

H. Matsumoto, I. Sato, J. Tanaka, K. Takeda,
M. Watanabe*, A. Okuno* and Y. Iino**

National Laboratory for High Energy Physics

* NGK Spark Plug Co., Ltd.

** Mitsubishi Heavy Industries Ltd.

ABSTRACT

SiC ceramics have excellent properties as an rf absorber. Such SiC ceramics are available for use at high temperature and have low outgassing in vacuum. The load element was direct cooled by water. Rf absorber were tested at power levels of 10 MW peak (4 μ sec, 50 pps constant) with VSWR achieved less than 1.05. Vacuum leak occurred at SiC ceramics after 8 hours high power test. The cause of the vacuum leak has not been explained.

1. まえがき

加速器に関連した、電波吸収体として炭化珪素セラミックス(SiC)は、吸収特性が良好である。又、SiC自体が緻密質で真空中でのガス放出量が小さい。さらに高温下(約1200°C)に置いても組織が破壊しない等の優れた特性を有している。放射光実験施設入射器用ライフックに於いて、電力分割器用と加速管用の電波吸収体として採用し、現在まで一度の故障も無く良好に稼働している。SiCもSバンド帯のライフックの電波吸収体としての最大の利点は、軽量コンパクトに出来る事に在る。さらに、現在ある水質荷等と比較して価格的にも低く、周辺設備等を考慮するとかなりの価格差になると思われる。現在、SiCの電波吸収能力は、8MWピーク(4 μ sec, 1PPS), 300W(連続波, VSWR \leq 1.2)程度である。素材自体の能力は十分あるので、使用方法を工夫する事で能力向上は可能である。SiC温度上昇と電波吸収能率の逆比例し、その変化も比較的大きい事が明らかである。今回、SiCの冷却方法を変更して供試体に於いて電力試験の中間結果について報告する。

2. SiC電波吸収体構造

今回試験に用いたSiCは、電波吸収に伴う温度上昇を低くする為、砲弾形SiCの中心に10中程度の水路パイプの6中程度のパイプを挿入して冷却水がリターンする方法を行った。

これによりSiCは直接水で冷却される事になり、現在使用中の間接冷却方式に比べ大きな改善が見られた。Photo 1に間接冷却方式、Photo 2に今回試験に用いた直接冷却方式を示す。

Photo 2は、電力試験を行う際の吸収体周りの全構成部品で、左上が吸収体を収納するWRJ-3導波管、右上がSiC本体、その下が真空ツール用(左側)アルミニウムヘリコフレックスガスケット、右横が冷却水用銅ヘリコフレックスガスケット、中段両側は冷却水路固定兼統手金具、中央は、6中パイプ冷却水路で残るボルトは、それらの固定である。図1にSiC寸法を示す。

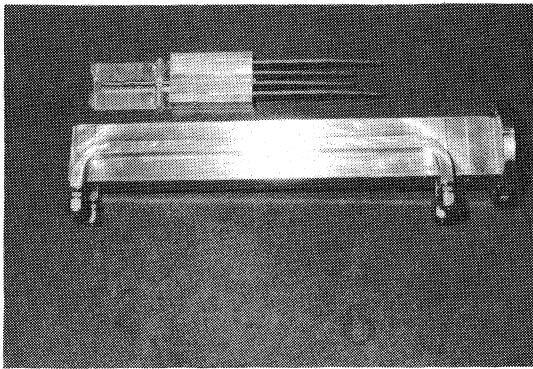


Photo 1. 間接冷却方式電波吸収体

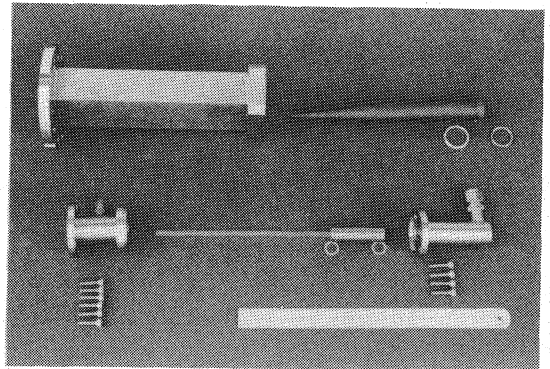


Photo 2. 直接冷却方式電波吸収体

SiC寸法は、全長は現在製作可能である最大長で、直線部の径は耐放電と電波吸収量との妥協点で決定した。テーパ部は入力VSWR ≤ 1.05 を満す様に決定した。又、水路径は $5\text{Kg}/\text{cm}^2$ 時、 $6\text{L}/\text{min}$ 以上ある様に決定した。水ハンマ等による機械破損に対しては $15\text{Kg}/\text{cm}^2$ を保障している。

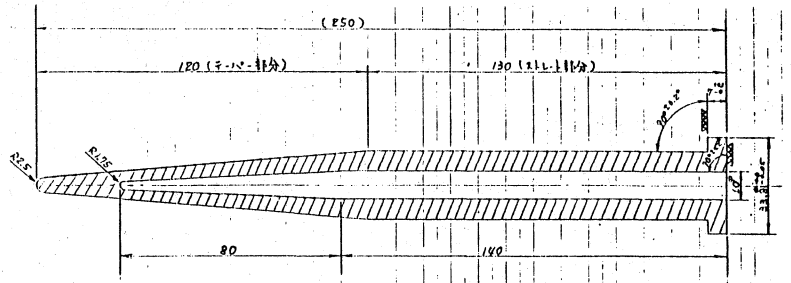


Fig. 1 SiC電波吸収体寸法

3. 試験装置概略

Fig. 2は、高周波源とその計測器、及び真空関連装置の概略である。SiCは導波管最後尾に位置し、真空で運転され $6\text{L}/\text{min}$ の水で冷却する。KLYSTRON出力レベルに伴うSiCの観測は結合器からの検波波形とKLYSTRON出力端バンド部に設けた窓からの目視観察で行った。

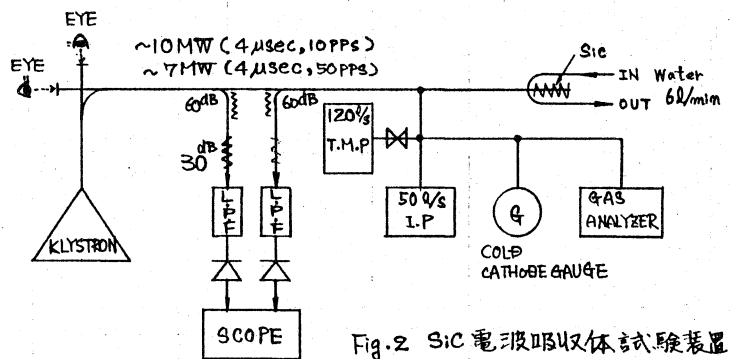


Fig. 2 SiC電波吸収体試験装置図

KLYSTRON出力とVSWRの計測は、予め水負荷で校正したビデオ検波器の値から求めた。運転中の導波管内の真空度と質量は、時々COLD CATHODE GAUGEと質量分析装置で記録した。

4. 試験結果

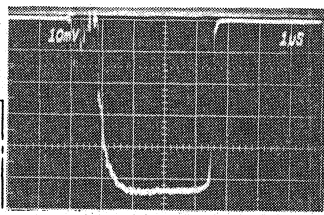
1) 放電限界

10MW 、 $4\mu\text{sec}$ 、 10PPS で放電等の異常は、目視、検波波形ともに観測しなかった。今回の試験では、耐放電を 5MW としたので良好な結果である。間接冷却方式の場合、 8MW 程度で不安定になるが砲弾形状のSiCは非常に安定であった。これは、SiC温度上昇が小さく電波吸収量が安定している事と砲弾形状による滑らかさの相乗効果と判断している。

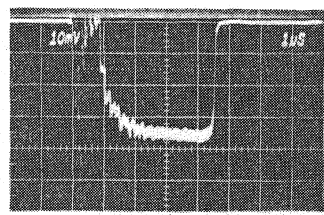
Photo. 3, Photo. 4に検波波形を示す。

Photo. 3

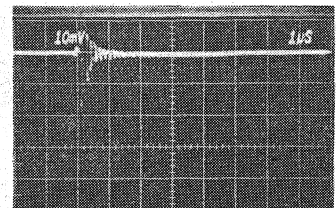
VSWR \approx 1.05
 b), c) は ATT \approx 30dB と 0dB の場合で、 P_f と同様の条件で計測すると P_b は非常に小さい事が解る。
 又 10MW 時においても検波波形は安定している。



a) P_f 5.4MW, 50pps
 ATT 30dB



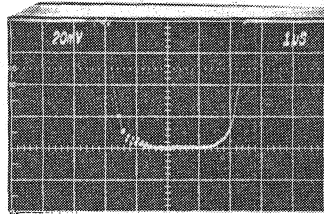
b) P_b , ATT \approx 0dB



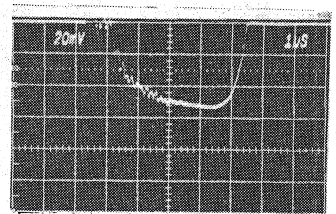
c) P_b ATT 30dB

Photo. 4

VSWR \approx 1.05



a) P_f 10MW, 10pps
 ATT 30dB



b) P_b ATT 0dB

2) 電力限界

平均電力に換算して 1.4 kW (7MW, 4μsec, 50pps) まで試験したが電波吸収状の変化は観測されなかった。これは間接冷却方式に比べて大きな改善である。直接冷却方式に於ける耐電力の改善は、SiC の温度上昇が低く保たれた結果である。Fig.3 に供給電力と電波吸収特性の関係を示す。又、Photo.5 に平均電力 1.4 kW 時の検波波形を示す。

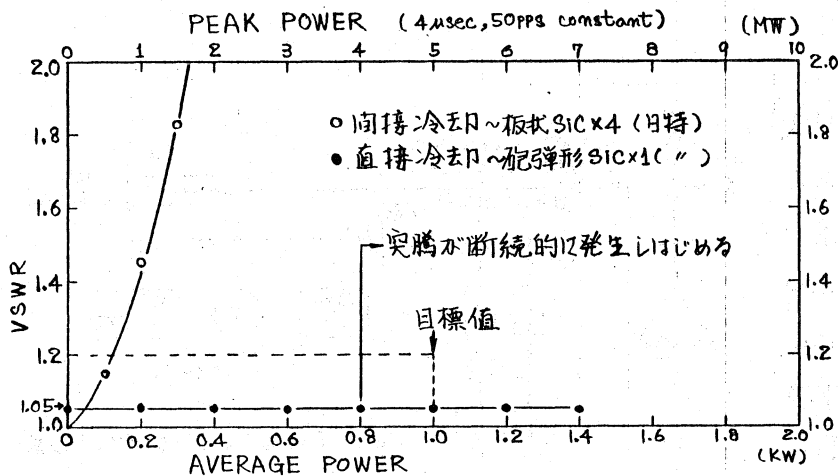
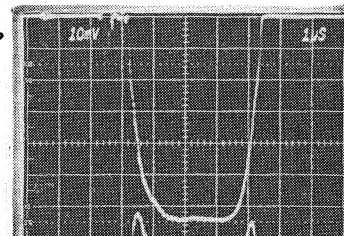
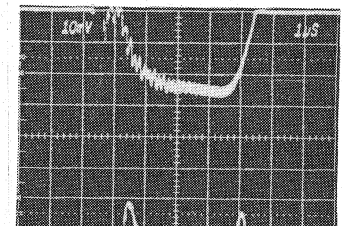


Fig.3 供給電力と電波吸収特性



a) P_f 7MW, 50pps, ATT 30dB



b) P_b ATT \approx 0dB
 Photo.5 検波波形

平均電力 800W 程度から冷却水の突騰が断続的に発生し、頻度は供給電力に比例している。これは Fig.2 から解る様に冷却水通路が先端部で細すぎる為である。

3) 真空中でのガス放出

KLYSTRON 出力が 200 ~ 800kW 程度で装置全体でのガス放出量は多いが 1MW 以上では問題にならなかった。電力試験 32 時間程度で、冷却水の突騰が原因で SiC 冷却水路部分が浸蝕し先端から 60mm 付近にピンホールと思われる真空リークが生じた。供試体を調査した結果ある程度のメカニズムは解明したが詳細については現在調査中である。