

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:林崎 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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	池田 翔太	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	林崎 規託	教授	長谷川 純	准教授
	審査員	小栗 慶之	教授		
		赤塚 洋	准教授		
筒井 広明		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「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、全7章から構成されている。

第1章「序論」では、電子や陽子に比べて質量が大きい重イオンが低エネルギー領域で加速されるとき、空間電荷効果によるビーム発散力が非常に大きく作用し、低エネルギーイオンビームの加速に適した高周波四重極(RFQ)線形加速器においても100 mAを超えるような大強度重イオンビームの加速は困難となっていたことを述べている。その解決策として、大強度ビームを複数本のビームに分割して1台の加速器で同時加速することにより1本あたりの空間電荷効果を緩和するマルチビーム加速技術が考案され、ゲーテ大学で4ロッドタイプ、東京工業大学でIHタイプの2ビームRFQ線形加速器の先行研究がおこなわれ、後者では直接プラズマ入射方式を採用したレーザーイオン源と組み合わせることで108 mA (54 mA/channel)の炭素イオンの加速に成功し、その有効性が示されていることを指摘している。そして、本論文の目的が、2ビームよりも多チャンネル化した場合の設計方法や加速器特性を、4ビームIH-RFQ線形加速器の開発と原理実証を通じて、明らかにするものであることを述べている。

第2章「RFQ線形加速器の原理」では、高周波加速空洞の動作原理、RFQ線形加速器の加速原理と電極構造タイプによる電磁場分布や用途の違い、主要な加速器パラメータの定義について述べている。

第3章「4ビームIH-RFQ線形加速器の設計」では、原理実証機の基本パラメータについて、高周波源の性能を考慮して、加速空洞の設計周波数を48 MHz、消費電力を100 kW以下とし、加速粒子については比較ができるように、2ビームタイプの実験で用いられたものと同じ炭素イオンとしたことを述べている。次に、RFQ粒子軌道計算コードにより、各価数の炭素イオンに対してRFQ電極長と加速電流量を概算し、加速空洞の壁損失とビーム強度のバランスがよい炭素2価イオンを採用したこと、さらにセルパラメータの最適化を通じてRFQ電極長を600 mmと決定し、そのときのビーム透過率が67%であることを示している。この得られた結果をもとに、4つの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、3次元電磁場および3次元粒子軌道シミュレーションを組み合わせで検討し、電場分布の対称性がよく、二重極成分や全ビームチャンネルにおけるRFQ電場強度のばらつきも抑えられた2×2電極デザインを提案している。さらに、その電極デザインを組み込んだ加速空洞について熱応力解析をおこない、壁損失による発熱と共振周波数の変化を抑えるため、RFQ電極とシステム電極内部に冷却水路を設けたこと、そして最終的に、運転周波数47.8 MHz、全消費電力100 kW以内で、炭素2価イオンビームを3.6 keV/uから41.6 keV/uまで4ビームあわせて160 mA加速可能な設計結果が得られたことを述べている。

第4章「4ビームIH-RFQ線形加速器の製作」では、前章の設計結果をもとに4ビームIH-RFQ線形加速器の原理実証機として、RFQ電極を組み込んだシステム電極が取り付けられたセンタープレートに、左右よりサイドシェルを被せた構造の加速空洞を、前者についてはステンレス鋼、後者についてはアルミニウムを機械加工後に、厚さ50 μmの銅メッキを施して製作したことを述べている。そして、ネットワークアナライザを用いた低電力試験の結果として共振周波数47.95 MHz、無負荷Q値 3.6×10^3 が得られたこと、摂動体法による四重極電場強度分布測定値のシミュレーション結果とのずれは最大1.9%であったこと、大電力試験において100 kWまでのエージングをおこなったことを述べている。

第5章「4ビームレーザーイオン源の開発」では、直接プラズマ入射方式の4ビームレーザーイオン源を新しく開発して単体試験をおこない、レーザーエネルギー175 mJ/channel、レンズからターゲット距離400 mmの照射条件で、RFQ入射部における炭素2価イオンの電流密度が最大となり、現状としては36.1 mA/channelを加速空洞に入射可能なことを述べている。

第6章「4ビーム加速特性試験」では、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、パルス繰り返し0.02 Hz、パルス幅200 μsの運転条件でビーム加速試験をおこなった結果、32 mA (8 mA/channel×4)の炭素イオンビームを41.6 keV/uまで加速でき、4ビーム同時加速を実証したことを示している。

第7章「結論」では、各章において得られた結果を総括し、本論文の結論としている。

これを要するに、本論文は、低エネルギー大強度重イオンビーム加速のために、2ビームよりも多チャンネル化した場合のIH-RFQ線形加速器について、ビームチャンネルの配置や電極形状とRFQ電場の関係性を明らかにし、さらに4ビーム加速を実証したことにより、加速器工学の分野に新たな知見を与えたものであり、工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。