

Abstract

The split-coaxial RFQ structure¹⁾ was studied. The resonant frequencies and the rf quadrupole field were measured using a full scale model. A buncher for 20 keV protons was designed.

1. 原理

ケイオウフランクフルト大学で開発が進められている split coaxial RFQ は 2つの $\lambda/4$ 同軸共振器のそれぞれの内軸を2分割し、一方の共振器を 90° 回転させ、互にかみ合せに構造で、2つの共振器の振動の位相差が 180° の場合は中心軸に沿ってほゞ一様4重極電界が得られる。

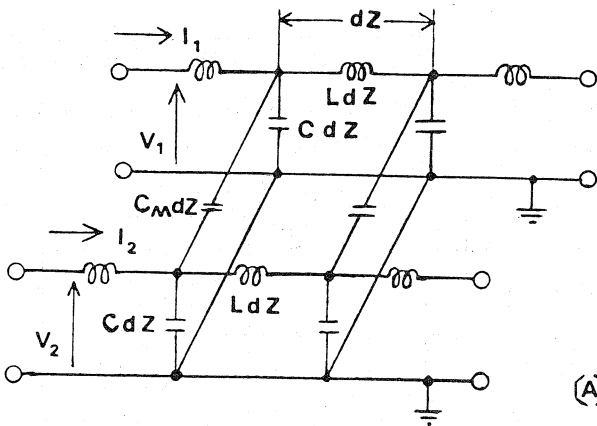


Fig.1. Coupling of two transmission lines

Fig. 1に示されるよう互に結合した同形の2本の路線上を伝播する電波の電圧、電流 V_1, I_1, V_2, I_2 は、マトリックス表示により、

$$\frac{d}{dz} \begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \\ V_2 \\ I_2 \end{pmatrix} = (A) \begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \\ V_2 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

で与えられる。(A)は

$$(A) = \begin{pmatrix} 0 & -j\omega L & 0 & 0 \\ -j\omega(C+C_M) & 0 & j\omega C_M & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -j\omega L \\ j\omega C_M & 0 & -j\omega(C+C_M) & 0 \end{pmatrix}$$

で与えられる。ここに C, C_M, L は、それぞれの路線上に分布する単位長当りの容量、相互容量、誘導である。路線上を伝播する電波は e^{-jz} の因数をもつて次の dispersion relation が得られる。 γ は伝播定数と路線上での損失を無視できれば純虚数である。

$$\det \{ (A) + \gamma [1] \} = 0$$

上の式を解くと

$$\omega^2 = \frac{\gamma^2 L (C + C_M \pm C_M)}{L^2 (C^2 + 2 C C_M)}$$

が得られる。

ω_{II}, ω_{I} を同相および 180° 位相の共振周波数とすると、

$$\frac{\omega_{II}^2}{\omega_I^2} = 1 + 2 \frac{C_M}{C}$$

が得られる。

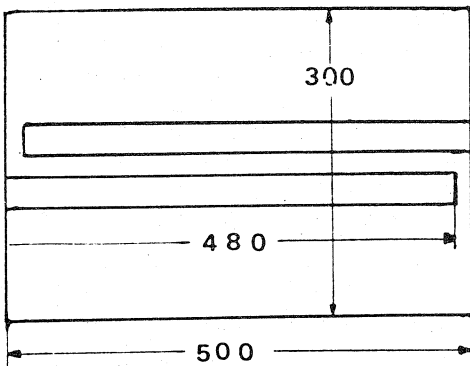


Fig.2. rf model of split coaxial RFQ

2. 共振周波数測定

Fig. 2 のモデルの電極間隔 d が 10 mm と 15 mm の場合の共振周波数と coupling の強さ C_M/C と Table 1 に示す。

d (mm)	ω_{\perp}	ω_{\parallel} (MHz)	C_M/C
10	52	226	8.8
15	61	215	5.7

Table 1. Resonant frequencies and coupling strength.

C_M/C の値はかなり大きな値で

これは結合が強いことを表している。またこの測定より $\frac{C_{M10}}{C_{M15}} = 1.54$ が得られるが、これは C_M の容量計算から得られる値 1.5 によく一致しているので coupled transmission lines の計算が正しいことを示している。また空洞の長さ L と共振周波数が逆比例関係にあることも実験により確かめられた。

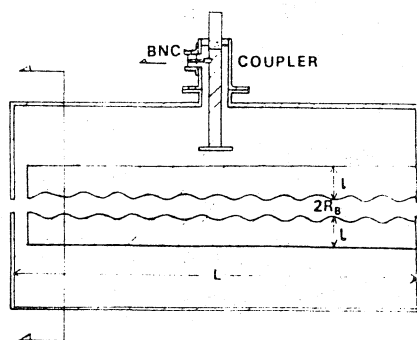
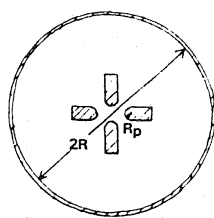
R F Q

3. 電場測定

20 KeV の陽子用のバンチャーのモデル空洞を製作した。空洞の諸元は Fig. 3 に示される。

このバンチャーの電圧分布は Fig. 4 に示されるビード法で測定した。

ビードは 0.1 mm 径の長さ 3.5 mm の銅線と 30 本束ねたものである。バンチャーの中心軸上での電場分布は Fig. 3 の下のグラフに示される。電極は軸方向に沿



Injection: 20 KeV Proton
 Ion Velocity: $\beta = 0.0067$
 RF: 100 MHz
 $\beta\lambda$: 20 mm
 Cavity: $R = 75$, $L = 300$
 Electrode: $R_b = 5$, $R_p = 6$
 $l = 25$ (units: mm)

Fig. 3. RFQ buncher for 20 keV protons.

RF MEASUREMENT

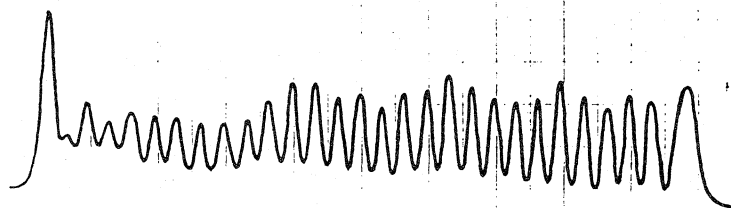
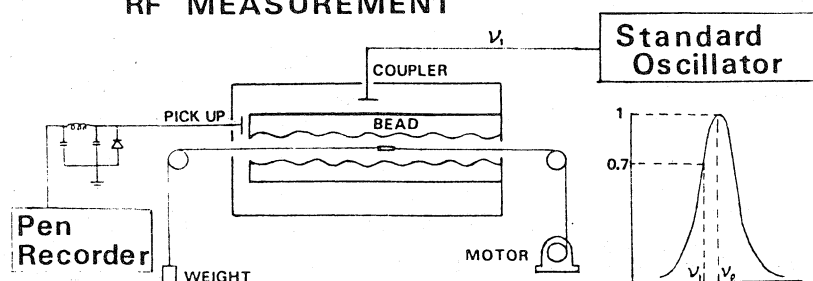


Fig. 4. Quadrupole field along central axis of buncher.

て細長いビーズを使う必要がある。

って5種類の大きさのモジュレーションが加工されている。4重極電界とモジュレーションとの関係は現在解析が進められている。split coaxial形のRFQにおいて電流は電極表面において軸方向に流れるために電界分布と計算を求めるとは、かなり難しいように思われる。中心軸上には強い磁界が存在するので測定においても磁界の影響を受けないように軸に沿

Fig. 5は空洞の高次の共振と電界分布を示したもので、 n の奇数倍の共振は図中の二本の直線に見られる。二本の直線の間の共振は例えば、splitした二本の電極が 180° の位相差で振動するモードである。この場合二本の電極を先端でショートすれば共振はなくなるが、ショートにより先端部が電流の腹になる新しいモードが発生する。Fig. 3の空洞と単位として多数の空洞と並べることは出来るが、空洞間の結合がおこると非常に複雑な振動がおこるので、空洞は各々独立にした方がよい。

4. 結論

split coaxial 形のRFQはVane⁽²⁾構造のものに比べて構造が簡単で製作が容易である。

電流の大部分は内軸の電極と流れるので外筒を大きくする必要はなく陽子用では $100 \sim 200 \text{ mm}$ で充分である。(しかし内軸の軸方向に大電流が流れるので電界分布を計算で求めるのはかなり難しいように思われ、実験的に測定する必要がある)

我々は現在 split coaxial RFQ のRF大電力試験の準備を進めている。

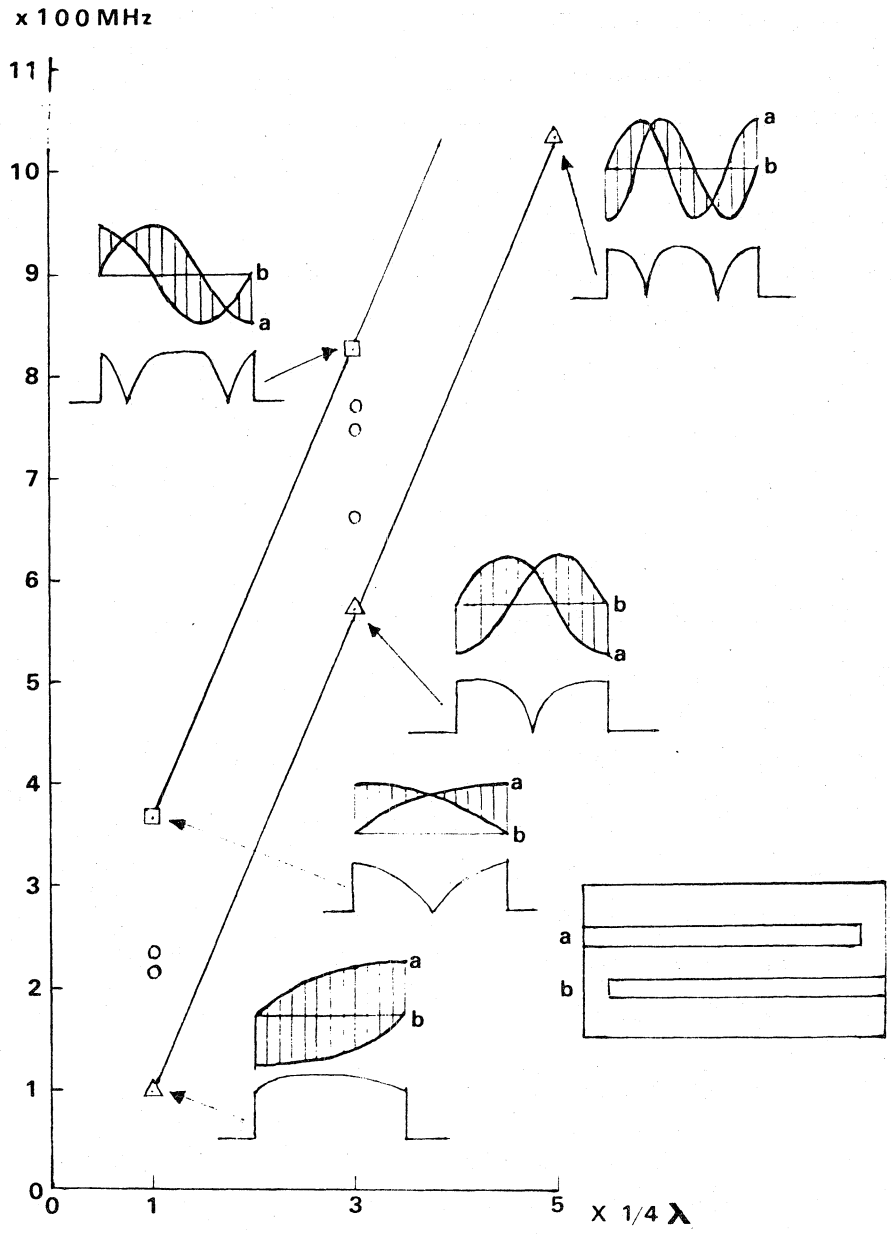


Fig.5. Resonant frequencies of slit coaxial RFQ

References

- 1) R. W. Müller et al., IEEE Trans. on Nuclear Science, vol. NS-28, No. 3, June 1981.
- 2) For example PIGMI project at Los Alamos.