

4-ROD RFQ PROTON ACCELERATION TEST

Hiroshi Fujisawa

Ion Equipment Div. Nissin Electric Co., Ltd.

Yoshihisa Iwashita and Hidekuni Takekoshi

The Institute of Chemical Research, Kyoto University

ABSTRACT

A 4-Rod RFQ was constructed to accelerate protons from 30 keV to 100 keV. PARMTEQ computer code was used to determine the RFQ design parameters at the operating frequency of 100 MHz and 10 kV intervane voltage. The water-cooled modulated electrodes were made of copper and were aligned in position on supports. The resonant frequency was tuned by adjusting the support inductance. For proton acceleration, a test stand was assembled. A cusp field ion source provided sufficient intensity of injection proton beams and independent analysis of proton's momentum and velocity gave us an ambiguous conclusion of our results. At RF power of approximately 1.0 kW, the protons were successfully accelerated to the final energy.

4-Rod RFQによる陽子加速実験

はじめに

4-Rod RFQはベインRFQに比較して小型かつ安価に製作出来る利点があり、電極の組み立ても容易である。したがってイオン注入装置などの重イオン加速の応用としては4-Rod RFQが有利と思われる。このタイプのRFQはA. Schempp, R.W. Muller などにより重イオン加速のために最初に西ドイツで開発され、私共も4-Rod RFQのコールドモデル¹⁾により、RF特性等の測定を行ってきた。RFQパラメーターは、PARMTEQによって求めた。シュミレーションでは入射エネルギー30 keVで ~54%の陽子が100 keVまで加速出来る。このRFQを使ってテストスタンドを製作し加速実験を行ったのでここに報告する。

RFQ電極

入射エネルギー30 keVで陽子を100 keVまで加速することを目的にPARMTEQによってパラメーターを決定した。表1にその結果を示す。 ϕ_s は -90° から -30° まで変化させマッチングセクションは $6\beta\lambda$ とした。電極は加工の面から出来るだけ短くする事を念頭にパラメーターサーチを行ったため、バンチングが不十分なまま加速する事を余儀なくされた。したがって計算ではビームのTransmissionは2mAで54%であった。電極の中心部分には、 $\phi 4$ mmの冷却水路が設けられ、4本の電極それぞれの水路は一つの経路になっている。したがって入口と出口の2本のパイプを真空シールすればよく、メンテ時に便利な構造である。

RF系

RF増巾器は3段構成となっており、最終段はE i m a cの水冷4極管4CW10000Aをグリッド接地・カソードドライブで運転した。出力は方向性結合器を通してWX-39D同軸管にてRFQキャビティに導かれループカップラーにて結合した。結合はRFQのサポート付近が一番大きくなるので、そこにRFフィードスルーを取り付け、サポートとの距離とループカップラーを回転させることで結合の大きさを調節した。又モニター用のピックアップループを取り付け共振状態をオシロスコープで観察した。

周波数チューニング

RFQの共振周波数は主に電極管のキャパシタンスと電極サポートのインダクタンスによって決定されるがアセンブリーをたとえば真空タンクの中に入れると、共振周波数が上昇する。実験ではb o r e半径を4mm一定とした時タンクの外では94MHzであったのが内径150mmと190mm銅筒の中ではそれぞれ109MHz, 100.4MHzになった。これは、実際にはなんらかの周波数チューニングの手段が必要であることを示している。電極のサポートへの取り付けも同様に共振周波数に大きく関与する。たとえば、b o r e半径を~7%小さくすると電極間キャパシタンスが増加して共振周波数は~5%小さくなることがわかった。しかし、b o r e半径を変えることはF o c u s i n g S t r e n g t hが設計値からずれてしまうので好ましくなく、サポートのインダクタンスを調整する方法を選んだ。図1に示す様に電極サポートはベースとよばれる銅板にボルトで固定されているがこの断面積をたとえば増加させることによってインダクタンスを小さくすることが出来る。銅ブロックをベースの両端に取り付け中央部分にはコンタクトフィンガーが取り付けられた銅バーを固定することにより、内径190mmφのタンクの中で、共振周波数を100.9MHzと設計値の1%以内にする事が出来た。この時Q値は~1600であった。

加速実験

図2に実験のセットアップを示した。カスプイオン源からのビームはアインツェルレンズによって集束されRFQに導かれる。RFQの手前には、アパチャーを設けて直接ビームが電極に当たることを防いだ。エネルギー分析は60°偏向のマグネット及びEXBフィルターによって行われビーム電流はファラデー系によって計測した。RFによるコンディショニングは必要で最初は100W程度で放電が持続しパワーが入らなくなったが、パワーのレベルを除々に上げていく

ようにすると数時間で1.8 kWまで投入可能となって以後安定となった。RFパワーによる共振周波数のずれはRFQ電極およびタンクを冷却（水で数ℓ/min）すれば今回のパワーレベル程度では問題とならなかった。図3にMomentumスペクトラムを示した。RFパワーOFF時のスペクトラムはテストスタンドの構成からRFQを通過した後のスペクトラムなのでパワー投入時のスペクトラムと電流値の相対的な比較は出来ないことに注意が必要である。

Reference

- 1) Tomoji Ogawa and Yoshihisa Iwashita
 "Model Study of a 4-Rod Structure of RFQ Linac"
 Bull. Inst. Chem. Res. Kyoto, Univ. Vol.65, 1987

周波数	100MHz
入射エネルギー	30keV
出射エネルギー	100keV
bore半径, r ₀	4mm
電極間電圧	10kV
電極長	75cm
セル数	48
最大モジュレーション	1.92
Focusing Strength, B ₀	5.14
Transmission (ビーム電流2mA)	54%

表1. 4-Rod RFQパラメーター

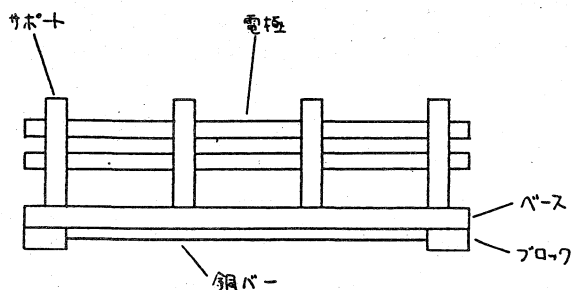


図1 RFQ電極

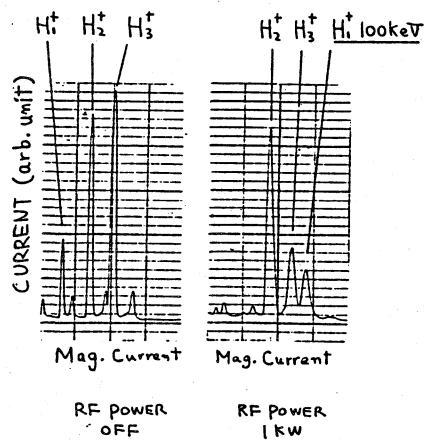


図3 モメンタムスペクトラム

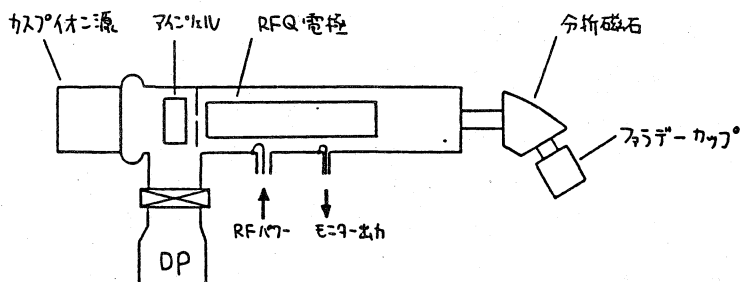


図2 テストスタンド