O-29

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 [2]
Hikaru Nakamura[1] , Masayuki Watanabe[2]

Formation of a high current electron beam by using a smallsized electron beam source is the final goal of this research. For a high current electron beam, development of an electron beam source is one of the most important subjects. In a general electron beam, 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 be generated 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 accelerates such electrons to form the electron beam.

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, 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．

荷電粒子ビームもまたプラズマの工学的な応用の一つである．［1-4］ 荷電粒子ビームとは，電子やイオンなどの荷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その概要を詳しく説明する．

電子は，質量が極めて小さく慣性がほとんど働かない微粒子であることから，電場や磁場を用いることで容易に加速することができ，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粒子であることから，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．これまでの研究では電子ビームを形成するための電子供給源として，主に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を形成する研究を行っている．その理由としては，フィラメントでは大量に電子を生成するのは難しく，大量の電子を得るためにフィラメントを加熱すると抵抗熱によってフィラメントが破損してしまうからである．プラズマを利用すればこの欠点を改善することができ，容易に大量の電子を得ることができ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．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ため，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．

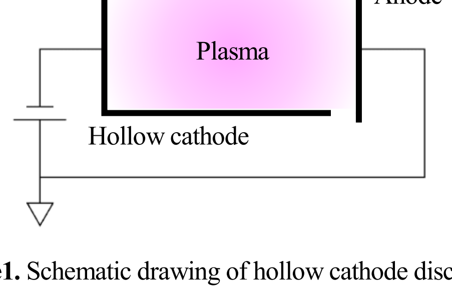

Figure1. Schematic drawing of hollow cathode discharge

１：日大理工・院・量子 Graduate School (M) of Science and Technology, QST, Nihon University
２：日大・教員・量科研 Institute of Quantum Science, Nihon University

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．

3．実験内容

電子ビームは真空中で生成することができる．本実験では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真空容器器内に設置してある．本実験で使用するホロード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φ10mm，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φ28mm，厚さは 1mm である．また放電には空気を使用した．

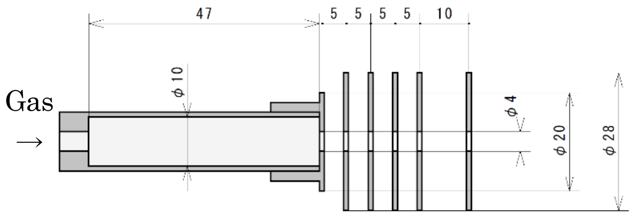

Figure2. Schematic drawing of the electron beam generator

実験では，真空ポンプを用いて真空容器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

電極間電圧に対する放電電流の変化を図 4 に示す．放電形成後の電流値は mA 程度であること，電流が増加しても電圧はほとんど変化していないこと，放電を維持するための電圧が数百 V と高いことがわかる．以上より放電はグローモードを維持していると考えられる．また気圧が 50Pa から 150Pa の間の領域では，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．

定常的な引き出しを行った際のビーム電流値を図 3 に示す．放電は 100Pa 下で電圧 1kV，800V，600V を印加して形成した．電流値は 1kV で放電を形成し，220V 程度で引き出したとき 35mA 程度となった．

パルス的な引き出しを行った際のビーム電流値を図 4 に示す．放電は 100Pa 下で電圧 1kV を印加して形成し，300V，200V，100V で引き出した．電流値は 300V で引き出したとき 40mA 程度となった．

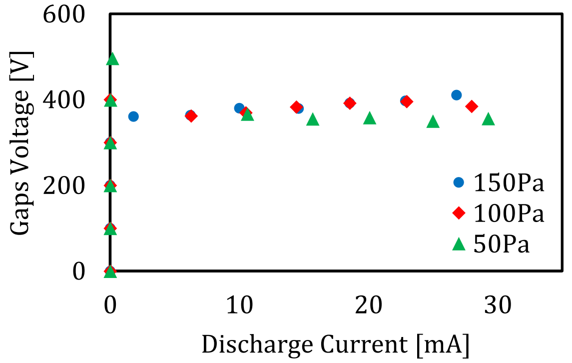

Figure3. Correlation diagram of gap voltage and discharge current

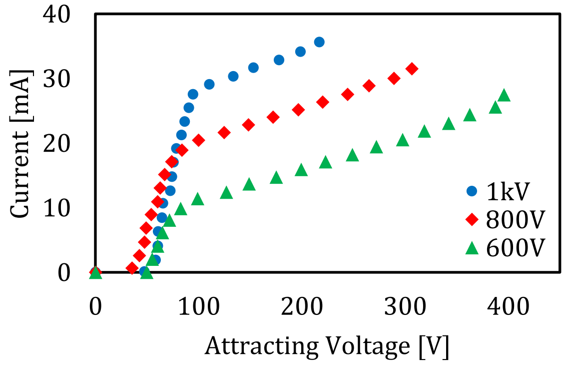

Figure4. Beam current value at steady attraction

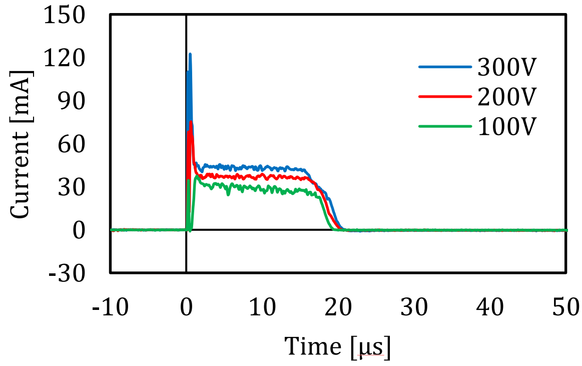

Figure5. Beam current value at pulse attraction.

5．参考文献

[1] Efim Oks, Plasma Cathode Electron Source, 2006
[2] 社団法人電気学会，電子・イオンビーム工学，1995
[3] 石川順三，荷電粒子ビーム工学，2001
[4] 武田進，期待放電の基礎，1993