

# THE HIGH POWER TEST OF THE S-BAND PILLBOX TYPE RF WINDOW

A.Miura\* and H. Matsumoto

KEK National Laboratories for High Energy Physics

\* The Graduate University for Advanced Studies

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

## ABSTRACT

We report on the development of RF windows used to handle a high transmission power of up to 100 MW for the Japan Linear Collider (JLC). In order to obtain alumina disks with a porosity of less than 0.5%, a Hot Isostatic Pressing (HIP) treatment was employed. The power breakdown of alumina disks with different purities of 99.5 and 99.9 % after a HIP treatment were tested using an S-band resonant ring. An alumina disk window of ultra-high purity, without a TiN coating, has been successfully processed up to 200 MW with a pulse width of  $2.5 \mu\text{sec}$  and a repetition rate of 50 pps.

## S-バンドピルボックス型高周波窓の大電力試験

### 1. はじめに

現在、高周波電力100MW級(パルス幅 $4.5 \mu\text{sec}$ 、繰り返し50pps)を透過可能なピルボックス型高周波窓を開発している(参1)。高周波窓は数十MWの領域でアルミナの放電破壊が発生する。これはアルミナの局所的な放電及び熔融による貫通孔の発生や熱歪による亀裂で、その原因は古くから研究されているがまだ完全には解明されていない。これらの多くの研究から、破壊はアルミナ表面のマルチパクタによる局所発熱が主要因であり、これはTiNコーティング処理により効果的に抑制できることが明らかになった(参2、3)。しかしながら100MW級の高周波窓では、マルチパクタを抑制しただけでは破壊を防止できない。これはアルミナ内部の空孔や不純物等による構造欠陥が内部破壊の原因になっていると考えられる。従って、アルミナの破壊を防止するには表面のマルチパクタと内部構造(不純物、空孔等)について改善する必要がある。その一方でアルミナ内部の空孔及び不純物を効果的に除去するのは困難である。高純度、低空孔率のアルミナを得る手段としてサファイアを用いる方法があるが、均一な単結晶にするためには大きさに制限があり、非常に高価である。そこでアルミナの空孔率を減少させる技術としてHot Isostatic Pressuring (HIP) 処理を新たに導入した(参4)。また最近ではセラミック焼結技術の進歩により高純度アルミナ(99.9%)の焼結も可能となった。本稿では、純度の異なるアルミナについて同じHIP処理を行い、レゾナントリング(参5)を用いた破壊試験の結果について報告する。

### 2. HIP 処理した高純度アルミナの物性

通常のアルミナは粒径が数十 $\mu\text{m}$ の粉末を使用し、焼結を容易にするため微量のバインダー(MgO、SiO等)を添加している。この為アルミナ粒界には比較的大きな空孔が生じやすく、更にバインダーの種類により高周波損失が異なる。最近では粒径が $0.5 \mu\text{m}$ 以下のアルミナ粉末の製造技術と焼結技術が進歩したので、高純度アルミナ(99.9%)が製造可能になった。高純度アルミナは粒界間の隙間が少ないので、熱伝導度が増加し熱歪に強い。またアルミナの高周波損失は純度に比例して減少する。実験に用いたアルミナ(純度99.5%と99.9%)の熱伝導率及び誘電率を表1に示す。アルミナは内部空孔をさらに減少させる為、HIP処理を行う。HIP処理とは高温(1400度)、高圧(2000気圧)の不活性ガス中で、圧縮力によって高密度アルミナを得る方法

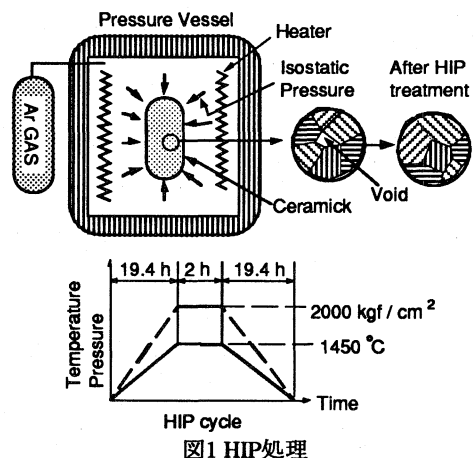


図1 HIP処理

である(図1、参4)。HIP 処理後は空孔率が減少するだけでなく、機械的強度も増加する。表2にHIP 処理前後におけるアルミナの物性変化を示す。またHIP 処理を行うと光を散乱させる空孔が除去され、アルミナの透光率が上昇して、不純物等の分布が黒雲のように見える。これにより不純物が局所的に集中しているアルミナを予め選別したり、部分除去することが可能となった。

### 3. 大電力試験

レゾナントリングは現在280MW までの励振が可能である。リングと高周波窓の整合はスタブ整合器及び位相器により行い、進行波及び反射波の電力は夫々-70dB のベテホール型方向性結合器により測定する。リング全周の温度は冷却水により $25 \pm 3$  度に保たれ、真空度は160 l/s のイオンポンプ3 台で $8 \times 10^{-9}$  Torr まで排気可能である。アルミナ表面の発光は高周波窓の上流、下流に設置した観察窓からイメージンテンシファイアを用いて観測した。アルミナの温度上昇は高周波窓の外壁に熱電対(Ar-Cr)を取付け間接的な測定をした。実験に用いた高周波窓の構造を図3に示す。これは田中 治郎、著者(松本浩)により開発されたもので、KEK-2.5GeV 線形加速器に全数使用されている。さらにヘリコフレックスにより真空遮断を行っているので、アルミナの交換が容易に行える。3 種類(#1~#3)のアルミナについて破壊試験を行った。全てのアルミナにはHIP 処理を行い、コーティングはしていない。サンプル#1、#2は純度99.5%で、不純物が均一に分布しているもの、集中しているものを夫々選んだ。サンプル#3は純度99.9%のアルミナで、不純物が均一なものを選んだ。破壊試験はパルス幅 $2.5 \mu\text{sec}$ 一定とし、繰り返し10、25、50ppsについて、真空度は放電時でも $1 \times 10^{-7}$  Torr 以下になるようにリングの励振電力を上昇させた。

### 4. 試験結果と考察

図3にアルミナの破壊電力を、図4に励振電力を変化させた時の高周波窓外壁の温度を示す。サンプル#1は同一箇所の局所放電による連続発光が増大し、大放電をした後破壊した。このアルミナの発光部分を光学顕微鏡で観察すると直径数十 $\mu\text{m}$ 程の溶融したピンホールが無数にあり、さらに数cmの亀裂を発見した(写真1)。これは図4中、最も高い温度上昇を示し、マルチバクタによる電子衝撃が熱源である。サンプル#2についてはアルミナ表面の局所放電が発生せず、#1程の温度上昇は見られなかったが、励振電力を増加したところアルミナディスクを寸断する亀裂が発生し破壊した。表面には溶融痕が見られないので、この亀裂は不純物及び空孔等による内部の局所発熱によるものと考えられる。不純物や空孔の非常に少ない超高純度アルミナ(#3)では局所放電は観測されず、温度上昇が最も小さく、最大電力200MW、繰り返し50ppsまで励振電力を上昇させることができた。これらの結果から高周波窓の破壊原因となる局所発熱はアルミナ表面のみならず内部にも存在することが明らかになった。高純度アルミナのHIP 処理で空孔率の減少や、又透光率が向上し不純物混入箇所の特定が容易となり、耐電力が向上することが分かった。

表1 純度によるアルミナの物性変化

		純度99.5%	純度99.9%
熱伝導度	cal/cm h °C	0.06	0.07
Tan $\delta$ (f=2853MHz)	$\times 10^{-4}$	13.0	3.0

表2 HIP処理前後におけるアルミナの物性変化

		HIP 処理前	HIP 処理後
空孔率	%	3.8	0.5
3点曲げ強度	kg/cm <sup>2</sup>	29.8	36.1
誘電率 (f=2853MHz)		9.4	9.7

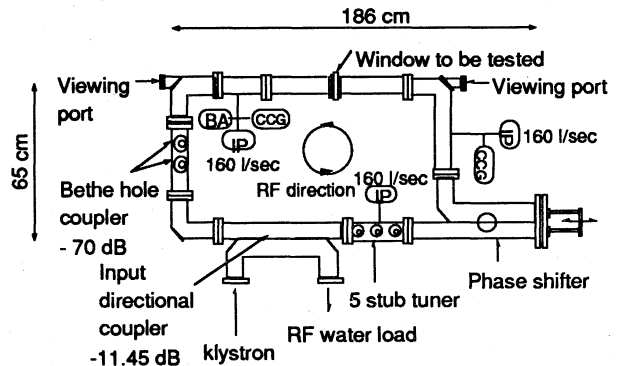


図2 レゾナントリングの構成

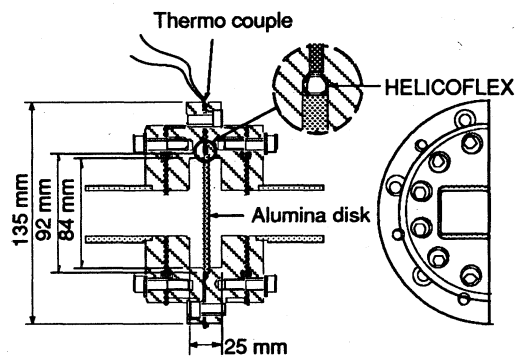


図3 高周波窓の構造

表3 最大入力電力

		#1(99.5%)	#2(99.5%)		#3(99.9%)		
最大電力	MW	201	204	113	200	280	200
繰り返し	pps	10	10	25	10	25	50
運転時間	min	5	420	5	1450	645	1200
破壊		貫通孔	無し	亀裂	無し	無し	無し

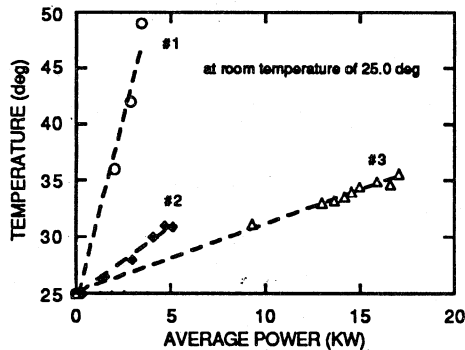
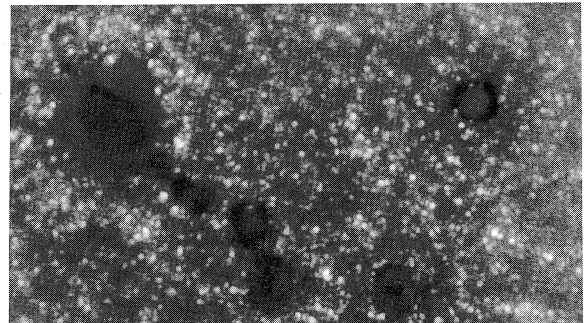
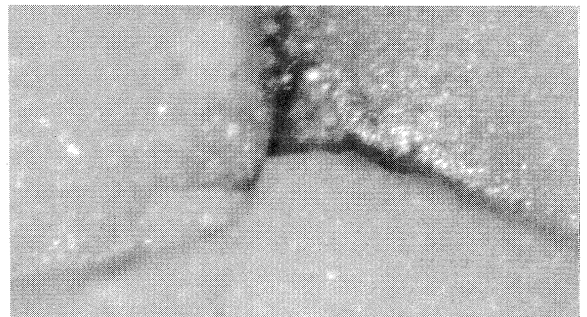


図4 高周波窓外壁の温度



(a) 50 μm



(b) 5 mm

写真1 破壊したアルミナ表面の顕微鏡写真  
(a) ピンホール、(b) 亀裂

## 5. まとめ

HIP処理で空孔除去した高純度(99.9%)のアルミナにおいてTiN コーティング無しで、最大入力200MW、パルス幅 2.5 μ sec、繰り返し50pps で安定に動作することを確認した。これはアルミナ内部の不純物及び空孔率が減少し、内部の局所発熱箇所が非常に少なかったためである。またHIP 処理をすることによりアルミナ内部の不純物及び空孔の分布が目視可能となり、使用前に性能評価が可能となった。しかしながら不純物及び空孔による局所発熱の詳細なメカニズムはこれからの研究課題である。

## 謝辞

アルミナの放電破壊に関して斎藤 芳男、道園 真一郎、新竹 積氏より多大な御指導を頂きました。HIP 処理及び高純度セラミックの開発には日本鋼管(株)及び日本セラテック(株)に大変御世話になりました。大電力高周波窓について日本高周波(株)より数多くの御指導を頂きました。またレゾナントリング試験にはATC(株)の森田 成基、松井 隆明氏に御助力を頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] A. Miura, H. Matsumoto and S. Yamaguchi, "Development of an S-band High-Power Pillbox-type rf window", Proceedings of the 16th Linac meeting, Tokyo, 1992
- [2] Y. Saito, N. Matsuda, et al. "Breakdown of Alumina RF Windows", IEEE Transaction on Electrical Insulation, VOL. 24 No. 6, December, 1989
- [3] Y. Saito, S. Yamaguchi, et al., "Breakdown of Alumina RF Windows", Proceedings of the 14th International Symposium on Discharge and Electrical Insulation in Vacuum, September, 1990
- [4] H. Matsumoto, M. Akemoto, et al., "Applications of Hot Isostatic Pressing (HIP) for High Gradient Accelerator Structure", IEEE Proceedings of Particle Accelerator Conf, May, 1991
- [5] L. J. Milosevic and R. Vautey, "Traveling-wave Resonators", IRE Trans. Microwave Theory and Technique, Vol. 6, pp. 136-143, 1958