

ホローカソード放電を用いた小型電子ビーム源の開発

Development of a small electron beam source by a hollow cathode discharge

○中村耀¹, 渡部政行²Hikaru Nakamura¹, Masayuki Watanabe²

Development of a high current electron beam is final goal of this research. For a high current electron beam, investigations of an electron beam source is one of the most important subjects. In general electron beams, a heated filament generates electrons. To obtain a large amount of electrons, a hollow cathode discharge has been applied to an electron source of our electron beam. A high density plasma can generate inside the hollow cathode due to the hollow cathode effect as compared with the conventional glow discharge by using a parallel plate electrode. In this research, an applied pulsed or stationary electric field accelerate such electrons.

1. はじめに

1-1. プラズマと荷電粒子ビーム

プラズマは電子, イオン, 中性粒子によって構成されており, 自然界では雷やオーロラ, 太陽風といった形で存在している. また, プラズマディスプレイや蛍光灯など数多くの産業分野にもプラズマは応用されている.

電子ビームもまたプラズマの工学的な応用の一つである. 荷電粒子ビームとは, 電子やイオンなどの静電粒子を電場や磁場を用いて加速し, それらのエネルギーや軌道を任意に制御できるビームにした状態である. 電子やイオンが特殊な粒子でないことから, これまで電子ビームやイオンビームは幅広い分野で研究が進められて応用されてきた. 次に, 本研究の研究対象である電子ビームについて概要を説明する.

電子は, 質量が極めて小さく慣性がほとんど働かないことから, 電場や磁場を用いることで容易に加速でき, 電荷やそのエネルギーを超高速に運ぶことが可能である. また, 電子はあらゆる原子, 分子を構成していることから, 原理的に, どのような物質からでも取り出すことができる. 電子の発生法としては, プラズマ源から電子を引き出す方法と, 固体から何らかの方法で電子を引き出す方法の二通りがある. これまでの研究で主に電子ビームを形成するための電子供給源として, フィラメントを加熱することにより, 固体から電子を引き出すことで電子を生成してきた. 本研究では, 以下の理由からプラズマ源を用いて電子を生成し, 電場で加速する方法を用いて電子ビームの開発している. その理由は, プラズマはフィラメントよりも大量に電子を生成することができる

ため, ビームの電流量がフィラメントを使用したものより大きくなると考えたからである.

1-2. ホローカソードプラズマ

図 1 にホローカソード放電の概略図を示す. 片端が閉じて他端が開いた直径 10mm 程度の細い円筒 (ホロー) 型の電極を陰極として用いてプラズマを生成している. この様な陰極をホローカソードと呼ぶ. ホローカソード放電は次のような特徴を持つ. 平行平板電極を用いた通常のグロー放電に比べて, 高密度のプラズマをホローカソード内部に生成することができる. そのため高輝度で大電流のグロー放電を維持することができる. また, アノードは, ホローカソードからイオン衝突によって放出された二次電子を吸収する働きがあるので, ホロー効果を高めるためにはプラズマをできるだけ広いカソードで覆い, アノードの面積を小さくすることが必要となる.

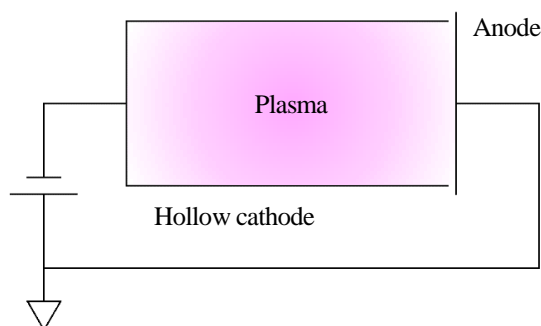


Figure1. Schematic drawing of hollow cathode discharge

1 : 日大理工・学部・航宇 Department of Aerospace Engineering, CST, Nihon University

2 : 日大・教員・量科研 Institute of Quantum Science, Nihon University

1-3. 電子ビーム源の小型化

電子ビームは真空中でないと生成できないため、真空容器を含む装置に電子ビーム源本体を設置する必要がある。電子ビーム源が大型であると既存の装置に設置できないという問題が生じる可能性がある。このような問題が生じないように、電子ビーム源をできるだけ小型にすることが重要である。また、新たに装置を設計する場合にも、電子ビーム源が小型のものであれば装置全体の小型化が可能となる等の利点がある。

2. 実験目的

現在、小型のホローカソードを用いてホローカソード放電を形成し、引き出し電極に正電圧を印加することでホローカソードプラズマ源から電子ビームを引き出す実験を行っている。本研究では、ホローカソードプラズマが高密度プラズマであるという特徴を活かし、プラズマ密度および電子の速度を大きくすることによって、小型の電子ビーム源での高電流の電子ビームを形成することを最終的な目的とする。現在、そのための電極部の構造設計、測定方法等の工夫を行い、実験を開始した。

3. 実験内容

本実験では真空中で電子ビームを生成する。電子ビームを引き出すプラズマ源であるホローカソード電極は真空容器内に設置してある。本実験で使用するホローカソード電極の概略図を図 2 に示す。ホローカソード電極の形状は円筒型で、内径は $\phi 10\text{mm}$ 、長さは 47mm である。アノード及び電極板の形状は円板で、直径は $\phi 28\text{mm}$ 、厚さは 1mm である。また放電には空気を使用した。

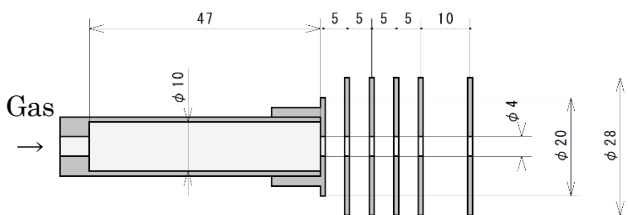


Figure2. Schematic drawing of the hollow cathode gap for an electron beam

実験では、真空ポンプを使用して真空容器内を真空状態にし、その後、ホローカソード内にガスを注入する。その状態で電極間に電圧を印加し、ホローカソードプラズマを生成する。その後、引き出し用の電圧をパルス、もしくは定常に印加することで電子を引き出し、電子ビームを形成する。

4. 実験結果及び結論

放電を形成するための電源電圧 V_1 に対する放電電流 I の関係を図 3 に示す。実験ではガスに空気を用い、それぞれ異なる気圧 (50, 100, 150 Pa) において実験を行った。電源電圧が 500~600 V で放電が形成されていることが分かる。放電電圧に達するまでは電流がほとんど流れておらず、放電後は放電電流が直線的に増加していることが確認できる。また気圧が 50 Pa から 150 Pa の領域では、気圧が高くなるにつれて放電開始電圧が低くなっていることも確認できる。

次に、電極間電圧 V_2 に対する放電電流 I の変化を図 4 に示す。放電形成後は電流が増加しても電圧はほとんど変化していないことや、放電を維持するための電圧が数百 V と高いことなどから、グロー放電を維持していると考えられる。

電子ビームの形成結果および各パラメータの詳細については講演にて報告する。

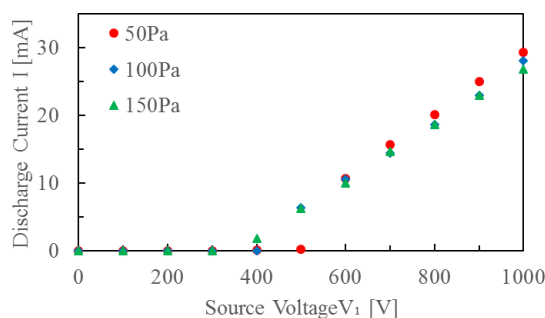


Figure3. Dependence of the discharge current on the power supply voltage at different pressure of 50,100 and 150 Pa.

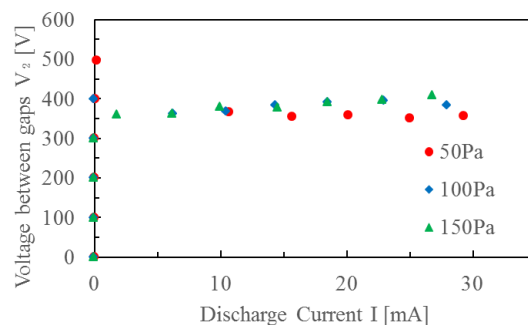


Figure4. Voltage between gaps vs discharge current at 50,100 and 150 Pa ambient gas pressure.

5. 参考文献

- [1] 社団法人電気学会, 電子・イオンビーム工学, 1995
- [2] 石川順三, 荷電粒子ビーム工学, 2001
- [3] 西村将一・野げら直人・渡部政行, ホローカソード放電を用いた電子ビーム源の開発, 2010