

DESIGN AND FABRICATION OF THE S-BAND HIGH POWER DUMMY LOAD AND 3dB DIRECTIONAL COUPLER FOR KEKB INJECTOR

Yasuhito IGARASHI*, Seiya YAMAGUCHI**, Takao OOGOE**, Zenzaburo KABEYA* and Atsushi ENOMOTO**

* Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Nagoya Aerospace Systems
10, Oye-cho, Minato-ku, Nagoya, Aichi, 455

** KEK, High Energy Accelerator Research Organization
1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305

Abstract

S-band high power dummy loads and 3dB directional couplers for the KEKB injector upgrade have been fabricated. The new dummy load using SiC was successfully operated at an input power of 7MW (4μsec, 50pps, SLED-mode). Input VSWR of the new 3dB directional coupler has been improved from 1.10 to 1.02.

KEKB 入射器用 S-バンド大電力無反射終端器 及び 3dB 方向性結合器の設計、製作

1. はじめに

KEK では 1994 年度から 5 年計画で B ファクトリー計画 (KEKB) を開始した。これに伴い 2.5GeV 電子ライナックを 8Gev に増強している。その増設部で用いる無反射終端器及び 3dB 方向性結合器の製造を行った。表 1 に各々に要求される仕様を示す。

今まで使用してきた無反射終端器は、砲弾型 SiC を吸収体として直接水冷しているが、SiC の破損による水漏れ事故の心配がある。そのため、JLC 用に開発された円柱状の SiC を用いた間接水冷型をもとに、コスト低減のため、長さを半分にする等の改良を加え、KEKB 用に再設計、製作した。

また、3dB 方向性結合器については、過去に製作された物について何台か測定した結果、VSWR が 1.10 近くあった。そのため設計を見直すことにした。

表 1-1 大電力無反射終端器の仕様

周波数	2856 MHz
平均電力	1.2 kW
入力電力	6 MW
パルス幅	4 μsec
繰り返し	50 pps
VSWR	1.1 以下

製作数 … 120 本

表 1-2 大電力 3dB 方向性結合器の仕様

周波数	2856 MHz
VSWR	1.05 以下
相対位相角	90 ± 1°
電力分配比	3.0 ± 0.15 dB

製作数 … 45 台

2. 大電力無反射終端器の設計、製作

2.1 主な特徴

新しく製作された大電力無反射終端器(以下、SiC ロード)の構造は、標準的な導波管(無酸素銅, 72.1mm × 34mm)の H 面に円柱状の SiC(20φ)をロー付けする。SiC は、SiC を固定した導波管の外側に水を流し、間接水冷する。JLC 用は 28 個の SiC ブロックにより、平均電力 2.5kW(50MW, 1μsec, 50pps)に対して安定に動作する能力を持っている。^[1~4] 一方、KEKB 入射器で使用する SiC ロードの仕様は表 1 に示したように、平均電力 1.2kW であり、JLC 仕様の半分以下である。したがって、コスト低減のために長さを短くする等の改良を加えることにした。

2.2 低電力試験

反射係数及び電力減衰カーブは隣り合う SiC の間隔(管内波長の約 1/4)と導波管内への突き出し量で決まる。突き出し量(初期値は電力がリニアに減少し、かつ電力吸収は SiC の突き出し量に比例すると仮定して決定した)の調整は、長さの異なる SiC を 15 種類用意して並べる組み合わせを変え、間隔調整は間にスペーサを出し入れした。使用する SiC の数はできるだけ少なく抑えたいので 7 列 × 2(14 個), 8 列 × 2(16 個), 9 列 × 2(18 個)について行った。f = 2856MHz での VSWR が、1.05 以下となるよう調整した結果を図 1 に示す。9 列 × 2(18 個)が全周波数にわたって VSWR が低いため、これを採用した。図 2 に KEKB 入射器用の SiC ロードを示す。

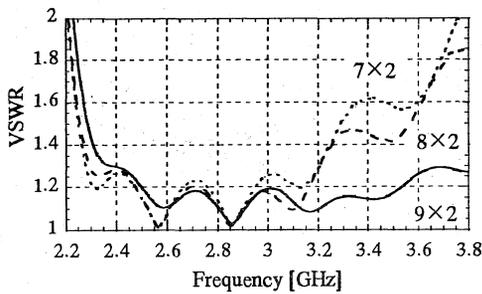


図1 調整後の VSWR.

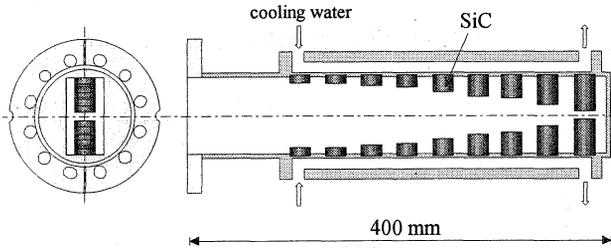


図2 KEKB 入射器用 SiC ロッド

軸方向電場分布は、非共振理論にもとづくヒース摂動法を用いて測定した(図3)。無理なくパワーが吸収されていることがわかる。

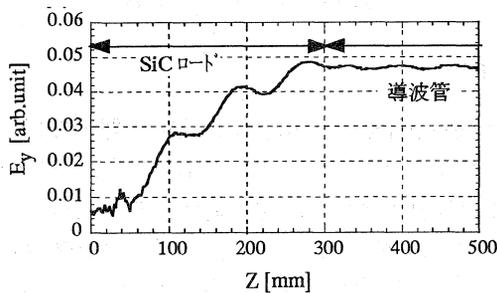


図3 軸方向電場分布.

次に、SiCの複素誘電率(ϵ_r , $\tan \delta$)のばらつきがどのくらい VSWR に影響するのかを調べるために、4 台分の SiC ブロック 72 個について測定を行った。その結果、 ϵ_r , $\tan \delta$ の標準偏差が 4.51, 0.04, VSWR の標準偏差は 0.01 であった。一方量産に使用する SiC の内、440 個をサンプリングして ϵ_r , $\tan \delta$ を測定し、標準偏差は、4.90, 0.05 となった(図4)。偏差による VSWR への影響は、少ないと思われる。

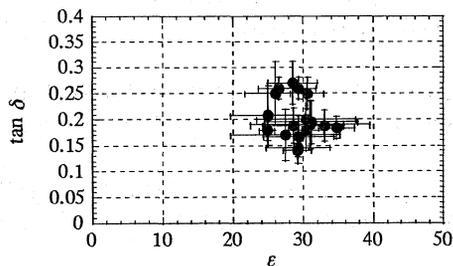


図4 SiC の誘電率.

2.3 大電力試験

図5に示すようにライナックの1加速ユニットの回路を変更して、大電力試験を行った。この加速ユニットは 40MW 級クライストロンと RF パルス増幅器(SLED)を RF 源として持ち、SLED から SiC ロッドまでの排気は、75l/sec のイオンポンプ B と 20l/sec のイオンポンプで行っている。圧力は各イオンポンプ近くの冷陰極電離真空計(CCG)で計測し、インターロックには 75l/sec 側の CCG を使用した。進行波及び反射波の測定は SLED の前後に付いているベータホールカップラー(60dB, 70dB)で計測した。また SiC ロッド前の H ベント導波管には観測用の窓を付けてあり、カメラで内部を観測できるようにした。なお、この試験に使用した SiC ロッドの低電力時の VSWR は約 1.11 であった。

試験はまず SLED を離調した状態で行い、70 時間程度で入力 1.4kW(7MW, 4μsec, 50pps)に達した。VSWR は約 1.14 であった。次に、離調棒を引き抜いてパルスを圧縮し、電力のピークを高めた状態で、再度電力をゼロから上げていった。約 40 時間で 1.4kW(7MW[ピーク電力 43MW], 4μsec, 50pps)に達した。その後 240 時間ほど連続運転をしたが、発光することもなく、圧力は 2.1×10^{-6} pa で安定していた。電力を入射しない場合の圧力は、 1.9×10^{-6} pa である。VSWR は約 1.14 であり、低電力試験時の値より大きい。これはパワーメーターやベータホールカップラーなどの誤差によるものと考えられる。

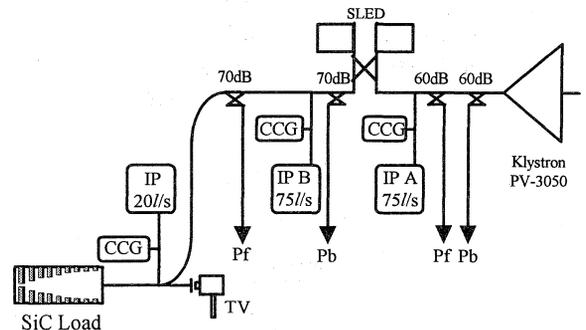


図5 大電力試験回路構成.

7 月末現在、SiC ロッドは約 50 本ほど量産しているが、VSWR の平均は 1.07 となった。図8に1例を示す。

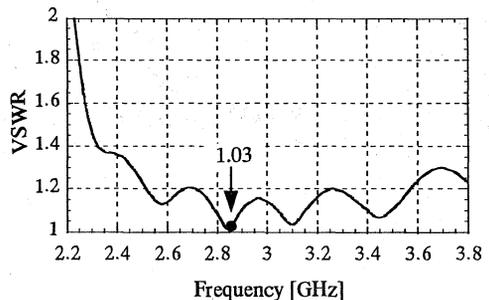


図8 SiC ロッドの VSWR.

3. 3dB 方向性結合器の設計、製作

既存の 2.5GeV ライックで使用されている 3dB 方向性結合器(以下、ハイブリッド)を図 9 に示す。B 改造では 45 台製作するが、過去に製作されたもの(製作時期不明)について何台か測定した結果、VSWR が 1.10 近くあったため寸法を見直すことにした。全長を変えてしまうと立体回路全体の寸法に影響してしまうため、図 9 の d (チューニングボタンの深さ)、t (ショートスロットの壁の厚み)、L (ショートスロットの長さ)の 3カ所について最適化を行うことにした。まず、HP HFSS(High Frequency Structure Simulator)による数値計算を行った。d、t、L の長さを変えて、port1 での VSWR ≤ 1.05 、port3-port2 での位相差 $90 \pm 0.5^\circ$ 、電力差 $\leq 0.1\text{dB}$ となるように追い込んでいった。計算結果を図 10 に示す。次にこの結果をもとに供試体を製作し、確認することにした。供試体の寸法は、t、L については計算で求めた値を使い、d については深さを 0.1mm 刻みで変えられるようにした。試験結果を図 11 に示す。実機の製作においては、最初の 6 台について供試体寸法を基準にボタンの深さを 20 通り用意し、EBW 等による歪みの影響を測定して最終的な寸法を決めた。7 月末現在、ハイブリッドは約 15 台ほど完成し、測定結果の平均は以下の通りである。また VSWR 測定の 1 例を図 12 に示す。

VSWR = 1.02
 相対位相角 = 90.2°
 電力分配比 = 3.08 dB

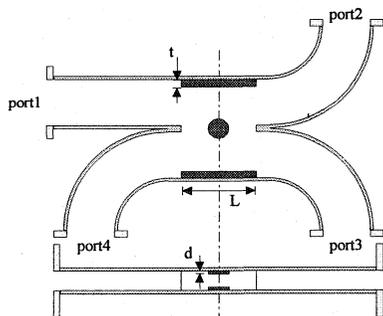


図 9 ハイブリッド

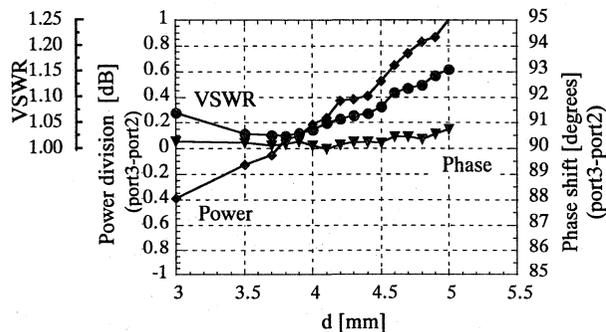


図 10 HFSS での計算結果。

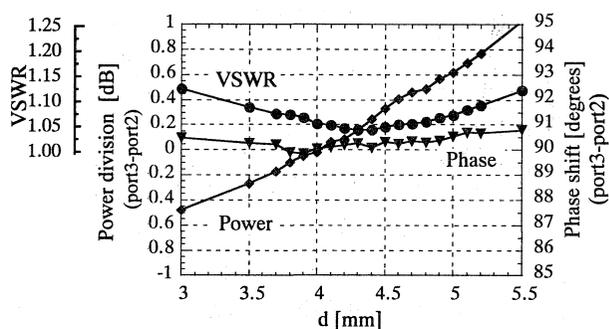


図 11 供試体試験結果。

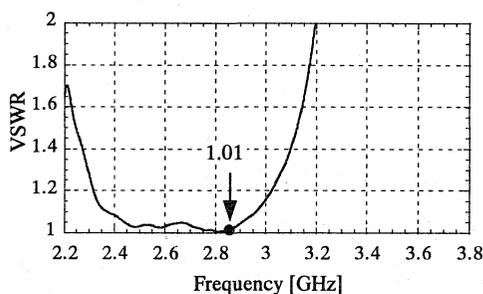


図 12 ハイブリッドの VSWR。

4. まとめ

無反射終端器及び 3dB 方向性結合器の設計、製作を行ったが、SiC ロードにおいては設計仕様を十分満たし、最大入射電力でも安定に動作することがわかった。また SiC が脱落することもなく、ロー付けの信頼性も評価できた。ハイブリッドについても、設計仕様を満たすことができた。

5. 謝辞

JLC 用に開発された SiC ロードを KEKB 用に再設計するにあたり、KEK の松本浩氏には多くの助言をしていただきました。ここに厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- [1] H. Matsumoto et al. ,“DEVELOPMENT OF S-BAND HIGH POWER RF LOAD”. 第 16 回リニアック技術研究会, 1991.
- [2] S. Morita al. ,“DEVELOPMENT OF S-BAND HIGH POWER RF LOAD (II)”. 第 17 回リニアック技術研究会, 1992.
- [3] S. Morita et al. ,“DEVELOPMENT OF S-BAND HIGH POWER RF LOAD (III)”. 第 18 回リニアック技術研究会, 1993.
- [4] S. Morita et al. ,“DEVELOPMENT OF S-BAND HIGH POWER RF LOAD (IV)”. 第 20 回リニアック技術研究会, 1995.