

Acceleration Tests of the Folded-Coaxial RFQ for the RILAC

O. Kamigaito, A. Goto, Y. Miyazawa, T. Chiba, M. Hemmi,
S. Kohara, M. Kase, T. Nakagawa, Y. Batygin, Y. Yano,
E. Ikezawa, T. Aihara, T. Ohki, H. Hasebe, and H. Yamauchi

The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN)

Wako-shi, Saitama 351-01, Japan

ABSTRACT

A new injector system for the RIKEN heavy-ion linac (RILAC) has been constructed, which consists of a variable-frequency RFQ and an 18-GHz ECR ion source. The RFQ, based on a folded-coaxial resonator with a movable shorting plate, accelerates ions with mass-to-charge ratios of 6 to 26 at up to 450 keV per charge in the cw mode by varying the resonant frequency from 17.7 to 39.2 MHz. Beam tests of the RILAC and the ring cyclotron (RRC) were successfully performed with the new injector system. The beam intensity from the RRC as well as the transmission efficiency through the RILAC has been greatly improved. This paper describes the performance of the RFQ and the results of the acceleration tests.

理研重イオンリニアック用RFQのビーム加速テスト

1. はじめに

理研加速器研究施設では、これまでに開発してきた重イオンリニアック用の新入射器を、昨年(1996年)8月、正規のビームラインに移設した。この入射器は18 GHzのECRイオン源と可変周波数のRFQから成る。図1にRFQと重イオンリニアックの写真を示す。左手前がRFQの共振器で、それから中央上方にリニアックの6台のタンクが続いている。右手前は従来のコッククロフト=ウォルトンからの入射ラインである。11月からこの新入射器を用いてリニアックおよびリングサイクロトロン加速テストを行い、透過効率とビーム強度が改善することを確認した。新入射器はこの4月から共同利用実験に使用されている。ここでは、RFQの概要、ビーム加速テストの結果および今後の予定について報告する。

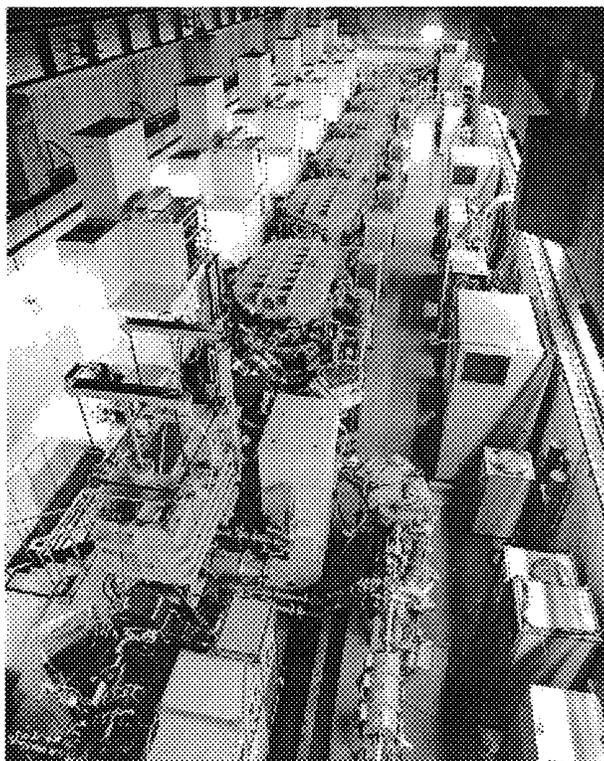


図1 RFQと重イオンリニアック

になっている。図2に共振器の概形を示す。詳細は1995年の本研究会および参考文献[1]に記されている。

共振器は内径の長さ1700 mm、幅700 mm、高

2. RFQの概要

このRFQの最大の特徴は、「折り返し同軸共振器」を基本としている点である。このことにより、低い周波数で、また広い周波数範囲での運転が可能

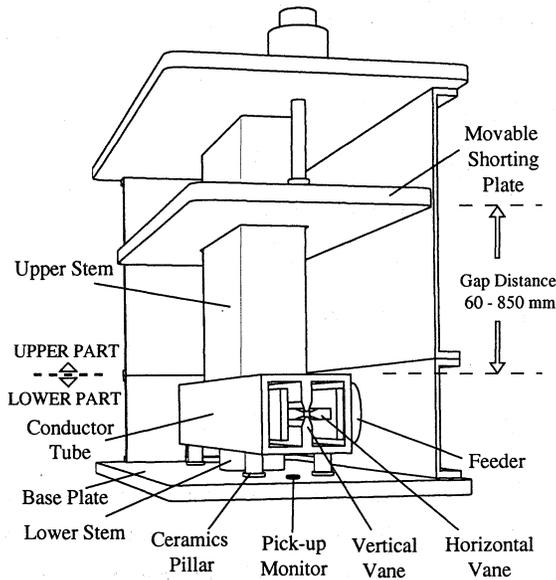


図2 RFQの空洞共振器

さ1150 mmの直方体で、上下に分割可能な構造をしている。精度が要求されるベイン等の電極は下側に固定され、ステムと可動短絡板を含む上側は一体で取り外される。この分割構造を採用したことにより、特にベイン周りの組み上げや保守が容易に行なえるようになっている。空洞下側は内部に銅めっき(100 μ m)を施した一般構造用圧延鋼(SS400)で作られ、それ以外はすべて無酸素銅(C1020)で作られている。ベインには三次元加工を施した。この際アライメント誤差がビーム透過効率に与える影響を考慮し、 $\pm 50\mu$ mの精度でベインを組み上げた[2]。

RFQの電力損失は、最大ベイン間電圧33.6 kVのとき、17.7MHzで約6 kW、39.2 MHzで約26 kW(いずれも連続運転)である。高周波増幅器にはEIMACの四極管4CW50000Eを使っており、17MHzから40MHzの範囲で最大40kW(連続)の出力を得ることができる。真空排気は空洞の左右側面に取付けられた2台のターボ分子ポンプ(1500l/s \times 2)

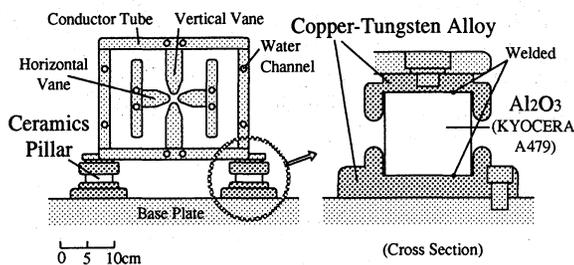


図3 セラミックス碍子

で行われる。加速中の真空はポンプヘッドで約 1×10^{-7} Torrである。

RFQの開発当初は、高電圧運転時にセラミックス碍子が発熱のため破損するという問題があったが、図3に示す構造を採用した結果安定な運転が可能になった。セラミックスの素材は低損失(誘電正接 2×10^{-4} 程度)のアルミナで、その上下に銅タンゲステン合金が熔接されている。セラミックス内部での電場をできるだけ小さくするため、碍子を固定するためのボルトはセラミックス内部に侵入しておらず、また合金の縁を盛り上げた形状にした。碍子での電力損失は一個当たり最大約20Wである。

3. ビーム加速テスト

3-1 RFQの単独加速テスト

重イオンリニアックのビームラインへの設置に先立ち、RFQの単独加速テストを行った[3]。このとき加速したのは、O、Ne、Ar、Kr、Taのイオン

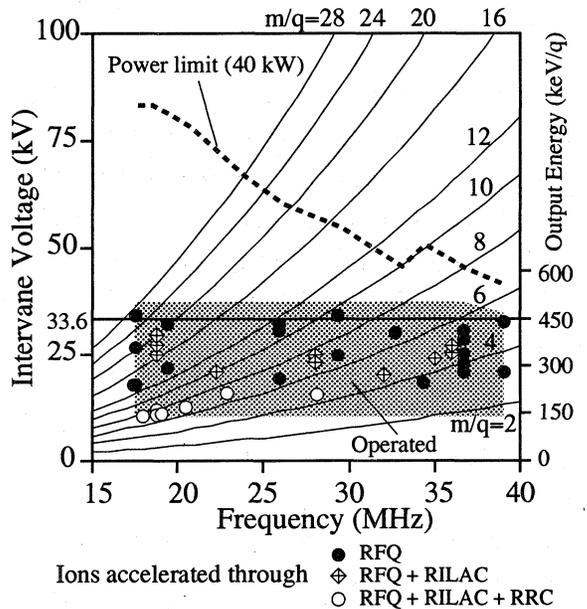


図4 加速されたイオン

で、これらは図4に黒丸で示されている。RFQの最大透過効率は120 μ AのAr⁸⁺に対し88%であった。ECRイオン源からのビームのエミッタンスは150~300 π mm \cdot mradで、イオンの価数上がるほど、またイオン源からの引き出し電圧上がるほど小さい値になった。RFQからの出射ビームのエミッタ

ンスはPARMTEQによるシミュレーションとほぼ一致した。

さらに出射ビームのエネルギー分布を静電デフレクターとワイヤプローブを組み合わせて測定した。その結果、エネルギー分布はPARMTEQによる計算値とよく一致することが確かめられた。エネルギー幅も同じ装置で測定し、出射ビームが2~3%の幅を持っていることがわかった。この値も計算値とよく一致している。

3-2 重イオンリニアックによる加速テスト

新入射器は1996年の8月に移設され、11月から重イオンリニアックへのビーム供給を行っている。RFQとリニアック間のビーム整合は、横方向を二つの二連四重極電磁石で、縦方向をリバンチャで行っている[4]。リバンチャは四つのギャップを持ち、1/4波長の同軸共振器を基本構造にしている。リニアックの第一タンクの直前には容量性の位相プローブが置かれ、入射器のRF位相をモニタしている。

これまでに加速されたイオンは、N、Ar、Fe、Ni、Kr、Xeで、これらは図4に菱形で示されている。

新入射器を使用したときのリニアックの透過効率は70%を越え、過去の値に比べて2倍程度になった。いっぽう入射器での透過効率（イオン源出口からリニアック入口まで）は約80%で、RFQ単独加速試験のときの値より小さい。この原因を調べるため、入射器部にファラデーカップを増設する予定である。現在のところ、したがって、イオン源から引き出されたビームの半分以上がリニアックを通して加速されている。この値は過去の標準的な透過効率の約3倍である。いままでに加速されたイオンのうち、強度が最大だったのは核子当り2.5MeVの N^{3+} イオンで、その値は13 μA であった。

3-3 リングサイクロトロンによる加速テスト

1996年の12月から新入射器のビームを用いてリングサイクロトロンの加速を行っている。これまでに加速されたイオンは、Ar、Fe、Ni、Kr、Xeで、これらは図4に白丸で示されている。 $^{36}Ar^{5+}$ を用いて行った最初のテストで、リングサイクロトロンから初めて1 μA のビームが取り出された。このときの加速器全体の透過効率は20%であった。

新入射器の利点の一つは、イオン源から直接多価イオンが得られるようになったことである。このことにより、中重核イオンの低エネルギービームを加速する場合には、リニアックとリングサイクロトロン間のチャージストリッパが不要になり、ビームの安定性が向上した。しかしながら、現在のイオン源の最大引き出し電圧は10kVであるため、このようなビームに対する引き出し電圧は極めて低くなってしまふ。たとえば、前述の $^{36}Ar^{5+}$ を用いて行ったテストでの引き出し電圧はわずか3kVであった。

この難点を解消するため、今秋以降イオン源の最大引き出し電圧を20kVに上げる予定で、現在ベインをそれに対応するものに交換中である。

4. 今後の予定

前述したように、今秋以降イオン源を最大20kVの引き出し電圧にし、更にビーム強度を上げることを目標にしている。

謝辞

ベインの設計にあたり貴重な助言をいただき、また三次元加工用プログラムを使わせていただきました東大核研の徳田登氏、新井重昭氏に深く感謝します。RFQの製作は住友重機（株）新居浜製作所で、高周波増幅器は電気興業（株）で、セラミックス碍子は京セラ（株）滋賀工場で作られました。関係者の皆様に心より御礼申し上げます。

参考文献

- [1] O. Kamigaito, A. Goto, Y. Miyazawa, T. Chiba, M. Hemmi, S. Kohara, M. Kase, and Y. Yano: Jpn. J. Appl. Phys. 33 (1994) L537 and Jpn. J. Appl. Phys. 34 (1995) 5799.
- [2] Y. Batygin, A. Goto, O. Kamigaito, and Y. Yano: RIKEN Accel. Progr. Rep. 28 (1994) p.172.
- [3] O. Kamigaito, A. Goto, Y. Miyazawa, T. Chiba, M. Hemmi, S. Kohara, M. Kase, and Y. Yano: Proc. 18th Int. Linear Accelerator Conference, 1996, Geneva (1996) p.863.
- [4] O. Kamigaito, A. Goto, Y. Miyazawa, T. Chiba, M. Hemmi, S. Kohara, M. Kase, and Y. Yano: RIKEN Accel. Progr. Rep. 30 (1996) p.191.