

ホローカソード放電型プラズマ源を用いた 大電流電子ビーム源の開発

Development of a high-current electron beam source by a hollow cathode discharge

○西村将一¹, 野舘直人¹, 渡部政行²*NISHIMURA Masataka¹, NOGERA Naoto¹, WATANABE Masayuki²

Abstract. In this research, an electron beam source has been developed by using a hollow cathode discharge. In a hollow cathode discharge, a lot of electrons exist into the hollow cathode space and it has a high-potential state because the frequency of the ionizing process increases into the hollow cathode. A high density plasma source for an electron beam can be built up easily by using a hollow cathode discharge. In previous experimental results, the electron beam from a hollow cathode plasma source was observed. In this presentation, the control of the plasma density and electron speed by an applied voltage between the gaps, the structural of the electrode are reported. The final goal of this research is the formation of the high-current electron beam.

1. はじめに

1-1. プラズマと荷電粒子ビーム

1920年代にアーヴィング・ラングミュアによってプラズマの研究が始められ、現在では、蛍光灯やイオンエンジン、また核融合研究など、数多くの分野に応用されている。荷電粒子ビームもまたプラズマの工学的応用の一つである。荷電粒子ビームとは、電子やイオンを電界や磁界を用いて加速し、それらのエネルギーや軌道を任意に制御したビームのことである。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の応用は幅広い分野で研究が進められてきた。次に、本研究の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、電荷やそのエネルギーを超高速に運ぶことができる。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、プラズマから電子放出を行う方法と、金属のような固体表面からの電子の発生法（電界放出など）がある。

本実験では、以下の理由から、プラズマから電子放出を行う方法で電子ビームを形成している。

- (1) プラズマを生成する真空中では、電子は他の粒子などとの衝突によってエネルギーを失うことなく高速化することができる。
- (2) 予測通りの軌道を描き、制御性は半導体内の電子よりはるかに優れている。

1-2. ホローカソードプラズマ

図1に示すような片端が閉じて他端が開いた直径10mm程度の細い円筒型の電極を中空陰極（ホローカソード）として用いてプラズマを生成する。ホローカソード放電は以下に示すホローカソード効果が強く働く放電を示す。

- (1) ホローカソード内に電子を効率よく閉じ込めることができ、高密度のプラズマを生成できる。
- (2) 特定の場所（電極孔）で放電する。
- (3) 大電流でもグロー状の放電を維持できる。
- (4) 電極の損傷を軽減できる。
- (5) 金属不純物の生成を軽減できる。

本研究では、このホローカソード放電を電子ビーム源に応用している。

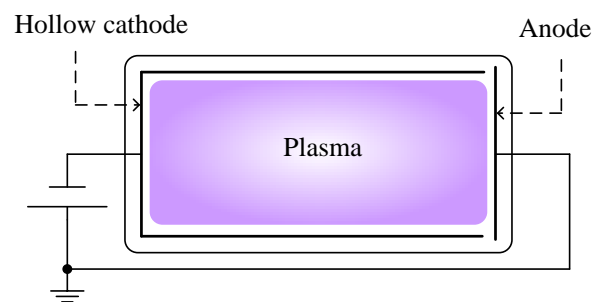


Figure1. Schematic drawing of hollow cathode discharge

2. 研究目的

これまでホローカソード放電を形成し、引出し電圧を

1 : 日大理工・院・量子 Graduate School (M) of Science and Technology, Nihon University

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

用いて定常的な電子ビームの形成に成功している。本実験では、次の段階として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、1kA 以上の大電流電子ビーム電流をパルスの引出す電子ビーム源の開発を開始した。現在、そのための電子引出し部の回路設計、測定方法等の工夫を行い、実験を進めている。

3. 実験内容

本実験では真空中でホローカソード放電を用いて電子ビームを生成する。まず、電子ビームを引出すプラズマ源であるホローカソード電極を真空容器内に設置する。本実験で用いるホローカソード電極は、直径はφ40mm、長さは50mmの円筒型の形状である。

図2に定常的な電子ビーム形成の電極概略図を示す。実験では、真空ポンプを用い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水素ガスを注入する。次に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、引出し用の電圧を印加することで電子を引出し、電子ビームを形成する。放電には水素ガスを用いた。

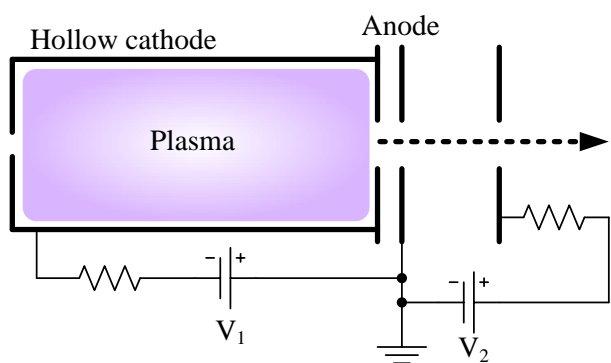


Figure2. Schematic drawing of the hollow cathode gap for an electron beam

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_d の関係を図3に示す。実験はそれぞれ異なる気圧 (100, 120, 140, 160, 180, 200Pa) における実験結果である。どの気圧においてもほぼ700V前後で放電が形成され、電圧の増加に伴い放電電流が増加していることがわかる。また、この程度 of ガス圧領域では放電開始電圧に影響しないと考えられる。

次に、定常的な電子ビーム形成時における、引出し電圧 V_2 に対するビーム電流 I_{beam} の関係を図4に示す。引出

し電圧 600V 以降、ビーム電流にばらつきが見える。これは、計測系に問題があると考えられる。よって、引出し電圧 500V まで正確にビーム電流を計測できていると考えられる。

現在、IGBT を用いたスイッチング回路を設計し、パルスの電子ビームを形成する実験を開始した。以上、電子ビームの形成結果及び各パラメータの詳細については講演にて報告する。

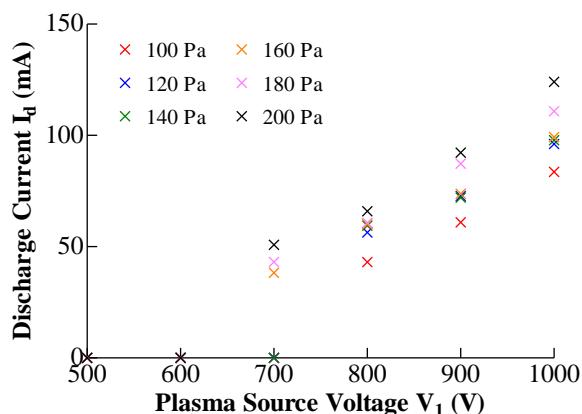


Figure3. Discharge current I_d vs plasma source voltage V_1 at 100,120,140,160,180 and 200 Pa ambient gas pressure.

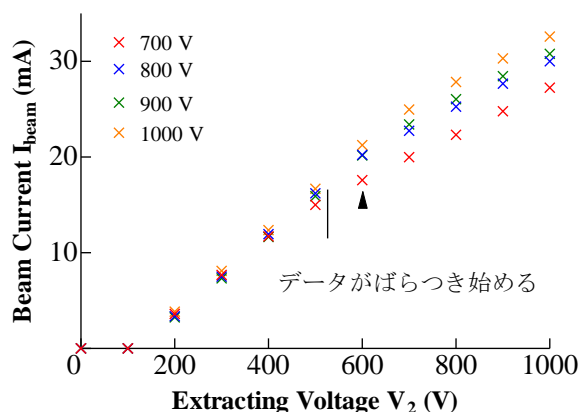


Figure4. Beam current I_{beam} vs Extracting voltage V_2 at plasma source voltage $V_1 = 1000V$.

5. 参考文献

[1] G Fiksel, A F Almagri, D Craig, M Iida, S C Prager and J S Sarff, "High current plasma electron emitter." Plasma Sources Sci.Technol.5(1996) 78-83. Printed in the UK
 [2] 高木俊宜, 電子・イオンビーム工学, 電気学会(1995)
 [3] 石川順三, 荷電粒子ビーム工学, コロナ社(2001)