

High Gradient Test of S-band Disk Loaded Structure

Y.YAMAOKA and Linear Collider Study Group*

Institute of Applied Physics, University of Tsukuba

Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki 305

* KEK, National Laboratory for High Energy Physics

Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki 305

Abstract

The present status of high gradient test of S-band disk loaded structure is outlined. The accelerating gradient of 50MV/m was attained after RF conditioning for 190 hours. The effect of RF conditioning is observed in field emission current. A microscopic field enhancement factor β in Fowler-Nordheim Plot is obtained to be 56.8.

1. はじめに

重心系エネルギー 1 TeVのリニアコライダー実現のためには、100 MV/m以上の加速電界を維持できる加速管が要求される。これは現在運転されているリニアックに比べ一桁大きな値である。このような高電界を発生させる時に問題となるのは、加速管表面から放出される電界放出電流であり、またそれによって引き起こされる放電である。加速管の高電界試験はSLAC、VARIAN、KEKなどですで行われている(文献1、2)。SLAC、VARIANの実験は、定在波モードの加速管を使用して行なわれたのに対して、KEKでは進行波モードであった。しかし、これらの実験で用いられた加速管はSLACは7セル、VARIANは単セル、KEKは5セルといずれもテスト用の短いものであった。現在KEKにおいて、Sバンドで長さ0.6m(RF結合空洞も含め19セル)の実用型の加速管で実験を行っている。この実験から、Sバンドにおける最大加速電界強度を決めるのに重要なデータを得ることができる。ここでは、その途中経過を報告する。

2. 実験

2-1) 概要

電界放出現象があらわに効いてくるのは、理想表面の場合、表面電界が1GV/mを上回る極めて高い場合である。しかし、実際には40 MV/m程度の表面電界があると、電界放出による暗電流が無視できなくなる。この原因として、表面に存在する微小突起や酸化不純物の付着のため、実際には局所的に大きな電界が発生していると考えられている。実際の表面の評価として、局所的に増大された電界と理想表面の電界の比 β の比較がある。 β は、Fowler-Nordheim

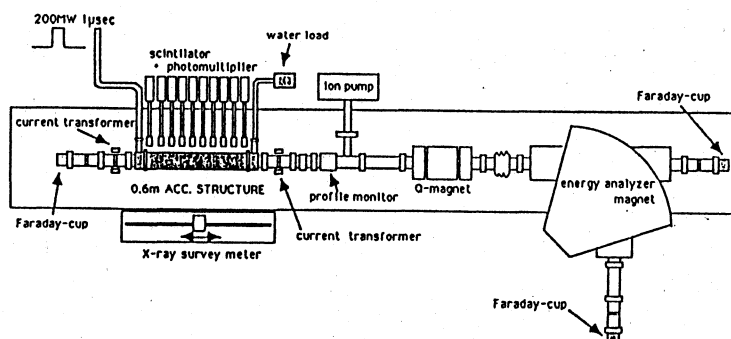


図1 実験装置の概略図

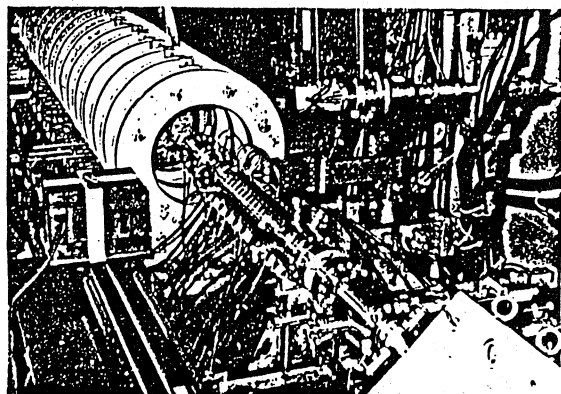


図2 実験装置の写真。エネルギー分析マグネットから加速管を中心に撮った。

Plotから実験的に求めることができる。すなわち、

$$\frac{d(\log_{10} I/E_s^{2.5})}{d(1/E_s)} = - \frac{2.84 \times 10^9 \times \phi^{1.5}}{\beta} \quad \text{但し } \phi = 4\text{eV for Cu}$$

この β が小さいほど理想表面に近く、電界放出電流も小さい。SLAC、VARIAN、KEKでの実験から求められた β の値は、60~120であった。

この電界放出電流やそれによって起きる放電について、その発生する場所と時間、強度および、エージング効果を調べるために、以下の診断装置を用意した。

2-2) 実験装置

実験装置の概略図を図1に、写真を図2に示す。加速管に最大200MWの電力を供給する(この時の加速電界強度は、100MV/mになる。)ことができるようにするために、2本のSLAC-5045クライストロンの電力を合成した(文献3)。運転の繰り返しは25pps、RFパルス幅は1μsecである。表1に加速管のパラメータを示す。加速管は、一定電界型で、材質は、OFHC銅を使用している。加速管disk先端部表面は、0.3μmの粗度で加工され、銀ロー付け法で作られた。ローパワー測定の結果から加速電界は、次のように書ける。

$$E_{acc}(\text{MV/m}) = 7.13 \cdot \sqrt{P(\text{MW})}$$

加速管を透過したRFはwater loadで吸収し、熱量的にパワー測定を行なう。

電界放出電流のピーク値と波形は、C.T.(Current Transformer)で、平均電流は、ファラデーカップで測定する。電界放出電子のエネルギースペクトラムは、エネルギーアナライザーマグネットの磁場から測定できる。電界放出電子のビームプロファイルは、デマルケストをビームラインに挿入して画像処理して見る。

シンチレーションカウンターは、加速管の軸方向に沿って10本並べた。プラスチックシンチレーターの大きさは、5×10×20mm²で、加速管外壁に直接とりつけた。これにより、それぞれの位置におけるX線の強度と時間情報が得られる。各カウンターの光電子増倍管のゲインは、実験開始前にチェックソースを用いて同一になるよう調整した。X線サーベイメータは、厚さ5cmの鉛ブロックで囲い直径5mmの穴を開けコリメートしてある。それを軸方向にスキャンしてX線強度を測定する。さらに、加速管全体にラドカラーを貼り、その変色からX線の積分値を調べる。

残留ガスの組成分析のため、四極質量分析器を設置した。

3. 実験結果

7/20から実験を開始して8/3の時点で200時間経過した。図3にエージング時間に対する入力パワーの関係を示す。

図4に加速電界強度が40MV/m時の電界放出電子のエネル

表1 Parameter of the structure

Phase Shift / cell	2π/3
Structure Length	634 cm
Number of cells	17+2
Resonant Frequency	2.856 GHz
Q-value	11600
Shunt Impedance	62 MΩ/m
Attenuation	0.367 Neper/m
Mean Group Velocity	0.00445*c
Filling Time	0.475 μsec

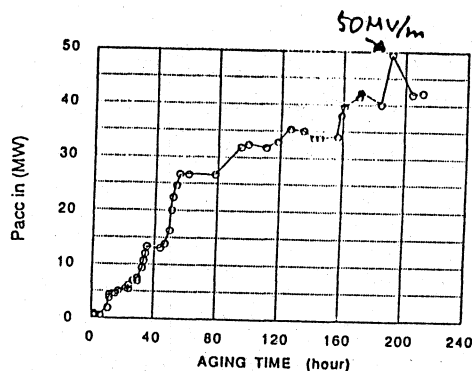


図3 エージング時間に対する入力パワーの記録。

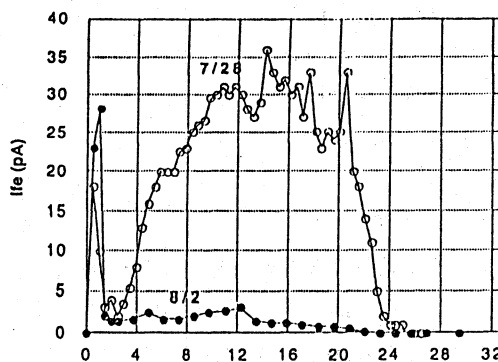


図4 電界放出電子のエネルギースペクトラム。
この時の加速電界強度は40MV/mである。

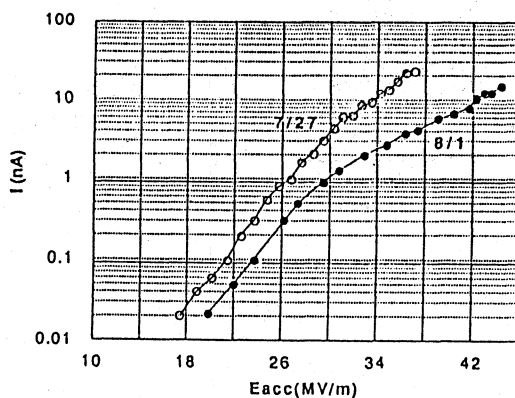


図5 電界強度に対する電界放出電流の変化。

ギースペクトラムを示す。

7/28と8/2のデータでスペクトラムに大きな違いが見られた。7/28の時点では、電界放出が加速管全体で起きていたのに対し、8/2では出力結合空洞付近で重点的に起きていることがわかる。出力結合空洞付近を除く加速管全体でエージング効果が表われている。エージング効果は、電界放出電流の大きさにも現われている(図5)。

Fowler-NordheimPlotを図6に示す。8/1に測定した電流の大きさは7/27に比べ減少しているが、逆に56.8から66.6に大きくなった。

図7に加速電界強度が40

MV/m時のCT、シンチレーションカウンター、RFの同じ時間スケールでの波形を示す。CTで測定した電界放出電流のピーク値は、加速管上流側で4 mA、下流側で15 mAがパルス毎に安定に流れ、上流側にも下流側の1/3~1/4程度の電流が流れていることが確かめられた。

図8は、電界に対する放出ガスの分圧の関係を示している。加速管にRFパワーが入るとH₂の分圧比が特に上昇することがわかった。

4.今後の予定

引き続きエージングを行ない加速電界強度を100 MV/mまで上げていき、上で述べた評価をしていく。実験終了後は、加速管を切断し、内部の損傷などの観察を行う。今回の実験で用いた加速管は、銀ロー付け法であったが、同じ長さの電鍍法の加速管についても実験を行い、データの比較を行う予定である。

文献

- 1) Loew,G.A, and Wang,J.W., "RF Breakdown Studies in Room Temperature Electron Linac Structures", SLAC-PUB-4647, May 1988
- 2) Matsumoto,H et al, "RF Breakdown Studies on S-band Disk-loaded Structure", Proc. of the 1987 IEEE Particle Accelerator Conference (Washington D.C.)1654 (1987)
- 3) Matsumoto,H et al, "High Power Combination for the JLC S-band RF source "

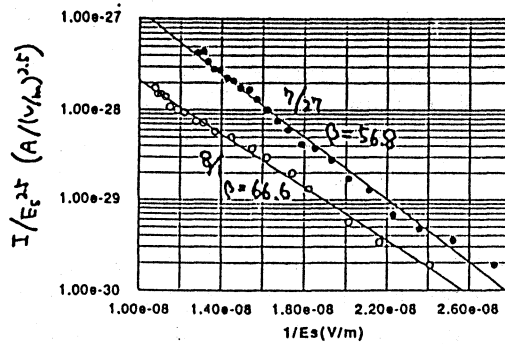


図6 Fowler-Nordheim plot.

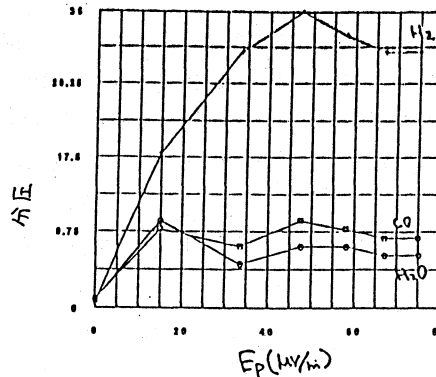


図8 電界強度に対する放出ガスの分圧。

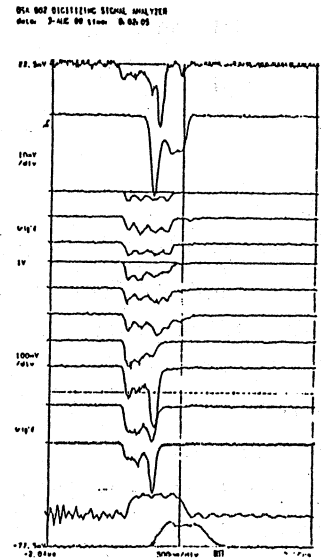


図7 各測定器出力波形。上からCT上流,下流,シンチレーションカウンター(上流から下流の順)、加速管入力RF、出力RF。