

SPLIT COAXIAL RFQ LINAC WITH MODULATED VANE

T.Fukushima, S.Arai, T.Fujino, E.Tojyo, N.Tokuda, and T.Hattori*

Institute for Nuclear Study, University of Tokyo,
Midori-cho, Tanashi, Tokyo 188, Japan

* Tokyo Institute of Technology,
Ohokayama, Meguro-ku, Tokyo 152, Japan

Abstract

A new split coaxial RFQ structure with modulated vane is developed for a very heavy ion RFQ linac which can accelerate ions with $q/A > 1/60$ from 1.68keV/u to 45keV/u at frequency of 12.5 MHz. This structure is reduced to a scale of $1/4$ the very heavy ion RFQ linac and is working at 50MHz. The structure consists of four cavity modules divided by three stems supporting horizontal and vertical vanes periodically and alternatively. The structure is 2m in length and 0.4m in diameter.

1. はじめに

Very heavy ion $^{238}\text{U}^{4+}$ の加速を目標にして50 MHzのsplit-coaxial (S.C) 型 RFQ linac の開発を始めた。ウラニウム加速の場合には、周波数12.5MHz となるが、この50MHz S.C. RFQ によってvery heavy ion を加速するための基本的な問題は解決できると期待している。このS.C.RFQ linac の特徴は、次の様にまとめられる。1) Low frequency 用加速構造として split coaxial型 cavity を採用している。2) 加速電界と四重極電界が精確な式で表される、modulated vane を電極として採用している。3) 今まで提案されて来た S.C.RFQ linac ではとなりあう電極はそれぞれ cavity の別の end wall に片支えで固定されていたがこの RFQでは、電極が数点で支えられる新しい cavity 構造 multi module cavity structureを採用している。

この研究の最大のねらいは、modulated vaneが複数点で支えられることによつて vane の設定が安定かつ容易に行えるかどうか、また電極間に必要な電圧平坦度が得られるかどうかを検証することである。更に12.5 MHz S.C.RFQを次の段階で建設できるだけの技術を確立することである。

2. Split coaxial 共振空洞

Split coaxial 共振空洞の原理図を図-1に示した。この共振器の原理はTEM modeで共振するre-entrant cavity であるが対向電極にsplit を入れ、お互いの電極をsplit の中に入れることによって電極から外導体への電界をなくし電界が電極間に集中するようにしたものである。図-1には、空洞の外導体からの電位の変化が示されている。この空洞の一般的な性質は、図に示されるように電極間の電圧平坦性が良く、共振modeが安定であり、共振周波数が非常に低いということである。ただし、電極間の静電容量が大きいという事は power loss を増やすということでもあるので、良し悪しである。

3. 基本パラメーターの選択

シンクロトロンへ入射することを想定してvane設計が行われた。beam intensityはそれほど強い必要はないので、 $^{238}\text{U}^{4+}$ が加速される最も重いイオンとして選ばれた。ただしRFQのメリットを充分活かす為に、イオン源の電圧はできるだけ低く抑えられている。表-1で $^{238}\text{U}^{4+}$ 加速の為に12.5 MHz RFQの設計パラメーターと完全に1/4に縮小された50 MHz RFQの設計パラメーターが比較されている。50 MHz RFQによってはcharge to mass ratio 1/15以上のイオンが加速できる。もしprotonを加速する場合には必要なrf-powerは40Wで足りる。

4. Multi-module cavity structure

基本構造が図-2に示されている。この構造のメリットはなんといってもvaneを複数点で支えることができるのでvaneのS.C. cavityへの適用が容易になったということである。一つのmoduleが一つの共振器を形成していて垂平方向と垂直方向に対向するvaneは交互にone moduleごとに垂平方向と垂直方向のstemによって支えられている。4 module cavityの場合には垂平、垂直二組のvaneは2又は3個所で支えられることになる。cavityに励起される電磁場は、moduleごとに π だけ位相がづれた π -modeである。

Moduleの長さや径はpower lossを決める共振抵抗 R_p をできるだけ高くしたい、vaneを支える点の間隔をできるだけ短くしたい、同時にcavity半径 r_b も小さくしたいという要求との兼ね合いからきまる。図-3に静電容量122 pF/mと166 pF/mで内導体の半径 r_a を15cmとして求めた、それらの関係が図示されている。Vaneとvaneの支えを含む電極の静電容量の値は、SUPERFISHによってもとめられた。静電容量と内導体の径を決めることによってcavityの径と長さとの関係が求められる。50 MHz cavity structureが図-4に示されている。これは全て加工が容易でコストが安い真鍮で造られる。rf特性テストの時にはvaneはmodulationなしでおなじく真鍮で造られるが加速テストの時には銅のmodulated vaneを使い、cavityもメッキする予定である。冷却系は、50 MHz modelでは考えない。各々のmoduleの共振周波数は、inductanceを変えるtunerによって調整される。rf couplingは、一つのloop couplerによって行われる。

参考文献

- 1) S.Arai., GSI.Report,83-11
- 2) R.W.Müller, et al., GSI.Preprint,84-5

図の説明

図-1: Split coaxial 共振空洞の原理図

表-1: 12.5 MHz RFQ と 50 MHz RFQ の設計パラメーター一覽表

図-2: Multi-module cavity の基本構造

図-3: 静電容量に対する共振抵抗, 空洞半径, 空洞長との関係

図-4: 左側が 50 MHz 空洞の全体図, 右側がvaneのstemによる支え方

	$230\mu\text{A}$	1/4-Scale	
Charge to mass ratio	0.01631	0.05723	
Frequency (f)	12.5	50	MHz
Kinetic energy (T)	1.68 - 45	1.68 - 45	keV/u
Normalized emittance (ϵ_N)	0.06	0.015	π cm - arad
Kilpatrick factor	1.8	1.295	
Intervane voltage (V)	164.6	41.1	kV
Focusing strength (B)	4.5	4.5	
Max. defocusing strength (Δ_b)	-0.100	-0.100	
Synchronous phase (ϕ_s)	-90	-90	deg
Max. modulation (θ_{max})	1.83	1.83	
Number of cells	180	180	
Vane length	800	200	cm
Mean bore radius (r_0)	1.941	0.485	cm
Min. bore radius (a_{min})	1.349	0.337	cm
Margin of bore radius (a_{in}/a_{beam})	2.0	2.0	
Transmission (0 emA)	98	97	%
(5 emA)	97	73	%
(10 emA)	94		%
Module length	200	49.4	cm
Radius of cavity	80	20	cm
Ave. radius of inner conductor	20	5	cm
Electrode capacitance	150	150	$\mu\text{F}/\text{m}$
Resonant resistance per module	209	209	k Ω
Unloaded Q value	4250	4250	
rf power per module	65	4.0	kW
Number of Modules	4	4	
Total power	260	16.2	kW

表-1

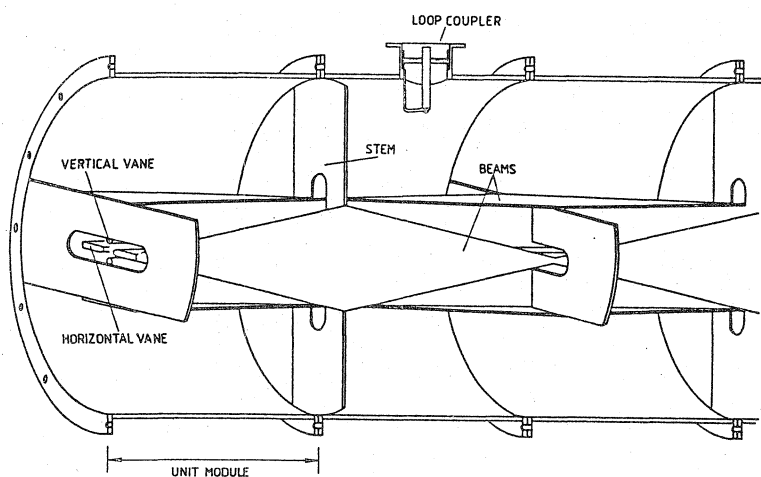


图-2

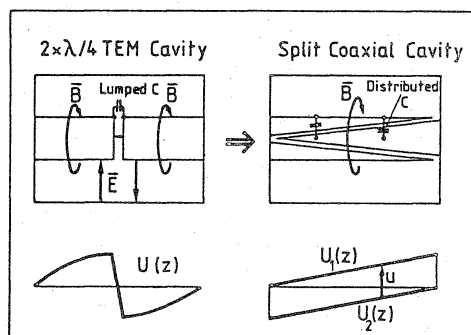


图-1

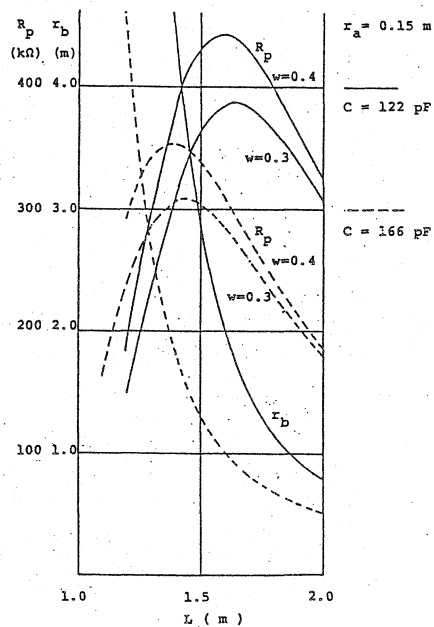


图-3

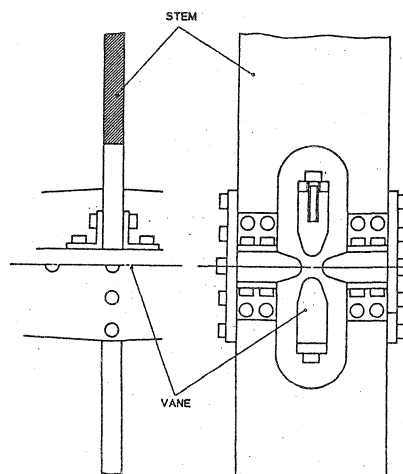
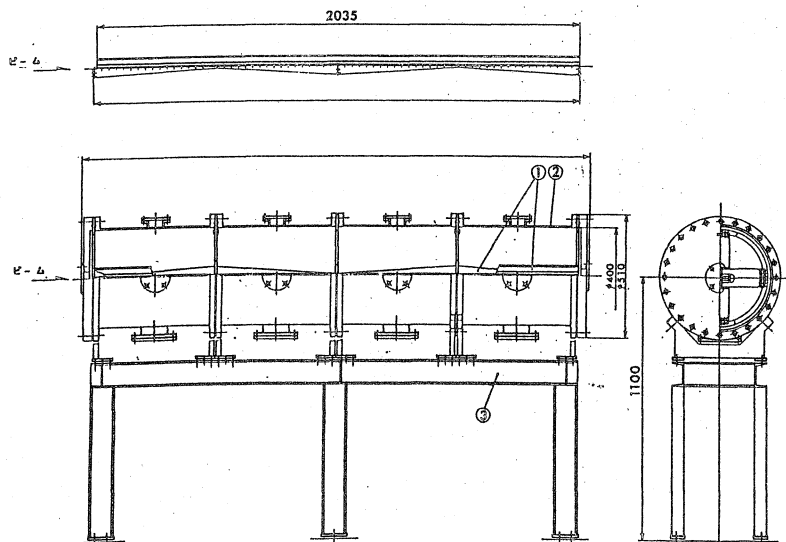


图-4