

DEVELOPMENT OF THE S - BAND HIGH POWER RF LOAD

H. Matsumoto and *A. Miura

National Laboratory for High Energy Physics

* The Graduate University for Advanced Studies

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

ABSTRACT

A new type microwave dummy load using SiC ceramics was developed for JLC S-band LINAC. It was tested up to input peak power of 12.4 MW with a pulse duration of 2μ sec at a maximum repetition rate of 50 Hz. Also it had a input VSWR of less than 1.18 at input power of 12.4 MW.

S - バンド大電力高周波ロードの開発

1. はじめに

高純度炭化珪素 (SiC) セラミックスは、ガスタービン等、熱機関の高効率化を目的に開発された材料である。筆者がマイクロ波特性を調査した結果、リニアック等の真空中で使用する大電力マイクロ波吸収体として、小型で吸収効率が高く、真空気密であり、温度上昇時にガス放出が非常に少ない等の優れた性質が明らかになった(参 1, 2)。この特性を利用し、小型でロー付を必要としない安価な入射電力 10 MW 級 (3.5μ sec、50 Hz) マイクロ波吸収体を製作した。開発当時、無酸素銅と SiC のロー付技術が未確立であり冷却は SiC 内部を直接水で循環する方式を採用した。SiC 破損による真空中への漏水事故が問題となるが、PF - LINAC に全数 (約 200 個) 使用され、無事故で 10 年を経過している。

Japan Liniar Collider (JLC) では S - バンド加速管 (3 m) 一本にピーク電力 150 MW、 1μ sec、150 Hz を入力し 40 MV/m の加速電場勾配で運転する予定である。この場合、マイクロ波吸収体にはピーク高周波電力約 50 MW、平均電力 7.5 KW が入力される。これは PF - LINAC の約 5 倍に相当するので、吸収体構造および冷却方法等の見直しが必要である。本稿では SiC をロー付固定し、水漏れの生じない間接冷却方式マイクロ波吸収体を開発したので報告する。

2. マイクロ波吸収体の構造

2-1 基本的な考え方

大電力マイクロ波吸収体の入射電力は進行方向に直線的に減衰することが望ましい。これは吸収体の電力吸収量を一定にして、局所的な発熱を防止するためである。今、図 1 のようにマイクロ波吸収体入口の電力を P_0 、吸収体長さ L 、長さ方向の任意位置を z とし、長さ方向の電力減衰量 $P(z)$ は、

$$P(z) = P_0 \cdot \left(1 - \frac{z}{L}\right) = P_0 \cdot e^{-2\alpha(z)z}$$

$$\alpha(z) = \frac{1}{2(L-z)} \quad (1)$$

となる。 $\alpha(z)$ は吸収体長さ方向の電力減衰定数である。(1)式で $z=0$ とおくと、 $\alpha(0) = 1/2L$ となり吸収体全長 L が決ることが分かる。 α はSiCのマイクロ波物性に依存し、その値は入射電力とSiC温度上昇の関係から決定する。

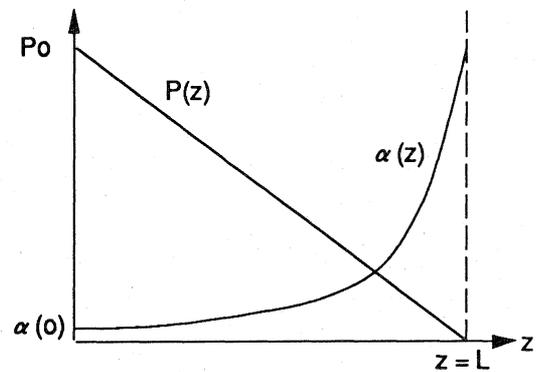


FIG. 1 ATTENUATION CURVE

2-2 形状決定の基本的な考え方

SiCは図2のように矩形導波管(WRJ-3)のH面から円柱($\phi 2\text{ cm}$)を突き出す形状とし、マイクロ波進行方向に管内波長(15.3 cm)の1/4間隔(3.83 cm)に配列する。

対向面は管内波長の1/8(1.92 cm)ずれた対称構造とする。最初のテーパはインピーダンス整合部で、次の一様配列部が主吸収体となる通常のインピーダンス整合方法を採用した。導波管の低電場部H面でSiC底面をロー付により固定し、冷却は導波管壁(銅5 mm)を隔てたジャケット部に水を流す構造とした。

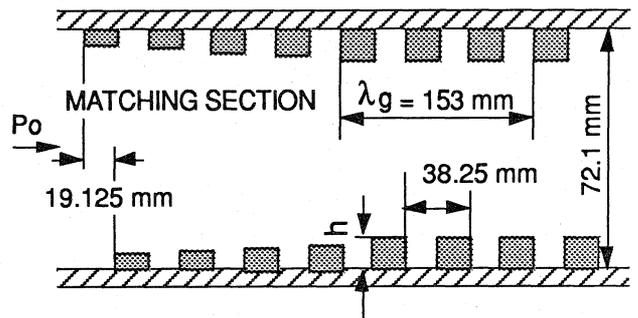


FIG. 2 SiC LOAD STRUCTURE

2-3 熱計算の基本的な考え方

図3のように、SiC温度上昇は先端からロー付側に一方向に流れるものと考えて、一次元熱伝導方程式(参3)から計算可能である。今、SiC先端温度 T_0 、単位体積当たりの熱量 Q 、熱伝導率 δ 、SiC長さ L での温度 T_L は

$$T_L = T_0 - \frac{1}{\delta S} \cdot \int_0^L Q dx = T_0 - \frac{Q}{\delta} \cdot \frac{L^2}{2} \quad (2)$$

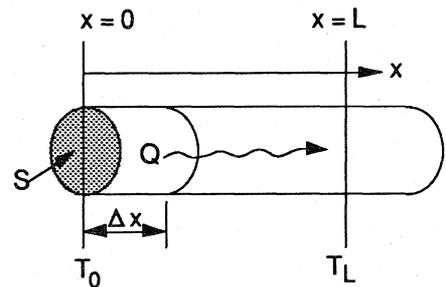


FIG. 3 HEAT SLOPE

で与えられ、単位体積(cm^3)の熱量(Q)をSiC長さで積分することで求まる。ここで $T_L = T_{\text{water}}$ とすればSiC先端温度 T_0 は

$$T_0 (\text{C}) = \frac{Q}{\delta} \cdot \frac{L^2}{2} + T_{\text{water}} \quad (3)$$

となる。ここでの Q は表面積 S (cm^2) $\times \Delta x$ を通過する単位時間当たりの熱量 (W)、 dT は距離 Δx 間の温度差 ($^{\circ}\text{C}$)、 δ はマイクロ波吸収体の熱伝導率 ($\text{Joul/sec} \cdot \text{cm} \cdot ^{\circ}\text{C}$)、 T_{water} は冷却水温度 ($^{\circ}\text{C}$) である。減衰定数 α の吸収体について、入射電力と SiC 先端温度を決めれば、(3) 式 Q の導波管内電場分布を考慮した計算を行い吸収体全長を求めることができる。

3. 試験結果

今回の実験は、SiC 発熱によるロー付部の評価が主目的である。本機は、入力 VSWR、吸収体全長等の最適化は行っていない。クライストロン出力および VSWR は 2 個のベータホールカプラで測定し、真空度は CCG 及び BA ゲージにて測定した。吸収体の放電は H コーナー導波管窓より目視観測した。マイクロ波吸収体冷却水量は毎分 15 リットルとした。図 4 (a) に入射電力と入力 VSWR、(b) に真空度との関係を示す。

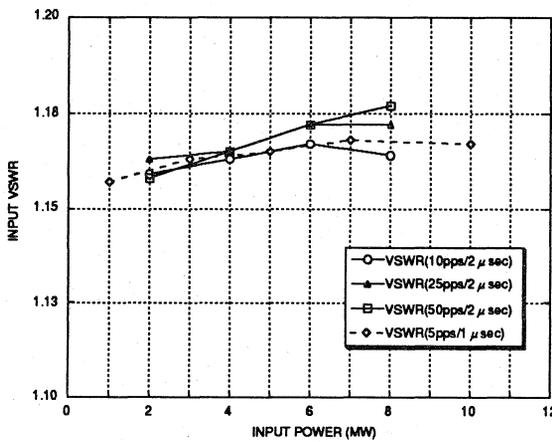


FIG. 4 (A) CHARACTERISTICS OF THE INPUT VSWR

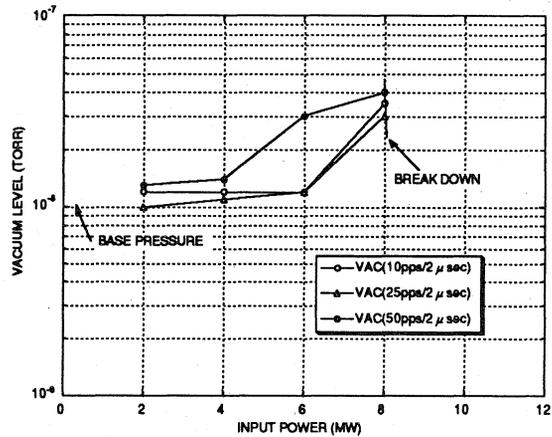


FIG. 4 (B) VACUUM CHANGE DEPENDS ON INPUT POWER (MW).

低電力時 VSWR = 1.16 の吸収体は電力の増加に伴い緩やかに悪化し、真空度は放電開始点で急変することが分かる。この放電はマッチング部先頭から 2 個目の SiC ロー付部で生じた。ヒートサイクルによる SiC の脱落等のトラブルは無く、ロー付技術の信頼性は評価できることが分かった。現在、MAFIA 等を利用し、内部の電磁場分布を詳細解析し、最終形状の決定作業を進めている。

4. 参考文献

1. H. Matsumoto et al., "APPLICATION OF THE SiC CERAMICS FOR MICROWAVE ABSORBER", Proc. 第 8 回リニアック研究会
2. H. Matsumoto et al., "APPLICATION OF THE SiC CERAMICS FOR MICROWAVE ABSORBER", Proc. 第 9 回リニアック研究会
3. 萩 三二 著, "熱伝導の基礎と演習", 東海大学出版会