

ITER用ジャイロトロン電子銃の改良に向けた電子抑制試験 Electron suppression test of improved ITER gyrotron electron gun

梶原 健¹、松枝 泰志²、原 昭人²、山本 豊雄²、池田 亮介¹、新屋 貴浩¹、矢嶋 悟¹
K. Kajiwara, Y. Matsueda, A. Hara, T. Yamamoto, R. Ikeda, T. Shinya, S. Yajima,

量子科学技術研究開発機構¹

National Institutes for Quantum Science and Technology

キャノン電子管デバイス株式会社²

Canon Electron Tubes & Devices Co., Ltd.

ITER用ジャイロトロンは、1MW出力、パルス幅3600秒、電力効率50%が求められている。キャノン電子管デバイス株式会社と量研は共同にてITER用ジャイロトロンの開発を進め、2016年には1号機及び2号機が完成し、ITER機構による性能試験、すなわち300秒の20ショット繰り返し試験や5kHz変調試験など、様々な試験項目をクリアし、その性能を認められている。

しかしながら、これまで製作されてきた、ITER用ジャイロトロンを含む、170GHz用ジャイロトロンには、図1に示すようにショットの途中でアノード電流が段階的に上昇する現象が見られることがある。このようなアノード電流の上昇は、カソードの加熱を伴うことが多く、これによりビーム電流が制御不能となり、運転を停止せざるを得なくなる。また、同時に効率の低下も伴う場合が多く、一旦アノード電流の上昇がおこると、それ以降のパワーの維持も難しくなる。

また、このアノード電流の段階的な上昇の大きな特徴として、ショット最初では起こらず、途中から段階的に上昇すること、一度この現象がおこったジャイロトロンは非常に高い確率でその後の運転でも、アノード電流の段階的な上昇を引き起こすことが上げられる。このようなアノード電流の上昇の原因は不明であるが、想定される原因の一つとして、エミッター近接部からの電子放出が考えられる。この仮説を裏付けるため、並びにこのような現象を起こさない電子銃の開発のため、エミッターの上下にチタンを吹き付け、電子放出を抑制することを試みている。

まずその第一段階として、テスト用のエミッターの全面にチタンを吹き付けるチタンコーティング試験を実施した。コーティングの結果、チタンがどのような形で存在しているか、またそれによりどの程度電子の抑制がなされてい

るか、測定を行った。X線光電子分光法 (XPS) により成分を分析したところ、想定したTiNよりはTiO₂が主成分となっていることが、分かった。また、集束イオンビーム走査型電子顕微鏡 (FIB-SEM) でチタン薄膜の層の厚さを測定したところ、30nm-50nmでおおよそ均一であることが分かった。さらに、電子ビームの引き出し試験を温度制限領域にて行った。その結果、同じヒーター電流により引き出されるビーム電流はコーティングをすることにより、20%以下に下がることが確認できた。また、仕事関数の比率を求めたところ、コーティングをすることにより1.3倍になることが分かった。

今後、アノード電流の段階的上昇を起こしたジャイロトロンの電子銃を、エミッターの上下部分にチタンコーティングを施した電子銃に交換し、アノード電流の段階的上昇が抑制されるか、ジャイロトロンの性能にどのような影響を与えるか、試験を実施する予定。

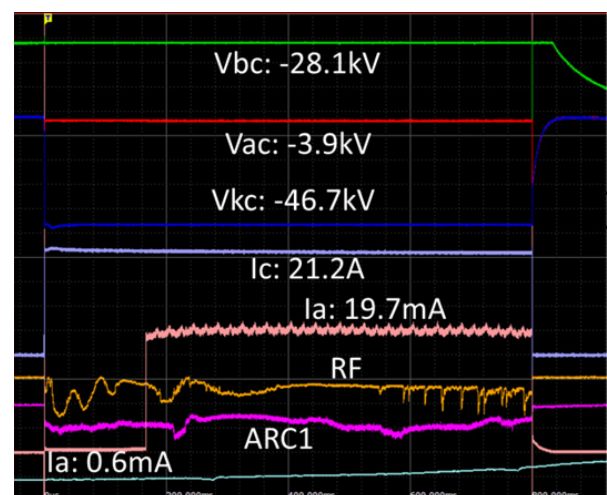


図1 アノード電流 (Ia) の段階的上昇 (0.6mA → 19.7mA)。Vbc、Vac、Vkc、Ic はそれぞれボデー電圧、アノード電圧、カソード電圧、ビーム電流。