

DEVELOPMENT OF THE RFQ LINAC AT GSI

S. Arai

Institute for Nuclear Study, University of Tokyo
Midori-cho 3-2-1, Tanashi-shi, Tokyo 188, Japan

ABSTRACT

The first RFQ linac for very heavy ions ($A/q < 130$) has been developed at GSI, which is of the split-coaxial resonator type working at 13.5 MHz. The first 1.5 m long cavity containing radial matcher, shaper and gentle buncher is in operation with Ar^{1+} beam since November 1983. In the present paper, the feature of structure and the results of first beam test are reported.

1) はじめに

RFQ は rf 周期長 $\beta \lambda$ を短くすることができ、収束力が非常に強いということから、low- β , high current linac に非常に向いている。西ドイツでは、エネルギー問題の解決を目指し、重イオンによる慣性核融合の研究 (HIBALL計画) が積極的に進められている。その中で driver としての high current linac の研究, target experiment による pellet の研究を UNILAC を使って行う為に、high current 入射器として GSI 型 RFQ が開発されて来た。^{1,2} この RFQ は、300 kV の high current イオン源と UNILAC の初段の Wideroe の間に設置される予定である。周波数は Wideroe の $1/2$ で 13.5 MHz, U^{2+} の 48 ~ 95 mA の beam が加速される設計である。1983 年 11 月に 5 台の cavity から成る tank の内の、最初の cavity が完成して beam テストが始められている。入射エネルギーは 2.3 keV/u, 出射エネルギーは 4.3 keV/u で、この cavity は強力な buncher 部として働いている。

2) 構造の概要

設計パラメーターが表-1 に記されているが最終的な設計 profile B は、profile A に基づいて作られた Frankfurt proton model の実験結果に基づいて決められた。電極の開口は shaper 部を除いて、半径 6 mm と一定である。High current beam を加速する為に次のことが考慮されている。1) Radial matcher はできるだけ短くする。2) 横方向の space charge limit を大きくし、同時に beam の不安定性を抑える為、横方向の位相前進 σt は $\pi/2$ 以下で、できるだけ大きくなる様に、そして bunch length l_b との積が一定になる様に決められる。どんな形の電極でも造られる potential は全て、fourier 級数で表される。この RFQ の設計では第三次の項まで考慮されている。GSI の split coaxial RFQ の構造は、図-1 に示されている様に、cavity の両端から突き出た槍型の梁に段差着き円柱棒が、RFQ 電極として、中央にリングを持つ stem でセットされている。この構造の一般的な特徴は次の様に言える。1) 非常に安定な共振 mode を持

ち、非常に良い電極間の電圧平坦性をそなえている。2) 幾つもの cavity を容易につなぐことができる。3) 機械的に安定で、電極の設定が容易である。4) 電極構造が簡単なので費用が安い。RFQ 電極と、それを支える stem は 0.75 % の Cr を含む銅で出来ていて、空洞の他の部分は 100 μm の銅メッキが施された軟鋼から出来ている。電極の冷却は、槍形の梁に付けられた水冷パイプを通して行われる。

3) HIGH POWER テスト

加速テストの前に high power test が 80 kW の rf 電源を使って行われた。今までの慣らし運転により 120 kV の電極間電圧が安定に得られる様になった。140 kV になると放電が激しくなり U^{2+} を加速する為には、150 kV の電圧を必要としているので、更に慣らし運転を続ける必要がある。現在までのところ、cavity からの強い X 線を防ぐシールドが無いので、充分な高電圧でのコンディショニングは行われていない。75 kV が電界の強さ 11 MV/m に相当し、又 Kilpatrick limit に相当している。電圧の較正は、X 線 spectrum を測定して行われた。別な方法で較正された、Monitor probe からの値との差は 5% であった。

4) BEAM テスト

最初の加速テストは Ar^{1+} beam を使って行われた。電極電圧はこの時 45 kV であるので、放電や X 線の問題は無い。使用された ion source は ELSIRE³ で、beam は解析磁石を通さず、RFQ に出来るだけ短い transport で入射されている。位相空間を合わす為に、四台の四重極電磁石が使用されている。RFQ の入り口には、電子が加速 gap に入るのを防ぐ為にマイナス電位のスクリーンが置かれている。今までに得られた、加速電流の最高値は 6 mA である。図-2 に示されている様に、beam loading の様子が rf 電圧上にはっきり見える。図-3 には、加速された beam の bunch 波形が示されているが、この形は beam simulation で得られた結果と良く一致している。

5) 今後の予定

現在、他の四台の cavity が建設されていて、今年中に五台の cavity から成る tank が完成すると思う。同時に、1 MW の rf 電源も平行して造られている。この中で、beam loading の補償の問題も検討されている。

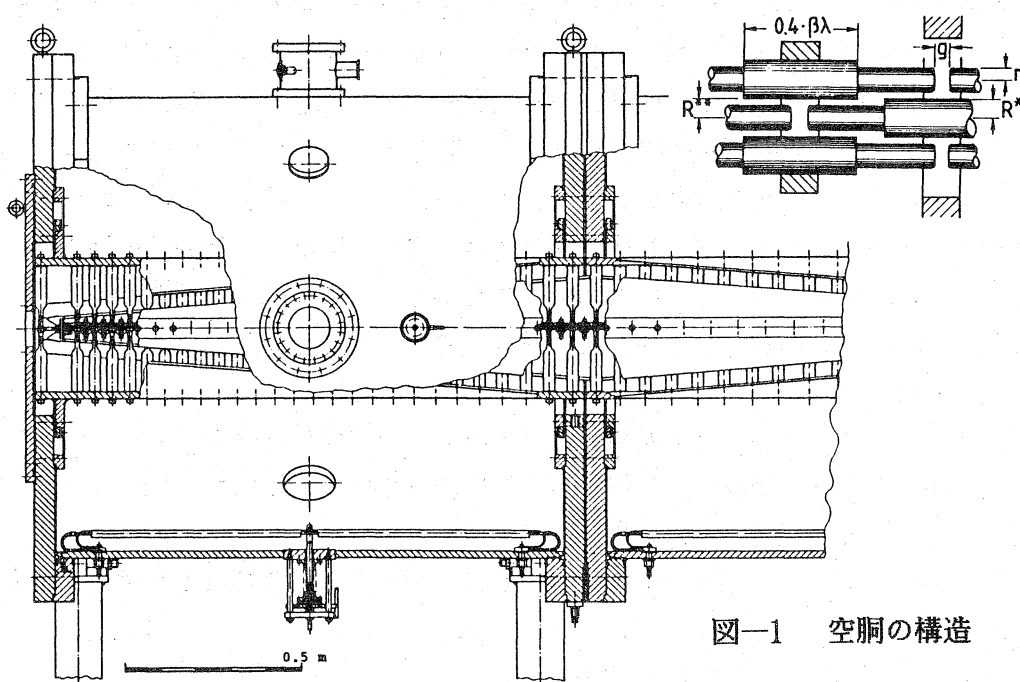
GSI 滞在中、Dr. R.W. Müller, Mr. J. Bolle には大変お世話になり感謝しております。

参考文献

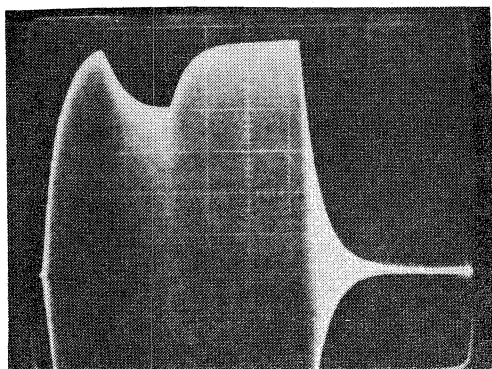
- 1) R.W. Müller., GSI-Report, 79-7.
- 2) R.W. Müller, U.Kopf, J. Bolle, S. Arai and P. Spädtke., GSI-84-5, Preprint.
- 3) R. Keller., GSI Sci. Rep. 1979, GSI 80-3, 212.

表一 設計パラメーター

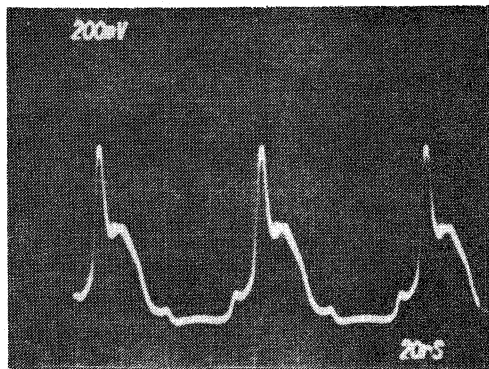
	Profile A		Profile B
		(proton model)	
RF frequency	13.55 MHz	54.2 MHz	13.55 MHz
Free aperture radius, R	12 mm	3 mm	6 mm
Normal acceptances,			
transv., α_t^N	$1 \cdot 10^{-6} \text{ m}$	$0.25 \cdot 10^{-6} \text{ m}$	$0.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
long., α_l^N	$7.2 \cdot 10^{-6} \text{ m}$	$1.8 \cdot 10^{-6} \text{ m}$	$5.5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
Phase adv. per $\beta\lambda$ cell,			
transv., σ_{to}	0.27...0.45...0.4		1.4...0.8
long., σ_{lo}	0.77...0.25...0.13		0.73...0.18
Injection: $\beta_i; \frac{q}{A} T_i$	0.227%; 2.4 keV/amu		0.220%; 2.26 keV/amu
Nom. RF volt. ampl., $\frac{q}{A} U_{RF}$	1.9 kV/amu		1.22 kV/amu
Av. accel. gradient, $\frac{q}{A} E_{eff}$	$6.7 \frac{\text{kV}}{\text{m} \cdot \text{amu}}$ $26.9 \frac{\text{kV}}{\text{m} \cdot \text{amu}}$		$5.0 \frac{\text{kV}}{\text{m} \cdot \text{amu}}$
RMS? Length	Yes, but imperfect; 28λ		Yes, 28λ
Shaper? Length	No; -		Yes; $19\beta\lambda$
Gentle buncher length	$\sim 100\beta\lambda$		$112\beta\lambda$
Transv. current limit,			
40% tune depr., $\frac{q}{A} I_{lim}$	0.13 mA/amu		0.2 mA/amu
60% tune depr., $\frac{q}{A} I_{lim}$	(?) 0.26 mA/amu		0.4 mA/amu



図一 空洞の構造



図二 ビーム負荷



図三 バンチの形