4 ビーム IH-RFQ 線形加速器の空洞設計

Four-beam IH-RFQ cavity design

*池田　翔太[1]，村田 亜希[1]，林崎 規託[2]
[1]東工大院，[2]東工大研究院

低エネルギー大強度重イオン加速を目的とした 4 ビーム IH-RFQ 線形加速器の原理実証機について、ビーム軌道解析と高周波電磁場解析による物理設計、高周波発熱による電極の変形を抑えるための冷却水路設計、これらを総合した加速空洞の全体設計をおこなった。

キーワード：IH-RFQ 線形加速器、マルチビーム加速、イオンビーム加速技術

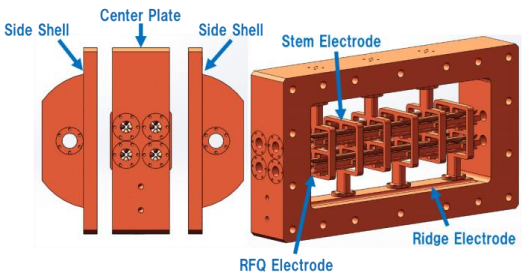
１．緒言

RFQ（高周波四重極）線形加速器は空洞内部に対向する 4 つの電極を備えており、その間に四重極電場を発生させることでビーム集束をおこなう。また、各電極の先端にモジュレーション（凹凸の波形）を徐々に与えることで、ビームの進行方向にも電場成分が生じ、イオン源から入射した直流ビームをバンチング（集群化）しながら加速することができる。これらの特徴から、低エネルギーの大強度イオンビーム加速に適しており、大型加速器の入射器や小型中性子源用加速器として用いられている。しかし、イオンビームの空間電荷効果はビーム電流量に比例し、ビーム速度の 2 乗に反比例する性質があり、さらに四重極電場の強度にも上限があることから、従来の RFQ 線形加速器では 100 mA 級の重イオンビーム加速が困難であった。

その解決策として、大強度ビームを複数のビームに分割することで空間電荷効果の影響を緩和させ、1 台の加速器で同時加速した後に分割ビームを再び統合する、マルチビーム RFQ 線形加速器のアイディアがあり、実際に東京工業大学において 2 ビーム IH-RFQ 線形加速器が開発され、108 mA（ビーム 1 本あたり 54 mA）の炭素ビーム加速に成功している[1]。本研究は、さらなる発展型として 4 ビーム IH-RFQ 線形加速器の原理実証機を開発し、高強度重イオンビーム加速の実現と特性解明を目的としている。

２．設計結果

RFQ デザインコード RFQUICK と粒子軌道計算コード PARMTEQM により RFQ 電極パラメータを検討し、運転周波数 48 MHz において、ビーム 1 本あたり 40.2 mA の炭素ビームを 3.6 keV/u から 41.6 keV/u まで加速する結果を得た。これをもとに 3 次元高周波電磁場解析をおこない、全長 650 mm の加速空洞を設計した。また、高周波損失による発熱の分布や、それに伴う電極の変形量も解析し、複雑な形状をもつステム電極内部に冷却水路を設計した。



4 ビーム IH-RFQ 線形加速器

３．今後の予定

現在、設計結果を総合した原理実証機の製作を進めており、その完了後は低電力試験として共振周波数、Q 値、電場分布を測定し、設計値との比較検証と最終調整をおこなう。そして最終的には、並行して開発中の 4 ビームレーザーイオン源と組み合わせたマルチビーム加速試験を計画している。

参考文献

[1] T. Ishibashi, N. Hayashizaki, and T. Hattori Phys. Rev. ST Accel. Beams 14, 060101 (2011)

---

*Shota Ikeda[1], Aki Murata[1], Noriyosu Hayashizaki[2]
[1]Tokyo Tech, [2]IIR, Tokyo Tech