

THE BEAM TEST OF A DAW ACCELERATION STRUCTURE

T. Tanaka, K. Tsukada, K. Satoh, K. Hayakawa, T. Ozaki, N. Nakamura,
K. Okamoto, O. Takeda and M. Nishinaka
Atomic Energy Research Institute, Nihon University

ABSTRACT

The beam test of a DAW acceleration structure, which consists of 5 acceleration cavities, has been performed. Acceleration mode lies near 2856 MHz. Each washer is supported radially by two stems which have an angle of 90° from each other. The unloaded quality factor Q_0 was found to be about 20000. The electron beam of 2 MeV and peak current 100 mA was injected. Energy gain of 4.2 MeV was obtained by rough measurement when rf power of 1.8 MW was provided.

1. 序

加速効率の高い電子リニアックを実現させる定在波型加速管として Disk-And-Washer (DAW) 型加速管が各地で研究されているが、これまでビーム加速を実際に行なった例は報告されていない。我々は RF 共鳴周波数約 2856 MHz で加速モードをもつ DAW 型加速管を試作し、その特性を研究して来たが、その一環として、バンチャー部の下流に加速管を設置して加速テストを行なった。以下に試作した DAW 型加速管とその加速テストの結果について述べる。

2. 加速管の概略

試作加速管は図1の概略図に示すように、RF の結合部を含めて全長約 30 cm で 5 つの空洞から成る。ワッシャーは空洞の半径方向に 90° の角度をなす 2 本のステンレス製で銅メッキされたパイプのステムで支持されており、隣接したワッシャー間でステムは 180° 回転した位置にある。カップラーは 4 本のステムで支持されている。入力 RF 電力の 70% はワッシャーで消費されるので、水冷を行なうためにワッシャー内部に水路が作りされており、スラムパイプから冷却水を送り込む構造になっている。導波管との結合部とシリンダー部にはそれぞれ 2 本ずつ、合計 8 本のチューニングビスが、ステムに対し 180° の位置に取り付けられ、空洞中におけるビスの長さで共鳴周波数の調整を行なった。加速管温度 35°C 真空中で加速モードの周波数が 2856 MHz になるよう調整した後、ロー付けで固定・真空封じを行なったが、ロー付け後の測定では周波数が約 1 MHz 高目になった。これはロー付けによってビスと空洞壁との電氣的な接触が良くなったことが原因と考えられる。

加速管空洞の各部の寸法は、ビームの透過性を考慮してワッシャーの穴径を 15 mm とし、実効シャントインピーダンスが最大となるように SUPERFISH で最適化を行なって決定した。この結果では加速空洞の実効シャントインピーダンスは $95\text{M}\Omega/\text{m}$ 、無負荷 Q は 31200 である。導波管との結合係数は結合部にある結合窓をヤスリで徐々に拡大し、最終的に電圧定在波比 1.2 でオーバーカップルの状態にした。

最終的に完成した状態で測定された無負荷 Q は約 20000 であった。計算値に比べ 30% 程度小さいが、計算では考慮されていないステム、及び相対的に大きな部分を占めている結合部での損失が影響しているためと考えられる。

3. 加速テスト

加速のためのRFは5MWクライストロンからバンチャーに2.5MW、DAW加速管に0~2.5MW可変で供給できる。試験はパルス運転で、パルス幅約7 μ s、くりかえし10~50ppsで行なう。加速管は200時間以上、くりかえし10ppsでagingを行ない徐々に入力RFを増加させ、100 μ s 2.5MWが入力できるようになった。

加速管全体は35 $^{\circ}$ Cに保たれる構造になっていた。しかし製造工程でカップラー部分に真空のリーク個所が生じ、リークを止めるため真空シール剤をステムパイプから流し込んで一応止まったが、冷却水を流すと再びリークしたため、水冷を中止した。最終的には冷却パイプを取り払い、加速管の温度調節は一切せず、ワッシャーとカップラーを空冷するだけにとどめた。このため、十分な冷却ができず、実験中に加速管の共振周波数が変化したため、バンチャーとクライストロンの追従できる範囲でRF周波数を変化させながら実験を続けた。

加速管にはパルス幅2 μ s、ピーク100mAのビームを入射させた。入射電子のエネルギーは仕様では1MeV以上とされていたが、実際の測定では約2MeVであった。バンチャーの出口でのビームの径は約5mmであった。DAW加速管で加速を行なわない状態では、加速管出口でのビームの径はワッシャーの穴径と同じ15mm程度であったが、加速すると10mm程度になった。出口に置いたファラデーカップで測定した電流値から、加速管のビーム透過率は70%程度であった。

加速された電子のエネルギーは、出口付近に30 $^{\circ}$ 偏向電磁石を置き、ZnSでビームスポットを観測しながら30 $^{\circ}$ ビームを偏向させ、そのときの磁場の強さから算出した。図2に測定系の配置を示す。ビームは加速管出口に厚さ30 μ mのTi窓があるため抜がるので、スリットを設けて空気中を飛ばした。

図3に測定結果を示す。可変減衰器の故障によりRFは最大1.8MWまでの入力で測定したが、1.8MWで $E_0 = 6.2$ MeV、0MWで2MeVであった。絶対値の精度は悪く、誤差は最低でも10%以上あると思われる。その理由は、DAW加速管に入射する電子のエネルギーの径が大きく、ビームバンチも仕様では約20 $^{\circ}$ の位相幅をもっているため、実際に30 $^{\circ}$ 偏向するとビームスポットが大きく抜がることと、偏向電磁石の実効端の位置は測定していないため不確かであることにある。また、DAW加速管でのエネルギーゲインは、バンチャー出口でのエネルギーが加速周波数の変化により数100keV変化することから、さらに誤差は大きくなる。

荒い測定ではあるが、1.8MWで4.2MeVのエネルギーゲインがあったとすると、実効シャントインピーダンス ZT^2 は42M Ω /m、誤差 $\pm 10\%$ を採用すると $ZT^2 = 42 \pm 15$ M Ω /mである。計算では結合部と終端部を考慮すると $ZT^2 \approx 73$ M Ω /mであり、実際にはかなり小さいことになるが、精度が悪いため、何らかの測定方法の改善を行なわなければ詳細な検討はできない。

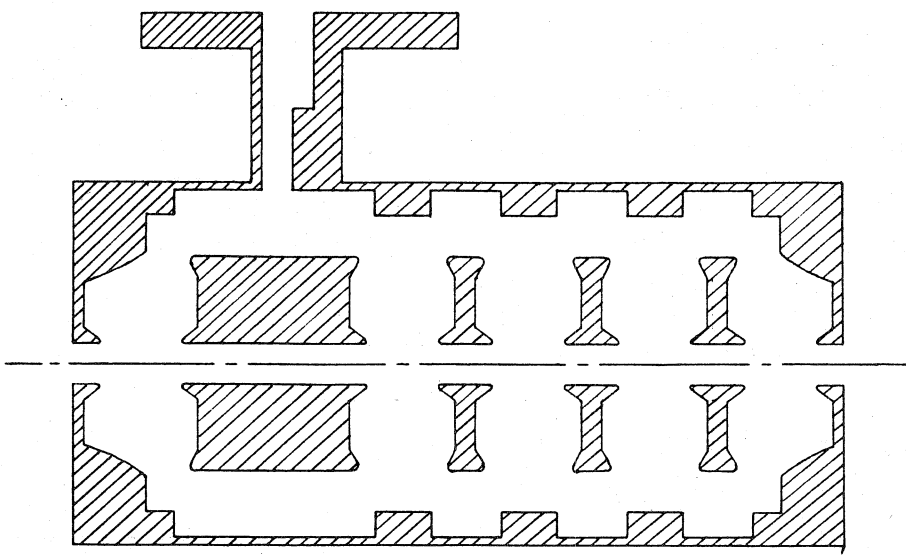


図1 試作した DAW 加速管の概略図。全長 315 mm、ワッシャーの穴径 15 mm。

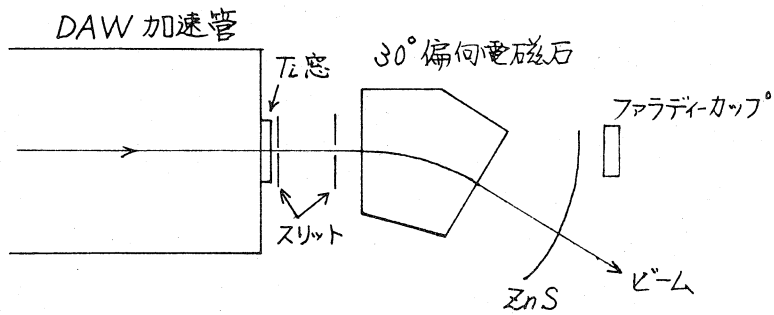


図2 加速電子のエネルギー測定系。

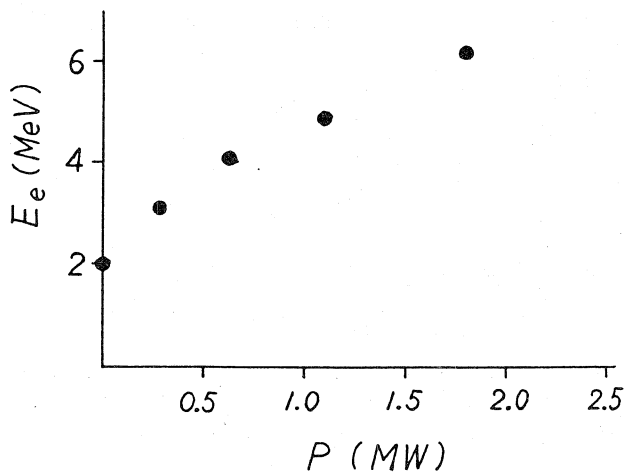


図3 DAW 加速管に入力した RF 電力と、測定された電子エネルギーの関係。