

パルスグロー放電を用いた大容量高密度プラズマの生成

正員 高木 浩一 (岩手大学)

学生員 北村 大介 (岩手大学)

正員 藤原 民也 (岩手大学)

Generation of High Density Plasma with Large Volume Using Pulsed Glow Discharge.

Koichi Takaki, Member, Daisuke Kitamura, Student Member, Tamiya Fujiwara, Member (Iwate University)

キーワード：過渡グロー放電、異常グロー放電、プラズマ、グロー放電、パルスパワー、PSII

1989年にウイスコンシン大学のコンラッド博士により提案されたPSII (Plasma Source Ion Implantation) は、三次元形状物にもイオン注入が可能なることから、多くの機関で研究開発が試みられている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。PSIIには大容積・高密度プラズマが必要となる。コンデンサに接続したギャップなどで起こるパルスグロー放電では、短時間ではあるが大容積のプラズマが発生するため、イオンソースとしての応用が期待されている^{(3),(4)}。パルスグロー放電に関する報告は、過渡グロー放電を対象に、電流密度が正規グローの理論値とほぼ一致するなどが報告されている⁽⁵⁾⁻⁽⁸⁾。しかしこれらの放電電流は数Aから数十Aオーダと小さい。イオンソースとして利用するためには、プラズマの更なる高密度化が望まれる。本研究は、放電回路を同軸形状として回路インダクタンスを減らし、かつ回路抵抗を小さくすることで、パルスグロー放電を異常グロー領域で生成した。ここでは、その大電流パルスグロー放電の特性について述べる。

図1に実験装置を示す。放電回路は、 $1.89\mu\text{F}$ のコンデンサ、 $1\sim 52\Omega$ の電流制限抵抗、スパークギャップの直列回路で構成されている。電極は真鍮製平行平板電極を使用しており、直径は 6.45 cm である。装置のインダクタンスは、幾何学的形状より求め、 444 nH となる。実験では、直流高電圧電源をもちいてゆっくりとコンデンサを充電し、充電電圧がギャップの絶縁破壊電圧に達したときに生じる放電について調べた。放電の様子はイメコン (John Hadland LTD. IMACON 790) を用いて、また放電電流はロゴスキーコイル (Pearson 110A) を用いて測定した。

図2に電流波形と、イメコンにより測定された放電の様子を示す。気圧とギャップ長はそれぞれ 5.5 Torr と 2 cm 、制限抵抗は 1Ω である。図より、電流は約 100 A まで増加した後、しばらく一定となり、数 $\mu\text{ s}$ 後に急激に増

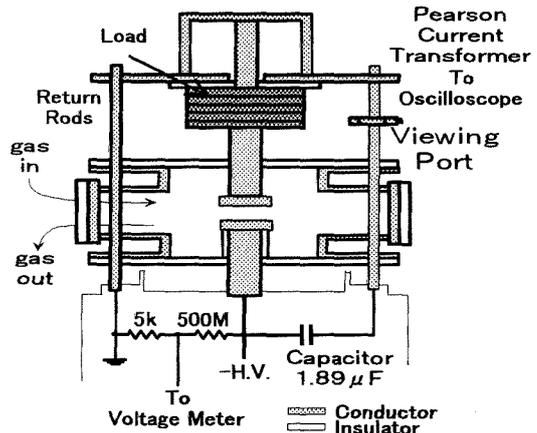


図1 実験装置

Fig.1. Experimental apparatus.

加している。また、放電写真より、 $2.3\mu\text{ s}$ 付近まで陰極表面に輝点は現れておらず、放電形態は過渡的なグロー放電であることがわかる。その後、陰極表面に輝点が現れ、電流の急激な増加に伴い、チャンネルが収縮し、アーク放電へ転移している。

図3に、過渡グロー放電の陰極電流密度と気圧との関係を示す。電流は電流波形より、面積は写真で観測した負グローからの発光より求めた。制限抵抗は 1Ω で、ギャップ長をパラメータとした。図より、最大で 3.7 A/cm^2 の電流密度が得られていることがわかる。また、破線は銅陰極、乾燥空気の場合に得られる正規グローの電流密度の理論値を示している⁽⁹⁾。本実験では、銅と亜鉛の合金である真鍮を陰極に用いているため、正規グロー放電の場合に得られる電流密度は破線と多少異なる。しかしながら、実験で得られた電流密度は理論値より1桁以上大きい。このことより、本実験装置で得られた過渡グロー放電は異常グローの領域にあることがわかる。

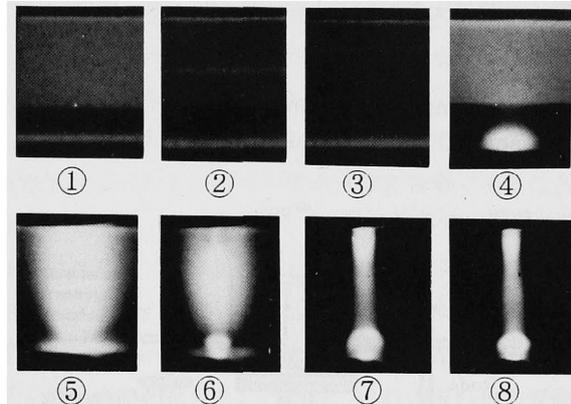
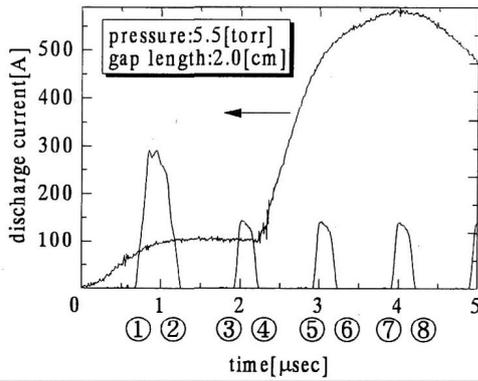


図2 パルス放電の電流波形およびこまどり写真
Fig.2. Current waveform and framing photographs of a pulsed discharge.

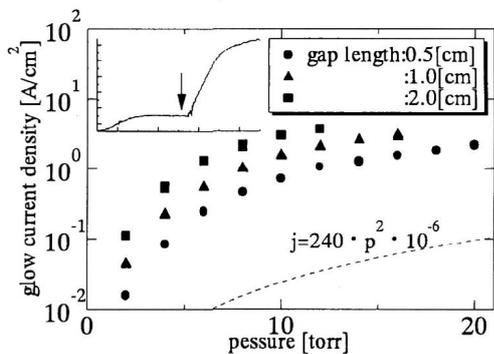


図3 過渡グロー放電の陰極電流密度と気圧との関係
Fig.3. Cathode current densities of transient glow discharges as function of gas pressure.

図4に電流制限抵抗と過渡グロー放電の電流密度との関係を示す。ギャップ長は1cmで、気圧をパラメータとした。破線はそれぞれの気圧におけるCu-Air正規グロー陰極電流密度の理論値を示している。図より、気圧が高いほど得られる電流密度が大きいこと、回路抵抗の増加に対して電流密度が減少していることがわかる。正規グロー領域で過渡グロー放電を発生させた場合、回路抵抗の値に依らず、電流密度は一定になることが報告されている⁽⁸⁾。本実験で得られた過渡グローの特性は、正規グローライクの過渡グローのものと異なることがわかる。

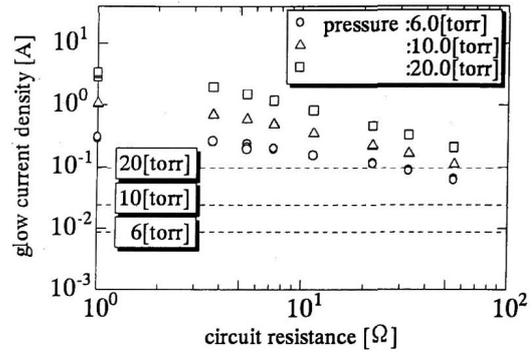


図4 過渡グロー放電の電流密度と回路抵抗との関係
Fig.4. Dependence of transient glow discharge current density on circuit resistance.

以上、回路のインダクタンス、抵抗を小さくすることで、異常グロー領域でパルスグロー放電を生成した。グローの持続時間は数μ秒で、電流密度3.7 A/cm²を得た。また、回路抵抗を増やすと過渡グロー放電の電流密度は正規グローの理論値に近づくことなどが明らかになった。最後に本研究を遂行するにあたり、有意義なご助言をいただきました同志社大学の行村建先生、栗田製作所の西村芳実氏、および装置の製作に御協力を頂きました本学徳田春夫氏、加藤昭二氏に深く感謝いたします。

(平成11年1月28日受付)

文献

- (1) J.R. Conrad, J. Appl. Phys., 62, 777 (1987)
- (2) J.R. Conrad *et al.*, J. Appl. Phys., 62, 4591 (1987)
- (3) 鈴木泰雄・行村建, 電学誌, 118, 3, 147 (1998)
- (4) S. Okazaki *et al.*, J. Phys. D: Appl. Phys., 26, 889 (1993)
- (5) I.D. Chalmers, J. Phys. D: Appl. Phys., 4, 1147 (1971)
- (6) J. Meyer & C.S. Lee, J. Phys. D: Appl. Phys., 4, 168 (1971)
- (7) R.S. Sigmond, Proc. Phys. Soc., 85, 1269 (1965)
- (8) 関川純哉・藤原民也, 電学論, 118-A, 9, 986 (1998)
- (9) 電気学会:「放電ハンドブック」(1974) オーム社

高木浩一(正員)(電学論, 119-A, No.1 参照)

北村大介(学生員)1975年11月23日生。1998年3月岩手大学工学部電気電子工学科卒業、同年4月同大学大学院工学研究科博士前期過程進学、現在に至る。主として、過渡グロー放電に関する研究に従事。



藤原民也(正員)(電学論, 119-A, No.1 参照)