

Design of an RF Window for L-band CW Klystron Based on Thermal-Stress Analysis

Seiya YAMAGUCHI¹⁾, Kenji KONASHI²⁾, Isamu SATO¹⁾ and Junji Ohshika³⁾

1) KEK, National Laboratory for High Energy Physics, Oho 1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305

2) The Oarai Branch, Institute for Materials Research, Tohoku University, Narita, Oarai, Ibaraki, 311-13

3) CRC Research Institute, Inc., 1-3-D17, Nakase, Chiba-shi, Chiba, 261-01

ABSTRACT

Design of klystron RF window has been performed based on a thermal-stress analysis for L-band CW electron linac for nuclear wastes transmutation. It was shown that the hoop stress for a modified disk is 46 % of that of normal disk. Thermal load test has been done which indicated that the modified disk is proof against power twice as much as that for the normal disk.

熱応力解析によるLバンドCWクライストロン用RF窓の設計

1. はじめに

動力炉・核燃料開発事業団では、核廃棄物消滅処理用大強度CW電子線型加速器の開発を進めている。[1] このような大強度CWリニアックにおいて最も重要な開発課題の一つは、大電力クライストロン(1.25GHz, 1.2MW)の開発であるが、クライストロンの大電力試験は、出力窓の破壊(熱応力によるクラック発生)により制限されている。発熱の原因としては、1)セラミック内部での誘電損失、2)セラミック表面でのマルチパクターのふたつが考えられる。マルチパクターはセラミック表面にTiN等の2次電子放出係数の小さい物質をコーティングすることにより抑制することができる[2]。ここでは、誘電破壊に強い窓を設計するために行なった、熱応力解析と熱負荷試験の結果について報告する。

2. 熱伝導、熱応力解析

ビルボックス型RF窓の構造を図1に示す。マイク

ロ波が通過する際、セラミックのディスクは誘電損失により加熱される。そうすると、外周部は水冷されているので、中心から外周部にかけて熱勾配が生じ、その結果、半径方向あるいは周方向に熱応力が発生する。ここでは、熱応力を軽減させるために、通常の形(半径95.25mm, 厚み5.0mm)とは異なる形(半径は通常型と同じで、板厚を外周で20mmになるように変化させる、図2参照)の窓について検討を加えた。

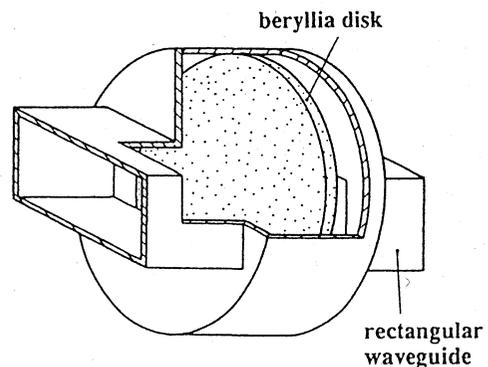


図1 ビルボックス型RF窓

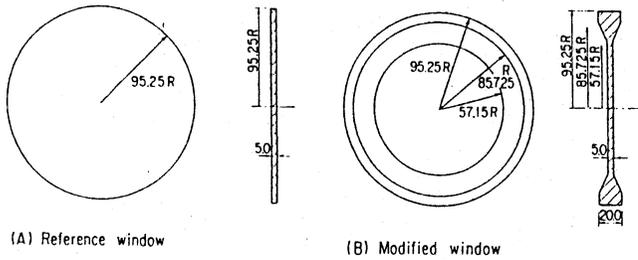


図2 解析モデル

セラミックの材質は、熱伝導率の大きいベリリアを選んだ。材料特性の温度依存性は無いと仮定した。窓の損失は、誘電損失によるものとし、計算で求めた電場分布をもとに、次式により単位体積当たりの発熱量 W を計算し、入熱条件とした。

$$W[w/m^3] = \frac{1}{2} \int_V \omega \epsilon_0 \epsilon_r \tan \delta E^2(x,y) dv$$

ここで、 ω : 運転角周波数($2\pi \times 1.25\text{GHz}$),

ϵ_0 : 真空の誘電率,

ϵ_r : セラミックの比誘電率(6.75),

$\tan \delta$: セラミックの誘電正接(8.0×10^{-4}),

$E(x,y)$: セラミック内の電界強度。

なお、 $E(x,y)$ の値はMAFIAにより計算し、軸(z軸)方向の変化は小さいとして、 $z=0$ の値を採用した。二つの伝搬モード、擬 TE_{11} および擬 TM_{11} モードのうち、後者の誘電損失への寄与は前者のそれに比べて無視できる(0.3%以下)ので、以下では擬 TE_{11} モードのみ考えることにする。 $E(x,y)$ の強度分布の計算結果を図3に示す。

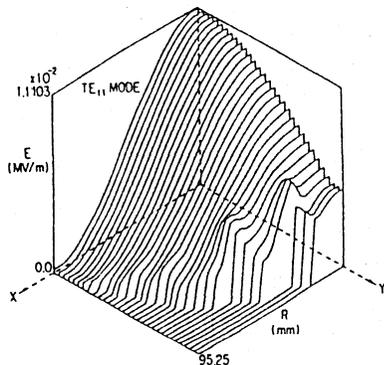


図3 セラミック中の電界強度分布(擬 TE_{11} モード)

熱伝導、熱応力の解析は、有限要素法による汎用非線形構造解析システムFINAS[3]を用いた。熱勾配および熱応力の軸方向成分は径方向成分にくらべて十分小さいとして無視した。したがって、2次元平面モデルとして扱う。対称性を考慮して、解析は、1/4円について行なった。

セラミックの外周部は一定温度(20°C)に保たれているとした。RF電力が1.2MWのときの温度分布の計算結果を図4に示す。また、Y軸に沿った温度分布を図5に示す。中心と外周の温度差は通常型、改良型で、それぞれ 78°C 、 56°C であった。

上で求めた温度分布をもとに、熱応力解析を行

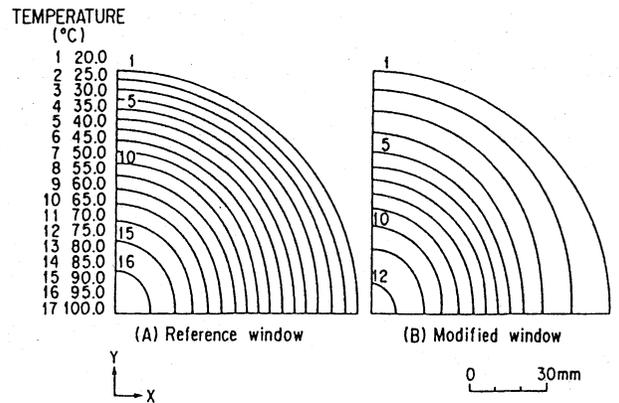


図4 セラミック表面上の温度分布(X-Y平面上)

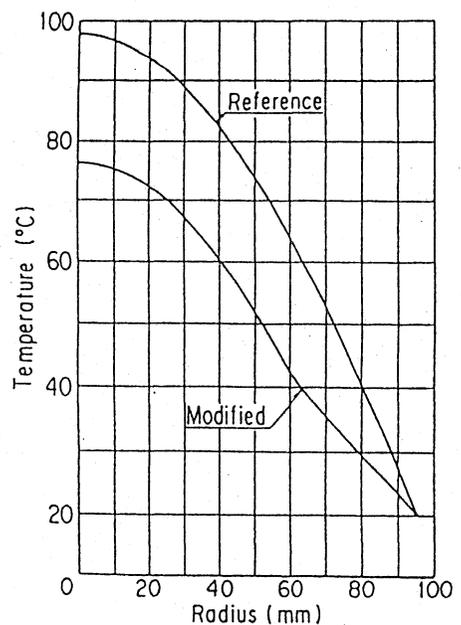


図5 セラミック表面上の温度分布(Y軸上)

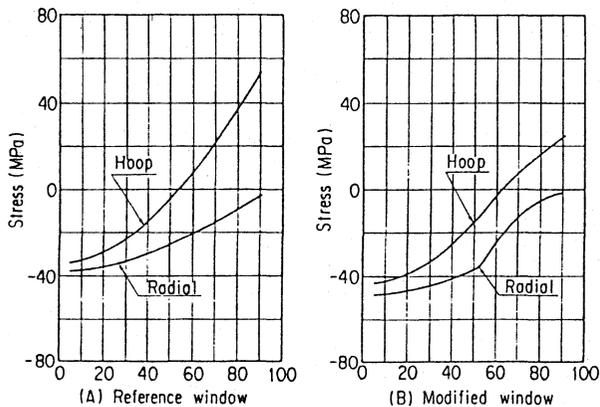


図6 応力分布

なった。境界条件は、X,Y軸に関しては対称であるとし、外周部は自由端条件とした。応力強さの勾配が大きいY軸上で応力成分(半径方向応力、円周方向応力)の分布をみると、図6のようになる。中心部の応力は、両成分とも圧縮側に作用し、外周部で、円周応力成分は、引っ張り側に作用している。通常型、改良型を比べると以下のことが言える。1)中心部の圧縮応力は、通常型、改良型それぞれ34 MPa、43 MPaと、改良型のほうが約26%大きい。2)外周の円周方向応力は、両型とも引っ張り応力であるが、通常型、改良型それぞれ54 MPa、25 MPaとなり、改良型の応力は通常型の半分以下となる。以上の計算結果から、改良型ディスクは、通常型ディスクの約2倍の電力を通過させることが可能であると考えられる。

3. 熱負荷試験

改良型窓の耐RF電力性能の向上を実証するために、熱負荷試験を行なった(アルミナを使用)。窓の加熱は赤外線ヒーターにより行ない、温度分布は、赤外線映像装置により測定した。また、窓の外周部は約25°Cの水で冷却した。図7に本試験装置の概略を示す。試験の結果、窓がわれたときの中心と

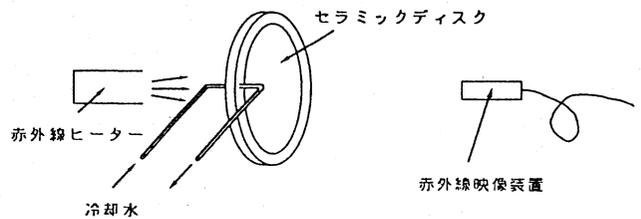


図7 熱負荷試験装置

外周の温度差は、通常型、改良型それぞれ252°C、473°Cとなり、改良型が通常型の約2倍の温度差まで耐えることがわかった。温度差は、RF電力に比例するので、改良型は、約2倍のRF電力に耐え得るといえる。

4. まとめ

大強度CW電子線型加速器用クライストロンのRF窓の耐RF電力性を向上させるために、セラミックの外周部を厚くした窓を提案した。熱伝導、熱応力解析の結果、改良型窓の熱応力は、通常型窓に比べて約半分になることが示された。また、熱負荷試験の結果、改良型窓は通常型窓の約2倍の温度までもつことがわかった。以上より、改良型RF窓は通常型窓の約2倍の電力に耐えられるものと期待できる。

参考文献

- [1] I. Sato, et al. : "Development of a CW Electron Linac Structure Using Travelling-Wave Resonant Ring", Proc. of the third European Particle Accelerator Conference, Technical University of Berlin, Germany, 24-28 March, 1992.
- [2] A.R.Nyaiesh, et al. J. Vac. Sci. Technol. A4, 5 (1986) 2356.
- [3] K. Iwata, et al.: "General purpose nonlinear analysis program FINAS for elevated temperature design of FBR components," PVP-Vol. 66, ASME, 1982, pp.119-137.