設計が容易となるためである。

本研究では、大気圧付近でプラズマを生成するために、マイクロフォローカソード放電（以下 MHCD）と第 3 電極に電圧を印加する方法であるマイクロフォローカソード維持放電（以下 MCS 放電）方式を利用する[1]。特に、われわ

れのグループでは、このプラズマをガス処理へ適用しやすいように、円筒形状とする方式を提案してきた。本研究では、従来直流高電圧を第 3 電極に印加する方法が利用されていたが、これに、高繰り返しインパルス電圧を印加する方法を提案し、その実現性、有効性を実験により示すことを目的とした。特に、従来の直流を利用した場合には、印加できる電圧範囲が、ガス圧力の増加とともに狭くなる点を改善できる可能性がある。また、直流に比べ、インパルス電圧の場合の方が、印加電圧をより高くできるため、オゾン生成などガス処理の性能に重要な換算電界  $E/n$ （ここで、 $E$  は電界、 $n$  はプラズマの数密度）を大きくできるという特長がある[2]。

### 2. 実験装置

#### 2.1 円筒形並列 MCS 放電回路

Fig. 1 に円筒形並列 MCS 放電プラズマ源の装置を示す。内径 17mm, 外形 19mm のアルミの円筒を用い、この外側の表面に MHCD 用の電極を

\* 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 255  
電話：048-858-3471 FAX：048-858-3471  
Email：maeyama@ees.saitama-u.ac.jp

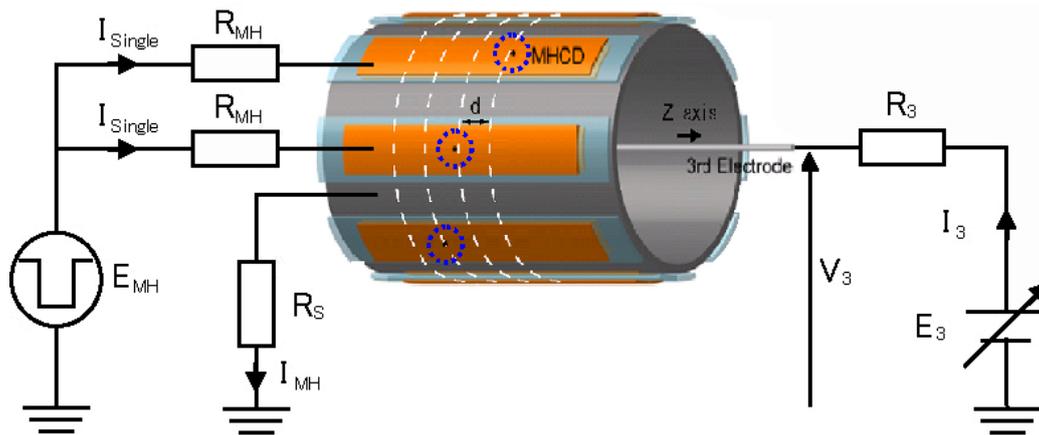


Fig.1 円筒形並列 MCS 放電装置

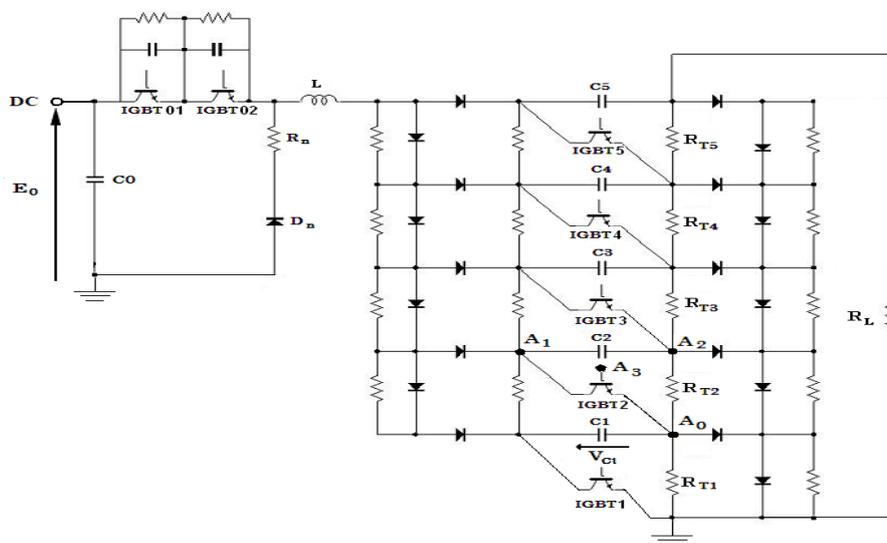


Fig.2 繰り返しインパルス電圧源の回路図

固定し、これに、複数の MHCD 電極が並列に安定して放電するようバラスト抵抗  $R_{MH}$  を通して、パルス電源  $E_{MH}$  に接続する。アルミの円筒がこの MHCD 電極の共通の接地電極となる。

MHCD を流れる電流は、抵抗  $R_S$  の電圧より測定する。

円筒の中心軸に細線を張り、直列抵抗  $R_3$  を通して電源  $E_3$  に接続する。電源  $E_3$  には、従来の直流電源か、次項で説明する繰り返しインパルス電圧電源を接続する。

MHCD 電極は、厚さ  $60 \mu\text{m}$  のエポキシ両面銅張基板を利用し、不要な銅をエッチングで削除し、 $600 \mu\text{m}$  の微小な穴を開けることで作成する。

## 2.2 繰り返しインパルス電圧源

この多段式インパルス電源の  $N=5$  段の場合の回路図[3]を、Fig.2 に示す。図の右側の  $C_1$  から  $C_5$  の 5 個のコンデンサ  $C_n$  は、電圧  $E_0$  に充電された  $C_0$  から並列に充電され、その後、IGBT スイッチにより瞬時に直列に接続されることで負の高電圧が発生する。理想的には、 $C_n$  の充電電圧は  $V_{Cn} = 2 E_0$ 、出力電圧は、 $C_n$  の個数を  $N$  個とすると、 $V_0 = -N V_{Cn} = -2N E_0$  となる。

本研究では、 $N=10$ 、 $E_0$  を最大約  $1\text{kV}$  とし、実際の出力電圧は、最大  $12\text{kV}$  であった。また、繰り返し周波数は、上限  $2\text{kHz}$  で利用した。



(a) 一様放電モード



(b) MCS モード

Fig.3 繰り返しインパルス印加時の放電の様子

### 3. 実験結果

0.5 気圧，乾燥空気の状態で MHCD 放電と繰り返しインパルス電圧を印加したときの放電の観測を行った。

$E_0=850\text{V}$  繰り返し周波数  $300\text{Hz}$  で，連続動作させた場合の放電の様子を，Fig.3(a)に示す。露光時間は，1 秒であり，円筒の軸方向から撮影した写真である。円筒の表面付近に，複数の MHCD の発光が見えるが，その電極と中心軸の第 3 電極との間での放電は見られず，ワイア・イオンプラズマ源と同様な軸を中心とした一様な発光が得られた。発光の強度は小さく，また，第 3 電極の電圧 (Fig.2 の  $V_3$ ) の波形から，流れる電流  $I_3$  の値もごく小さい。ただし， $E_3$  として直流を用いた場合は， $V_3=7\text{kV}$  程度で放電するのに対して，約  $V_3=9.3\text{kV}$  であり，より大きな電圧が印加できたことを示している。

同図 (b) は， $E_0=1\text{kV}$  の場合の結果である。円筒表面にある各 MHCD 電極と第 3 電極の間にストリーマー放電のように激しい発光が見られた。 $E_3$  の電源が直流の場合は，一旦ストリーマー放電が起こると，その放電が長時間に及ぶとともに，局所的な放電となり，一様な放電が得られない。それに対して，同図において，中心軸から右側の部分に，配線による影のため発

光がない部分があるが，全体的に各 MHCD 電極との間で放電することが確認できる。

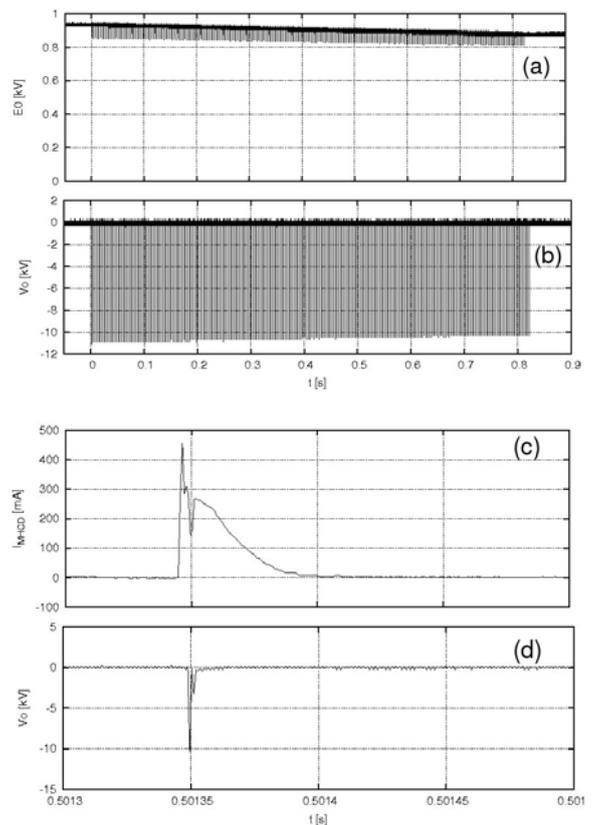


Fig.4 インパルス電圧印加時の電圧・電流波形

なお, Fig. 4 は, 0.8 秒間インパルス電圧を繰り返し印加した場合の(a)  $E_0$ , (b)  $V_o$  の電圧と, その一部を拡大した (c)  $I_{MHCD}$ , (d)  $V_o$  の波形である。ここで,  $I_{MHCD}$  は, Fig. 1 に示す MHCD 電極の総電流である。同図(a)より電源であるコンデンサ  $C_0$  の電圧  $E_0$  は, 放電開始後商用電源からの充電が間に合わないことでわずかに減少する。出力電圧  $V_o$  は,  $E_0$  の減少とともにピーク値が減少するが, 個々の波形は再現性よく得られる。また, MHCD の放電が開始してから  $2 \mu$  秒後に, インパルス電圧が第 3 電極に印加されている。

#### 4. まとめ

以上の結果, 提案した繰り返しインパルス電圧と MHCD を組み合わせたプラズマ源において, 安定に並列に MCS 放電が可能であることを実証した。今後, これをガス処理へ応用するよう, 容積の拡大, 処理速度の向上の研究を進める予定である。また, 本研究は, 科学技術振興事業団「JST」の平成 22 年度 研究成果最適展開支援事業(A-STEP) の支援により行った。

#### 参考文献

- [1] 長野, 今, 山崎, 前山:「MCS 放電の並列動作による大気圧プラズマの大容量化に関する研究」, 電学誌, 130-A,8, pp.753-758(2010)
- [2] 今, 浅野, 竹中, 前山:「大気圧 MCS 放電を用いたオゾン生成における放電波形と生成効率の検討」, 平成23年度電気学会全国大会講演論文集 1-202
- [3] 久保田, 楯澤, 前山:「半導体化インパルスジェネレータの大容量化と高機能化に関する研究」, 平成23年度電気学会全国大会講演論文集 1-179