

# HIGH GRADIENT EXPERIMENTS BY ATF

H. Matsumoto, M. Akemoto, H. Hayano, T. Naito and S. Takeda  
National Laboratory for High Energy Physics  
Oho 1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305, Japan

## ATF 高電界発生試験

### ABSTRACT

In order to reduce the dark current and increase the upper limit of the electric field strength in conventional disk loaded structure at S - band, a special fabrication process has been proposed. The dark current of a dust-free and dielectric-free structure was one order lower than the usual structure fabricated by standard process.

#### 1. はじめに

TeV 領域の電子・陽電子衝突型直線加速器を現実的な長さで実現するには、リニアックの加速電場勾配は非常に重要である。現在稼働中の S - バンド大型加速器では、電場勾配は 10 MV/m 前後が多く、最も高い SLAC は平均 17 MV/m である。Japan Linear Collider (JLC) では、S - バンドは 40 MV/m、X - バンドは 100 MV/m 以上を予定している。このような高電界下では、加速管ディスクのビーム孔付近から発生する暗電流 (field emission current) が加速され、下流ディスクと衝突を繰り返す電子増倍現象 (electron multipacting) が生じ放電等の原因となる。高電界発生基礎研究は SLAC と VARIAN が単空洞や 7 空洞の定在波型で行い KEK - JLC はビーム加速と同一の進行波で行っている。これらの研究から暗電流発生は加速管ディスクの表面粗度、銅結晶粒界の気泡、ディスク表面に付着する塵等の複合要因であることが分かってきた (参 1 ~ 8)。しかし、加速電界を制限する主要因は明確化されていない。JLC では前述した夫々の要因について既に調査を開始している。

本稿では、同一構造の長さ 0.6 m 加速管において防塵を厳密に管理した場合の暗電流減少効果を従来標準製作と比較試験をおこなったので報告する。

#### 2. 試験装置概要

##### 2-1 マイクロ波源

図 1 に装置全体を示す。大電力マイクロ波源は 2 本の 100 MW 級クライストロン出力を 1 個の 3 dB カプラで出力合成し、最大 200 MW (1  $\mu$  sec、50 Hz) を可能としている。2 本のクライストロンは夫々出力レベルと位相を常時モニターし、合成出力が最大になるように計算機制御している。又、クライストロン及び電源の全パラメーターは計算機から容易に設定および変更可能となっている。

## 2-2 加速管パラメーター

加速管は定電場勾配型 (constant gradient) とし水素ロー付法を採用した。マイクロ波源の最大出力 200 MW 時に加速管軸上電場勾配が 103 MV/m になるパラメーターを決定した。表 1 に加速管パラメーターを示す。

表 1 加速管パラメーター

Frequency	MHz	2856
Resonant mode		$2\pi/3$
Structure length	m	0.6
Input beam hole diameter 2a	cm	1.9
Output beam hole diameter 2a	cm	1.59
Quality factor	Q	11,600
Average shunt impedance	MΩ/m	61.2
Attenuation constant $\tau$		0.37
Filling time	$\mu$ sec	0.47
Surface field (Es) / Axial electric field (Ea)		2.0 ~ 2.2
Material of the structure		OFHC (HITACHI 1st class)
Surface finish of disk beam hole	$\mu$ m	0.8
Surface finish of cylinder	$\mu$ m	< 0.8

## 2-3 暗電流計測装置

暗電流の計測は表 2 に示す 8 項目を可能としている。定常状態の暗電流は Fowler-Nordheim (F-N) プロットから Enhancement Factor  $\beta$  を算出し評価した。加速管から放射する X 線をプラスチックシンチレータとフォトマルで観測し、暗電流のパルス過渡状態を測定した。加速電場勾配は、偏向電磁石にて暗電流の最高エネルギーから求めた。

表 2 暗電流計測方法

計測項目	計測方法	性能
1) 暗電流パルス波形	フェライトコア	0.1 $\mu$ sec
2) ピーク電流値	フェライトコア	0.1 $\mu$ sec
3) 平均電流値	ファラデーカップ	$10^{-13}$ A
4) X 線波形	シンチレータ + フォトマル	10 nsec
5) 時間計測	シンチレータ + フォトマル	10 nsec
6) X 線平均値	X 線サーベーター	
7) エネルギー分析	偏向電磁石	$\pm 0.1\%$
8) プロファイル	酸化クロムセラミックス + 画像処理	最大時間応答 50 Hz

## 3. 実験結果

加速管 RF プロセッシングは計算機制御により完全自動化され、加速管内真空度は  $1 \times 10^{-7}$  Torr 以下に保持されるようにマイクロ波電力を増減し、設定電力まで上昇する。ビームエネルギー分析や電流測定等全てのデータ収集も計算機により自動化している。加速電場勾配は、従来品は 800 時間のプロセッシング後 90 MV/m に達し、清浄新作品は 200 時間で 83 MV/m に達した。図 2 に夫々の F-N プロットを示す。図 2 から暗電流は同一加速勾配で 1 桁から 2 桁清浄製作品が少なく、防塵および清浄化が暗電流減少に効果的であることが分かる。F-N プロットから算出した  $\beta$  値は、従来品は  $\beta = 43$ 、清浄製作は

$\beta = 107$  となった。 $\beta$  は逆に従来品の約 2.5 倍大きく、防塵のみでは  $\beta$  値改善に寄与しないことが分かった。高  $\beta$  値は電場勾配の上限が低いことであり好ましくない。RF プロセッシング時間の長短差もあるが、今までの実験から  $\beta$  の時間依存性は僅かであることからして材料品質 (不純物、気孔)、ディスク加工表面粗度、ロー付による OFHC 結晶成長等の再調査を行う予定である。

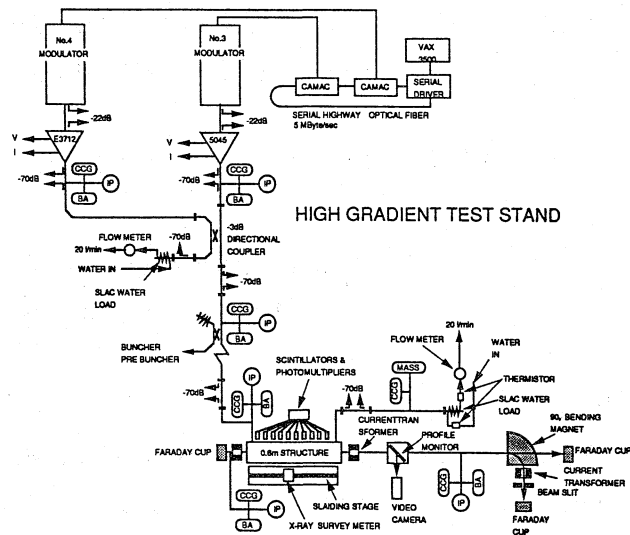


図 1 高電界試験装置概要

#### 4. まとめ

製作工程の防塵と清浄化を行なった加速管は暗電流が 1 桁から 2 桁低くなり、RF プロセッシング時間の短縮化を可能にした。しかし、 $\beta$  値は不十分でありこれを低減することは重要である。これには、直ぐ出来る事として  $0.8 \mu\text{m}$  のディスク表面粗度は  $0.1 \mu\text{m}$  以下にし、更にビーム孔形状の工夫が必要である。

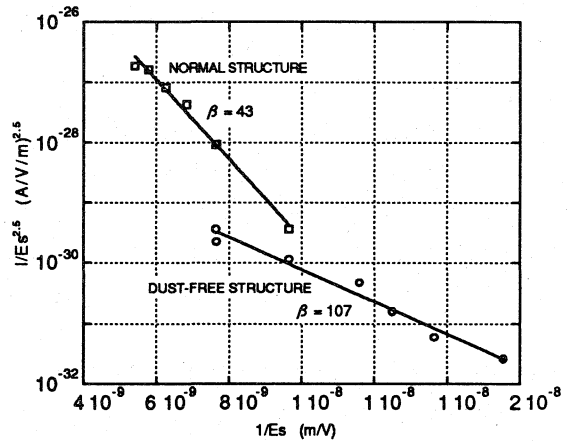


図 2 0.6 m 加速管の Fowler-Nordheim プロット

#### 4. 参考文献

1. E. Tanabe, "Breakdown in High-Gradient Accelerator Cavities", IEEE Trans. NS-30, No. 4, pp 3551, 1983.
2. J. W. Wang, "Some Problems on RF Breakdown in Room Temperature, A Possible Criterion", SLAC/AP-51, April 1986.
3. H. Matsumoto et al., "RF Breakdown Studies on an S-band Disk Loaded Structure", IEEE Particle Accelerator Conference, Washington, D.C., USA, March 16 - 19, 1987
4. G. A. Loew and J. W. Wang, "RF Breakdown and Field Emission", SLAC-PUB-4845, January 1989.
5. S. Takeda et al., "High Gradient Experiment by Accelerator Test Facility for Japan Liner Collider", Linear Accelerator Conference, pp.144-146, September 1990.
6. H. Matsumoto et al., "High Gradient of the S-band Electron Linac", Linear Accelerator Conference, pp. 629-631, September 1990.
7. S. Takeda et al., "High Gradient Experiments by ATF", Particle Accelerator Conference, May 1991.
8. H. Matsumoto et al., "Applications of Hot Isostatic Pressing (HIP) for a High-Gradient Accelerator Structure", IEEE Particle Accelerator Conference, San Francisco, CA, USA, May 6 - 9, 1991