

核融合用負イオン源の多孔加速電極を模擬した小型電極における電界電子放出電流の電界積分値依存性

大倉 徹也, 山納 康(埼玉大学)

小島 有志, 錦織 良, 花田 磨砂也 (日本原子力研究開発機構)

1. はじめに

現在, 核融合の早期実現を目指して, 国際協力により国際熱核融合炉(ITER)を建設中である。ITER でプラズマの加熱に用いられる 1MeV の高エネルギー負イオン源では, 加速部の真空中絶縁破壊が大きな問題となっている。その加速電極には負イオンビームを加速するための孔が開いており, その孔近傍で真空中絶縁破壊が発生している事が分かっているが⁽¹⁾, そのメカニズムは明らかではない。本研究では, 負イオン源電極を模擬した多孔電極を用いて, 局所高電界領域を有する電極の暗電流値を予測することを目的とした。

2. 実験方法

今回の実験では図 1 のように孔が耐電圧に与える影響をモデル化し, F-N 理論⁽²⁾における電界増倍係数 β の孔数依存性を調査する実験を行った。試料電極には平坦部直径 80 mm, 孔が 0, 1, 4, 9 個の無酸素銅電極を使用した。孔の開いた電極には直径 16 mm の孔が 19 mm 間隔に開いている。電極間のギャップ長を 5 mm に設定し, 実験容器内圧力を 8×10^{-4} Pa 程度の真空状態に保ち, 約 100 kV の負極性直流電圧を印加し, 絶縁破壊試験を行い, 絶縁破壊直前の暗電流から電界電子放出電流を測定した。

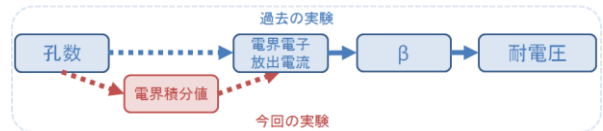


図 1 孔数の真空中絶縁破壊への影響

3. 実験結果および考察

図 2 に四種類の電極における, コンディショニング飽和後の電界増倍係数 β とそのときの絶縁破壊電圧をギャップ長で割った絶縁破壊電界 E の孔数依存性を示す。 β の増加にともなって, E は低下している。また, β と E を掛け合わせた実効破壊電界 βE は様々な電極の形状, ギャップ長に依存せず約 10^{10} V/m であり, 過去の研究と矛盾はない⁽³⁾。

各電極における, 55~80 kV 印加時の電界電子放出電流と電界積分値の関係を図 3 に示す。ここで電界積分値は, 孔周辺の局所的な高電界領域の影響を適切に重みづけし, 絶縁破壊を引き起こすと考えられる暗電流値を予測するためするために, $E_s = E_{flat} S + E_{flat}^n S'$ とした。 E_{flat} : 平坦部の電界[kV/mm], S : 平坦部の電極面積[mm²], n : 平坦部電界に対する孔周辺の局所電界の増倍度, S' : 孔周辺の局所高電界面積[mm²]である。この結果より, 電界電子放出電流は局所高電界とその電極面積の影響を考慮した電界積分値で決まるといえる。同図より多孔電極ではこのような電界積分値が求めれば, 電界電子放出電流が予測できることとなる。実効破壊電界 βE はどのような電極においてもほぼ一定値となることから, この β を電界積分値で表すことができれば耐電圧の予測が可能になると考えられる。発表では暗電流の予測方法についてさらに詳しく言及する。

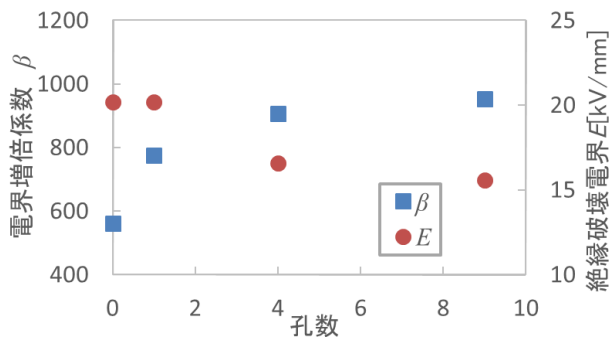


図 2 電界増倍係数 β の孔数依存性

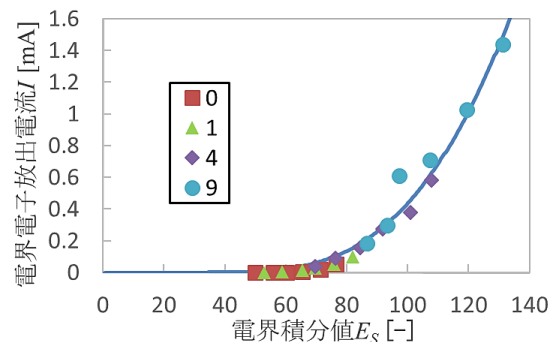


図 3 電界電子放出電流-電界積分値関係

文献

- (1) A.Kojima, M.Hanada, T.Inoue, Y.Yamano, S.Kobayashi: J. Vac. Sci. Jap., **56**, pp.502-506(2013).
- (2) R.H.Fowler and L.Nordheim: Proc. of R. Soc., Vol. **A119**, pp.173-181(1928).
- (3) D.Alpert, D.A.Lee, E.M.Lyman and H.E.Tomaschke: J. Vac. Sci Technol, **1**, pp.35-49(1964).