T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	低エネルギー大強度重イオンビーム加速のための4ビームIH-RFQ線形加速器の開発
Title(English)	
著者(和文)	池田翔太
Author(English)	Shota Ikeda
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11100号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:林﨑 規託,小栗 慶之,赤塚 洋,筒井 広明,長谷川 純
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11100号, Conferred date:2019/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

本論文研究は、「低エネルギー大強度重イオンビーム加速のための 4 ビーム IH-RFQ 線形加速器の開発」と題し、1 台の加速器で 4 ビームを並列に加速する「4 ビーム IH-RFQ 線形加速器」の開発や原理実証を通じて、2 ビームより多チャンネル化した場合におけるマルチビーム RFQ 線形加速器の設計方法や加速器特性の解明に関するものである。

RFQ 線形加速器は低エネルギーイオンビームの加速に適しているが、空間電荷効果によるビーム発散や、高周波電場の放電限界による四重極電場強度の上限があることから、100 mA を超える重イオンビームの加速は困難とされてきた。その解決策として、大強度ビームを複数に分割して空間電荷効果の影響を緩和し、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加速技術が考えられており、実際に東工大で 2 ビーム IH-RFQ 線形加速器が開発され、108 mA (54 mA/channel) の炭素イオンの加速に成功して有効性が証明されている。しかし、実証されているのは 2 ビーム加速までであり、さらに多チャンネル化した場合における加速器特性は明らかになっていないのが現状である。そこで、本論文研究は 4 ビーム IH-RFQ 線形加速器の開発と原理実証を通じて、それらの特性を明らかにすることを目的とした。

4 ビーム IH-RFQ 線形加速器は 16 本の RFQ 電極(4 本×4 セット)があり、それらを支えるステム電極が上下のリッジ電極に対し交互に組み込まれている、Interdigital な構造となっており、各電極形状に対する電場強度分布といった高周波特性は明らかになっていなかった。そこで、原理実証機の開発にあたり、3 次元電磁場シミュレーションソフトウェアと 3 次元粒子軌道シミュレーションソフトウェアを組み合わせて、ビームチャンネル毎の RFQ 電場分布のばらつきを最小に抑えられる電極レイアウトを検討した。その結果、電場分布の対称性がよく、さらに二重極成分が抑えられる 2×2 電極デザインを考案した。また、この電極デザインを組み込んだ加速空洞について 3 次元高周波電磁場及び熱応力解析をおこない、共振周波数 47.8 MHz、消費電力 100 kW 以内で 4 ビームあわせて 159.2 mA の C^{2+}ビームを加速可能な原理実証機を設計した。

そして実際に詳細設計をもとに、4 ビーム IH-RFQ 線形加速空洞原理実証機の製作をおこない、低電力試験などを通じて基本設計に対する製作誤差を評価し、必要に応じて調整作業をおこなった。また、摂動法による製作した加速空洞の RFQ 電極間電場強度分布の測定をおこない、全ビームチャンネルにおいてシミュレーション結果と似通った電場強度分布となる結果が得られた。

本研究で開発した 4 ビーム IH-RFQ 線形加速器の原理実証機と 4 ビームレーザーイオン源に、高周波源、真空系、ビーム測定系を組み合わせてビーム加速試験システムを構築し、加速試験をおこなった結果、炭素イオンビームを 4 ビーム同時加速することに成功した。