

DEVELOPMENT OF THE S-BAND HIGH POWER RF LOAD (IV)

S. Morita and H. Matsumoto*

ATC Co., Ltd.

36-7, Namiki-cho, Hachioji-shi, Tokyo, 193, Japan

*KEK National Laboratory for High Energy Physics

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305, Japan

ABSTRACT

A dry type high power rf-load using SiC dielectric material was successfully operates up to the 50 MW of peak an input rf-power with 1 μ sec of pulse width and 50 pps of petition rate. An input VSWR of rf-load obtained less than the 1:1.05 at the maximum operation . The vacuums base pressure of the rf-load raised from 1x10⁻⁶ Pa (no rf-power) to 2x10⁻⁶ Pa(maximum). It was confirmed that there are no break downs within the above rf-level with very stable vacuum pressure level.

S-バンド大電力高周波ロードの開発 (IV)

1、はじめに

リニアコライダの開発研究を目的に、試験加速器装置 (Accelerator Test Facility, ATF) の建設が高エネルギー物理学研究所で進められている。ATF ダンピングリング 1.54 GeV の S-band 入射器は、1995年 9月の運転開始を目標に準備を進めている。

ATF リニアックは 3m 長の進行波型加速管を 19台使用し、約 1.54 GeV のビームエネルギーを達成する。これらの加速管の終端器として、ピーク RF電力 50MW, 1 μ sec, 25pps 高周波ロードを開発した。本稿では、大電力試験の結果について報告する。

2、大電力高周波ロードの特徴

本機の特徴は標準的な真空用導波管の利用と単純形状のSiCを組み合わせて、量産性と信頼性を向上させたものである。SiCロードの構造は図1に示したように標準的な真空仕様の無酸素銅導波管 (WRJ-3, 7.21cm x 3.4cm)の狭面に円柱状のSiC (φ 2cm)をロー付けにより固定し、真空中での使用を可能とした。SiCの冷却は重要であるが、ここではSiCを固定した導波管(3mm厚)の狭面外側に冷却水が流れる間接的な冷却方式として、真空中への漏水を防止する構造とした。入力インピーダンス整合ならびに進行方向のマイクロ波吸収カーブ

は隣り合うSiCの間隔と導波管内への突き出し長さの組み合わせで最大電力時に於いてもSiCの温度上昇が、ロー付け面と先端の温度差 (ΔT) が30℃以内でVSWRが1.1以下を目標に設計した(参4)。表1には主な仕様を示す。

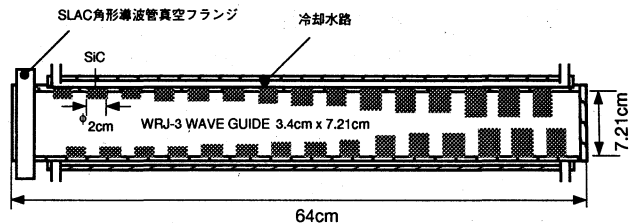


図1 SiC高周波ロード

表1 高周波ロードの仕様

最大入力電力	50 MW
入力パルス幅	1.0 μ sec
パルス繰り返し(最大)	50 pps
入力 VSWR (最大電力入力時)	< 1.1
冷却方法	間接冷却 > 10 Q/min
全長	640 mm
本体材質	無酸素銅 (OFC)
フランジ材質	SUS 304

3、電力試験

図2に示した回路構成により大電力試験を行った。高周波電力源には最大電力85MWが出力可能なクライストロン(東芝製E3712)を使用した。入射及び反射電力は導波管に取付けた-70dBのベータホールカップラによりモニターし、反射波電力はインターロックにも使用した。真空度の測定はBAゲージを用い、CCGはインターロックに使用した。RFプロセッシングを開始する前とその途中での放出ガスの変化をマスアナライザーで計測した。更にSiCロード内部の放電を検出する為にプラスチックシンチレーターを使用した。又、目視での内部観察には入力側に窓付Hコーナー導波管を使用した。

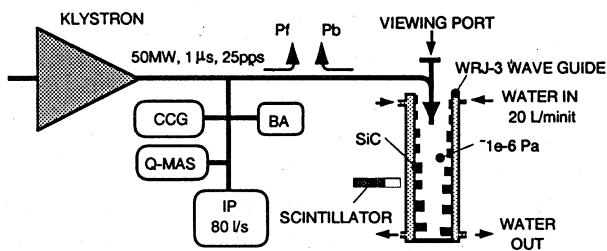


図2 電力試験回路

図4には入射電力に対する入力VSWRを示す。入射電力が上昇しても反射電力増加の無い事からも、放電が無く非常に安定である事が分かる。電力の上昇でVSWRがわずかに下がっているのはエージングの効果によるものである。

RFプロセッシング開始から最大電力に至る残留ガスの変化を5MW毎に計測したデータを図5に示す。入射電力を増す毎にH₂Oが分解されて減少し、H₂及びCOが増加している事が分かる。残留ガス成分の傾向はATFで使用している真空導波管と同様であり、SiCの分解による残留ガスは検出されなかった。

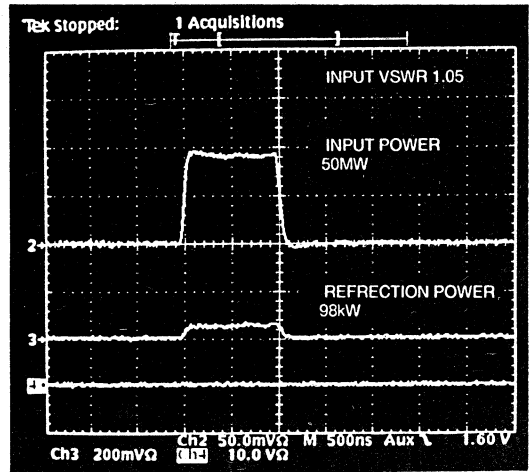


図3 50 MW入力での入射と反射波形及びシンチレータ波形

4、試験結果及び考察

RFプロセッシングは導波管内真空到達圧力がBAゲージの値で 1×10^{-6} Paで開始した。最初はクライストロン出力のパルス幅を $0.5 \mu\text{sec}$ 、繰り返しを12.5 ppsで開始した。クライストロン出力は順次真空度が 1×10^{-5} Paを越えないように上げながらピーク電力54 MWまで行ない、真空度が 3×10^{-6} Paで安定に動作する事を確認した。

次にパルス幅を $1 \mu\text{sec}$ に広げ、パルス繰り返しを25 ppsに増し再度電力をゼロから開始し同様のプロセッシングを行った。200時間の運転後にピーク電力50 MW, $1 \mu\text{sec}$, 25 ppsに到達した。この時の入射電力と反射電力波形及びシンチレータ波形を図3に示す。最大入力時(50 MW, $1 \mu\text{sec}$, 25 pps)の反射波形は入射波形と同じであり放電などが発生していない事が分かる。更にシンチレータの反応も全く無く、安定している事が確認出来た。この時の真空度は 2×10^{-6} Paで非常に安定であり、更に入射電力のONとOFFでの真空度の変化は非常に小さく、SiCからのガス放出量は非常に少ない事が分かった。

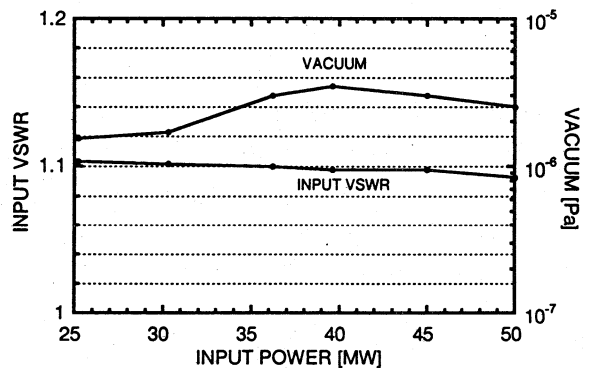


図4 入射電力に対する入力VSWR及び真空度の変化

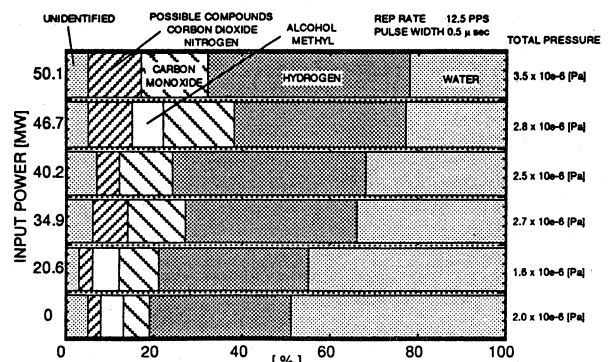


図5 入射電力に対する残留ガス比率の変化

図6にはベータホールよりモニターしたピークパワーメータでの測定電力値と高周波ロード冷却水の温度上昇より(1)式で熱量計算した電力値の比較を示す。

$$P = V \times \Delta T / 0.239 \quad (1)$$

ここで、Pは電力[W]、Vは単位時間の冷却水循環量[cc/sec]、1ジュールは0.239カロリー、 ΔT は入口と出口での温度差[$^{\circ}\text{C}$]である。40 MWの時には熱量計算値が0.5%高く、25 MWでは逆に3%低い値となった。これら誤差は冷却配管の断熱が十分でない為と考えられるが、パワーメータやベータホールカプラの誤差も含まれている。

クライストロン変調機電源の都合で、本実験では50 pps 運転が不可能な為、SiCロードの冷却水量を減らして、SiCの熱負荷を等価的に50 ppsになる様に試験を行った。図7にそれらの結果を示す。59.7MW, 1 μ sec, 25pps で入射電力一定にて、冷却水量を約50 l/minまで減少したが、真空度及び反射電力の変化は無く非常に安定で運転可能である事が分かった。

5、まとめ

3m長進行波型加速管のRF電力終端用に開発した間接水冷型 SiC ロードは、製作仕様である最大入射電力 50MW, 1 μ sec, 25ppsでの安定な動作を確認する事が出来た。今回は時間の制約により200時間程度の試験運転で終了したが、今後50ppsまでの試験をする予定である。又、SiCとOFHC銅のロー付け等にも何ら問題が無い事も確認した。今年9月のATFリニアック運転には今回開発したロードを使用する。

謝辞

KEK リニアコライダのATFR&Dグループの方には有益な議論をして頂きました。又、SiCのロー付け及びロードの製作には三菱重工(株)名古屋航空宇宙システム製作所に大変御世話になりました。電力試験回路及び冷却系の組み立てには(有)創エンジニアリングに協力して頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

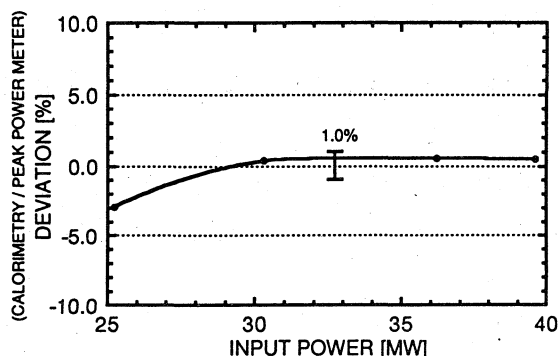


図6 パワーメータに対する冷却水温度熱量計算の比較

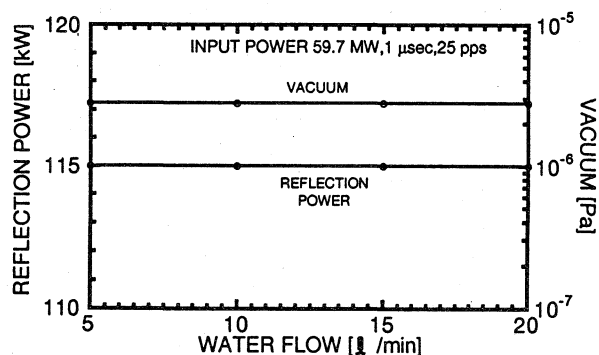


図7 冷却水流量変化による反射電力及び真空度の変化

参考文献

1. H.Matsumoto et al., "APPLICATION OF THE SiC CERAMICSE FOR MICROWAVE ABSORBER", Proc. 第8回リニアック研究会
2. H.Matsumoto et al., "APPLICATION OF THE SiC CERAMICSE FOR MICROWAVE ABSORBER", Proc. 第9回リニアック研究会
3. H.Matsumoto et al., "DEVELOPMENT OF THE S - BAND HIGH POWER RF LOAD", Proc. 第16回リニアック研究会
4. S.Morita et al., "DEVELOPMENT OF THE S - BAND HIGH POWER RF LOAD (II)", Proc. 第17回リニアック研究会
5. S.Morita et al., "DEVELOPMENT OF THE S - BAND HIGH POWER RF LOAD (III)", Proc. 第18回リニアック研究会