

## 真空窓用アルミナセラミックの大電力試験

### HIGH POWER TEST OF ALUMINA CERAMIC FOR RF WINDOW

福住直貴<sup>#, A)</sup>, 三浦厚<sup>A)</sup>, 相澤修一<sup>A)</sup>, 篠原己拔<sup>A)</sup>, 谷内努<sup>B)</sup>, 鈴木伸介<sup>B)</sup>

Naoki Fukuzumi<sup>#, A)</sup>, Atsushi Miura<sup>A)</sup>, Shuichi Aizawa<sup>A)</sup>, Kibatsu Shinohara<sup>A)</sup>,

Tsutomu Taniuchi<sup>B)</sup>, Shinsuke Suzuki<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Nihonkoshuha.co.ltd

<sup>B)</sup> Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI)

#### Abstract

High power test of new alumina ceramic for S-band rf vacuum window was performed. In order to estimate performance of only ceramics, we used Helicoflex seal type rf window instead of vacuum brazing seal between metal and ceramics. This window was not damaged at peak power of 58MW, pulse width of 4 $\mu$ sec and repetition rate of 10pps from direct klystron output power. By using SLED (Stanford Linear accelerator Energy Doubler), it had also no damage at peak power of 330MW, pulse width of 1 $\mu$ sec and repetition rate of 10pps.

#### 1. はじめに

Sバンド大電力真空窓に使用していた実績がある日本特殊陶業株式会社製のアルミナセラミック(型名 HA-997)が製造中止になった。代替品として京セラ株式会社製のアルミナセラミック A479B に変更できるかを検討した。

代替品として選定した京セラ株式会社製のアルミナセラミックは、弊社では実績がないためSバンド真空窓用アルミナセラミックの大電力試験を行い、アルミナセラミック単体の耐電力を評価した。本稿では、その結果について報告する。

#### 2. アルミナセラミック材料の比較検討

アルミナセラミック材料の選定をする際に、本稿で選定した京セラ株式会社製の A479B 以外にも、他社製のアルミナセラミックを比較検討した。それぞれのアルミナセラミックの特性を Table 1 に示す。

Table 1 より、HA-997 の代替用に比較検討した三つのアルミナセラミックは、アルミナの純度、熱伝導率および、比誘電率が比較的同じ数値であることがわかる。しかし、 $\tan\delta$  を比較すると A479B が最も小さいことがわかる。これらの結果より、本稿では HA-997 の代替品として A479B を選定した。

Table 1: Characteristics of Alumina Ceramic

| Material Code                             | HA-997                   | A479B                | N-999                                | ADS-12                       |
|---|--------------------------|----------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Content[%] | 99.7                     | 99.8                 | 99.9 $\leq$                          | 99.5                         |
| Thermal Conductivity[W/m $\cdot$ K]       | 31                       | 29                   | 28.9                                 | 30.0                         |
| Dielectric Constant                       | 9.9                      | 9.9                  | 9.7                                  | 9.9                          |
|   | (f = 10GHz)              |                      | (f = 1MHz)                           | (f = 10GHz, 20 $^{\circ}$ C) |
| $\tan\delta$                              | $< 1 \times 10^{-4}$     | $0.4 \times 10^{-4}$ | $4 \times 10^{-4}$                   | $10.0 \times 10^{-4}$        |
|   | (f = 10GHz)              | (f = 8GHz)           | (f = 1MHz)                           | (f = 10GHz, 20 $^{\circ}$ C) |
| Supplier                                  | NGK SPARK PLUG CO., LTD. | KYOCERA Corporation  | NISHIMURA ADVANCED CERAMICS Co., Ltd | CoorsTek KK                  |

<sup>#</sup> nao\_fukuzumi@nikoha.co.jp

### 3. 真空窓の構造

本試験で使用した真空窓の構造を Figure 1 に示す。

真空窓の周波数は 2856MHz である。ピルボックス型真空窓の構造は、金属とアルミナセラミックを真空ろう付けで接合するタイプと、ヘリコフレックスシールにより気密をとるタイプの主に二種類がある。本稿では、ヘリコフレックスシールタイプの真空窓を選択した。真空ろう付けで接合するタイプの真空窓では、接合部のトリプルジャンクション(金属と誘電体と真空の接点)のろう材から電子が放出され易く、これにより放電が発生する[1,2]。したがって、本稿では、真空ろう付けのないヘリコフレックスシールタイプの真空窓を選択し、アルミナセラミック単体の耐電力を評価した。

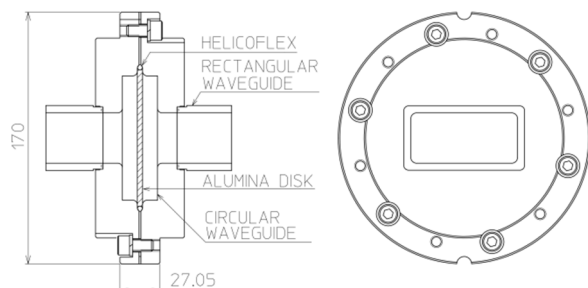


Figure 1: Structure of vacuum rf window.

### 4. 真空窓用アルミナセラミック大電力試験

#### 4.1 真空窓用アルミナセラミック大電力試験セットアップ

本試験では、二種類の方法で真空窓用アルミナセラミックの大電力試験を行った。はじめに、クライストロンから直接電力を入力する大電力試験を行った。次に、パルス圧縮装置である SLED(Stanford Linear accelerator Energy Doubler)を用いた大電力試験を行った。

SLED とは、SLAC で開発されたパルス圧縮技術の一種である。入手可能な高周波源のピーク電力には上限があるため、より高いピーク電力を得るためにはパルス圧縮が必要となる。SLED は 2 台の空洞共振器と、3dB ハイブリッドにより構成されている。SLED の動作原理は、クライストロンから出力された電力を、3dB ハイブリッドを通して空洞共振器に蓄積させ、クライストロンの出力パルス位相を 0 から  $\pi$  に高速反転させることで、ピークが高い電力を負荷側に出力する方法である[3]。

Figure 2, 3 に、クライストロンから直接電力を入力した場合と、SLED を用いた場合の真空窓用アルミナセラミック大電力試験のセットアップをそれぞれ示す。Photo 1, 2 には、それぞれの試験で使用した真空導波管路を示す。

本試験では、実装した真空窓の入出力および、反射

電力を測定するために、真空窓の入力側および、出力側に方向性結合器を設置し、アッテネータと検波器を通してオシロスコープにて測定を行った。また、真空導波管路の終端には、ウォーターロードを接続し終端させた。

なお、Figure 3 の SLED を用いた大電力試験では、ピーク電力を上げることを前提としていたため、方向性結合器の後方にマジック T を設置し、耐電力 100MW のウォーターロード 2 台で終端させた。

真空排気には、イオンポンプ 2 台を使用した。それぞれのイオンポンプを真空窓の上流側、下流側に設置し、CCG モニタにて真空度を確認しながら大電力試験を行った。Figure 2 の試験で使用したイオンポンプの排気速度は、真空窓の上流側が 100L/s であり、下流側が 30L/s である。また、Figure 3 の試験で使用したイオンポンプの排気速度は、真空窓の上流側が 45L/s であり、下流側が 30L/s である。

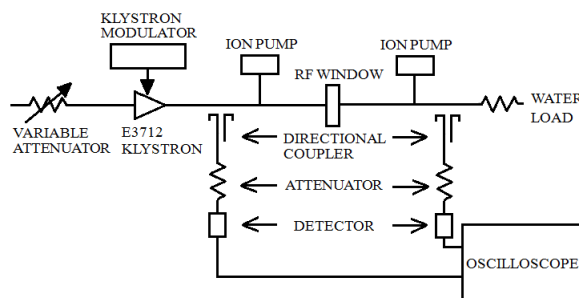


Figure 2: Set up of high power test (klystron output) for vacuum rf window.

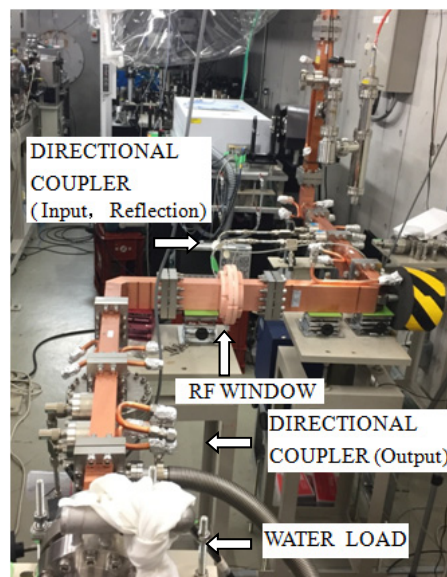


Photo 1: A photograph of high power test (klystron output) for vacuum rf window.

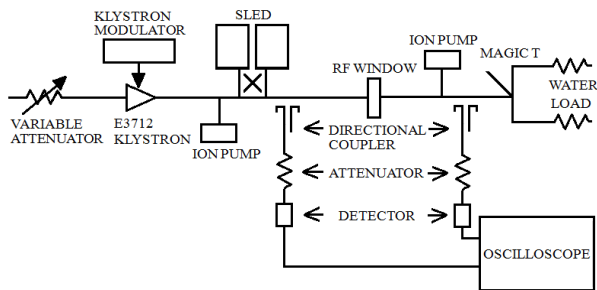


Figure 3: Set up of high power test (by using SLED method) for vacuum rf window.

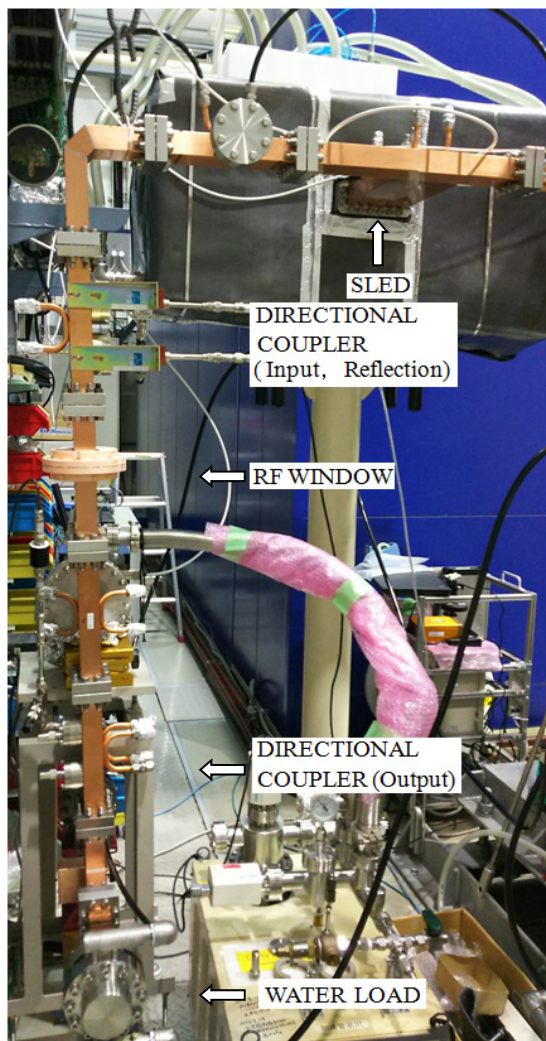


Photo 2: A photograph of high power test (by using SLED method) for vacuum rf window.

報告する。

クライストロンから直接電力を入力した大電力試験の結果、ピーク出力58MW、パルス幅4 $\mu$ sec、繰り返し率10ppsにおいて、アルミナセラミックが損傷しないことを確認することができた。また、エージングの様子は、数MW以下で多くのアウトガスを放出し、それ以上では比較的順調に電力を上げることができた。エージング後の真空度は、CCGモニタにて $1.4 \times 10^{-7}$ Paであった。

SLEDを用いたアルミナセラミックの大電力試験のRF波形をFigure 4に示す。またPhoto 3には、試験後のアルミナセラミックを示す。この試験の結果、ピーク出力330MW、パルス幅1 $\mu$ sec、繰り返し率10ppsにおいて、アルミナセラミックが損傷しないことを確認することができた。

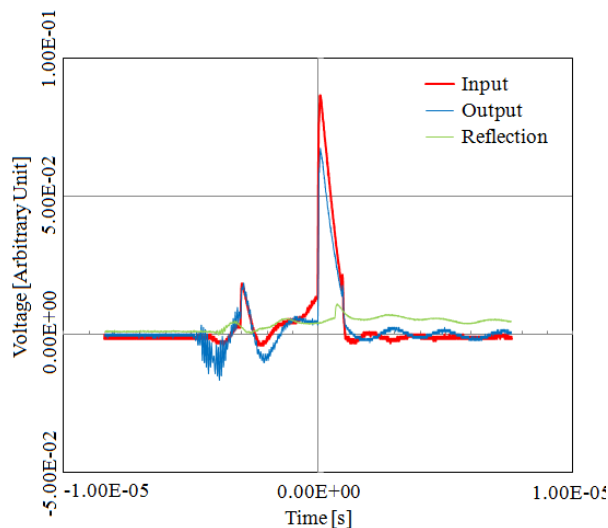


Figure 4: RF waveform of high power test by using SLED method.



Photo 3: A Photograph of alumina ceramic after high power test by using SLED method.

#### 4.2 真空窓用アルミナセラミック大電力試験結果

二種類の方法で行った大電力試験の結果について

## 5. まとめと今後

本稿では、アルミナセラミック単体の耐電力を評価するために、ピルボックス型ヘリコフレックスシールタイプの S バンド真空窓を製作し、大電力試験を行った。

その結果、クライストロンからピーク出力 58MW、パルス幅 4 $\mu$ sec、繰り返し率 10pps の電力を入力しても、アルミナセラミックが損傷しないことが分かった。また、SLED を用いて大電力試験を行った結果、ピーク出力 330MW、パルス幅 1 $\mu$ sec、繰り返し率 10pps において、アルミナセラミックが損傷しないことが分かった。

今後は、京セラ株式会社製のアルミナセラミック (A479B) を実装した S バンド真空窓について下記の試験・評価を行い、大電力で使用可能な製品として確立させる。

- 複数のセラミックを耐電力評価。
- 真空ろう付けタイプの耐電力評価。

## 謝辞

本大電力試験にあたり、JASRI および、マシン実験棟関係者の方々に多大なご尽力を承り、深く感謝申し上げます。また、京セラ株式会社の方々にも多大なご尽力を承り、深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] 斎藤芳男, “高周波放電と表面”, OHO'90 高エネルギー加速器セミナーテキスト, VIII-1-VIII-25, 1990.
- [2] 三浦厚, “リアコライダーの為の大電力高周波窓の開発”, 博士論文, 1993.
- [3] Z. D. Farkas *et al.*, “SLED: A METHOD OF DOUBLING SLAC'S ENERGY”, Proc. 9th Int. Conf. on High Energy Accelerators, P576-583, (SLAC, 1974).