

High Power Test of L-band RF Window Using Resonant Ring

K. Hirano, T. Emoto, S. Toyama, M. Nomura, H. Oshita, H. Takei, N. Takahashi, Y. L. Wang
PNC, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

4002 Narita, Oarai-machi, Ibaraki-ken, 311-13

I. Sato, M. Ono, S. Fukuda

KEK, National Laboratory for High Energy Physics

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

S. Ito

Toshiba Corporation

1385, Shimoishigami, Otawara-shi, Tochigi-ken, 324

ABSTRACT

A pillbox RF output window of the L-band CW klystron has been designed and tested, which will be used for PNC 10MeV CW high power electron linac. The RF window withstands to 1.7 MW CW and 4.5 MW pulse(4ms long, 50Hz repetition).

レゾナントリングによるL-バンド高周波窓の耐電力試験

1. はじめに

大強度CW電子線形加速器用のマイクロ波源として周波数1.249GHz、目標出力1.2MW・CWの大電力クライストロンの開発¹⁾を進めている。これまでの結果では試作クライストロンを使用して、出力電力300kWが得られた。しかしながら、クライストロンの特性試験において窓の温度上昇が計算値の約2倍となる現象が発生した。そこで、その原因を調査し、窓が耐えることのできるRF電力を評価するために、レゾナントリングを用いてクライストロン窓の耐電力試験を行った。レゾナントリングでは還流部内の電力を投入電力の40倍に増幅させることができるので、この増幅作用を利用することにより窓試験に必要な1.2 MWのRF電力を作り出すことができる。試験はCWとパルスの2つのモードで行い、前者では3種類の窓を使用し、後者の場合は1種類の窓を使用した。

試験は高エネルギー物理学研究所に大電力RF試験用の体系を構築して行った。

2. 窓耐電力試験

2.1 試験窓

試験では3種類の窓を使用した。1つは性能比較のための、クライストロンの特性試験の際と同種の窓でピルボックス形状をしたベリリアの窓(今後ベリリアスタンダード窓と呼ぶ)である。残り2つはピルボックスの全長を約2倍にした形状の窓(今後ロング窓と呼ぶ)で、材質はベリリアとアルミナである(今後ベリリアロング窓とアルミナロング窓と呼ぶ)。試験に使用した窓の概略図及び寸法をそれぞれ図1及び表1に示す。このピルボックス内の電界の計算にはピルボックス型出力窓解析コード²⁾、

HFSS及びMAFIAコードを使用した。これら3種類の窓の設計値及び測定値を表2に示す。

2.2 ロング窓の特徴

一般的にピルボックス型窓ではピルボックスの円筒部の長さをパラメータとして反射係数を計算すると周期的に反射の少ない条件が現れる。図2に示すように窓材にベリリアを使用したピルボックスの場合、円筒部の長さが106(mm)のとき(ベリリアスタンダード窓)と402(mm)のとき(ベリリアロング窓)に最小の反射係数が得られる。これらの条件における窓について円筒部内の各電界成分の最大値を計算すると図3の様になる。この各電界成分は導波管のTE₁₀モードの最大電界強度で規格化されている。この図からロング窓のセラミックス表面における各電界成分の最大値はスタンダード窓のそれより低いことが分かる。つまり、ロング窓はスタンダード窓よりも窓付近に誘起されるマルチパクタリングの発生を低く抑えることができ、かつ、窓のセラミック部分におけるパワーロスを低減させることができる特徴を有する。このことからロング窓は大電力用の窓として適する可能性が有るといえる。

2.2 試験体系

レゾナントリングを使用した窓耐電力試験の試験体系を図4に示す。レゾナントリングでは電力増幅を得るために、その長さを管内波長の整数倍にしなければならない。試験に使用した3種類の窓はそれぞれ管内波長が異なるため、それぞれの窓に対して共鳴が取れるように運転周波数をクライストロン動作範囲内(1249±3MHz)で調整した。

また、低真空度では窓の耐電力が低下するので、窓の両側にそれぞれ 100 l/sec のイオンポンプを設置し 10^{-7} torr 程度の真空度を維持した。窓の表面状態は、両側のE コーナーに視窓を取り付け、上流側からはサーモビュアを用いて、下流側からはビデオを用いて観測した。

2.3 CW 耐電力試験結果

窓表面の温度測定は、RFをレゾナントリング内に投入し各部温度が平衡状態に達したときにサーモビュアを用いて行った。図5にRF電力に対するそれぞれの窓の温度上昇を示す。

ベリリアロング窓に対しては、CWエージングや1 MW 以上のパルスエージング(5~20%)を併用して行った結果、目標を超える1.7 MW までのCWモードによるRFの印加に成功した。最大RFを印加した時の窓の温度上昇はたかだか50℃程度であり、マルチパクタリングによる発光も観測されなかった。しかしながら窓表面上の塵による微小な発光点が観測され、試験後窓表面を観察したところ数点黒く焦げた点が発見された。

ベリリアスタンダード窓は500kW付近からRF印加とともにセラミック表面から弱いマルチパクタリングと思われる青白い発光現象がみられた。発光は数分で消えたので、セラミックの全体温度が安定する15分程度の間隔をおいてRFを上昇させた。1MW付近からマルチパクタリングが定常的に起こりだした。最終的には、ベリリアスタンダード窓は1.4MWまでのRF印加に成功した。

アルミナロング窓は460kWまでのRF印加を行ったが、温度上昇幅が139℃と最も大きく、500kWで窓の破壊に至った。温度上昇はRFパワーが250kWを越えるあたりから計算値から離れ始め、破壊に至った500kW付近では倍以上の違いがあった。しかし、

破壊が起こるまでのサーモビュア及びビデオで窓表面の観察からはマルチパクタリング等による発光現象は観測されなかった。このような温度上昇の原因は、他の窓よりも高い電圧定在波比(VSWR)により、試験体系の窓セラミック位置の電界強度が大きくなったためと推定される。

2.4 パルス耐電力試験結果

次のパルス耐電力試験には、ベリリアロング窓のみを使用し、2ms、4msパルスモードの繰り返し50Hzで4.5MWのRF出力まで行った。結果を図6に示す。RFのデューティファクタは10%と20%であるが、4MWまではマルチパクタリングは観測されなかった。ただし、4.25MWを越えると窓表面周辺部に寿命数分程度の青白い発光が生じ、4.5MWではセラミックの表面の温度変化率の上昇が生じた。

3. まとめ

クライストロン窓の耐電力試験を行い、ベリリアロング窓についてCWモードでは1.7MWまで、パルスモードではデューティファクタ10、20%の時に4.5MWまでのRF電力の透過に耐える窓構造の開発に成功した。今後は、ロングピルボックスのクライストロン全体としての効果を計算コードHFSS及びMAFIA 等により評価するとともに、VSWRの影響を調べていく予定である。

参考文献

- 1) I. Sato *et al.* : Proceedings of 16th Linear Accelerator Meeting in Japan, p34 (1991)
- 2) H. Arai *et al.* : "An Analysis of a Vacuum Window for Hybrid Heating", IEEE, Trans. on Plasma Science, vol. PS-14, no. 6(1986)

表1 ピルボックス型窓寸法

No.	ピルボックス型窓	窓材	ピルボックス全長 L(mm)	円筒部長 A(mm)	円筒部内径 φ(mm)	窓材厚さ D(mm)
1	ベリリアスタンダード窓	ベリリア	293.0	106	190.5	6.6
2	ベリリアロング窓	ベリリア	595.0	402	190.5	6.6
3	アルミナロング窓	アルミナ	595.1	412	193.7	6.6

表2 試験窓の設計値、計算値及び測定値

	設計値		MAFIA計算値		HFSS計算値		測定値	
	VSWR	位相長	VSWR	位相長	VSWR	位相長	VSWR	位相長
ベリリアスタンダード窓	1.0002	1.039	2π+ 8.8	1.024	2π+16.9	1.04	2π+ 9.7	
ベリリアロング窓	1.0010	1.050	2π+ 297.3	1.075	2π+305.5	1.03	2π+ 298.9	
アルミナロング窓	1.2962	1.323	2π+ 329.4	1.321	2π+332.4	1.30	2π+ 325.2	

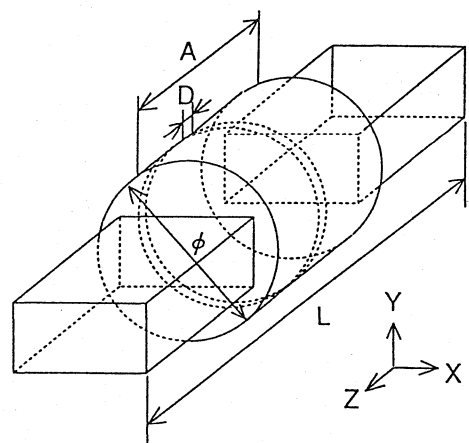


図1 ピルボックス型窓概略図

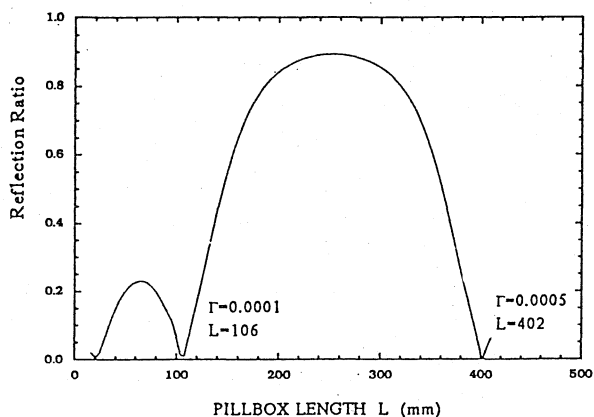


図2 ピルボックスの円筒部長と反射係数
(窓材にベリリアセラミックスを使用した場合)

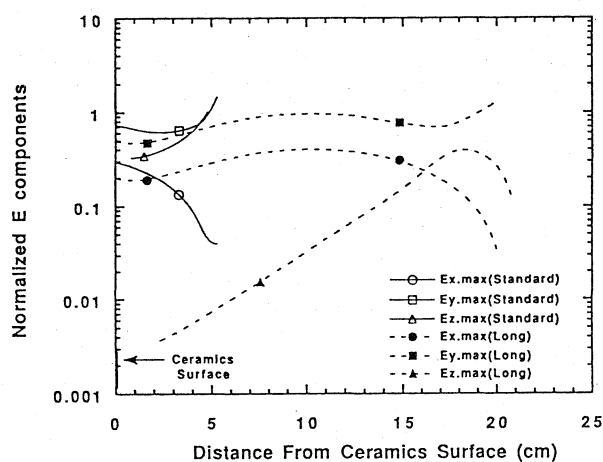


図3 ベリリアスタンダード窓及びベリリア
ロング窓の円筒部内の最大電界分布

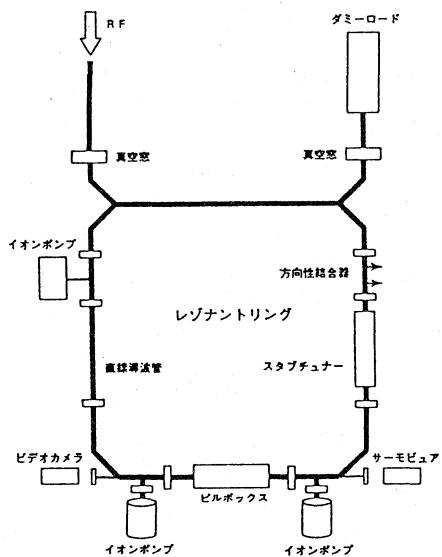


図4 試験体系図

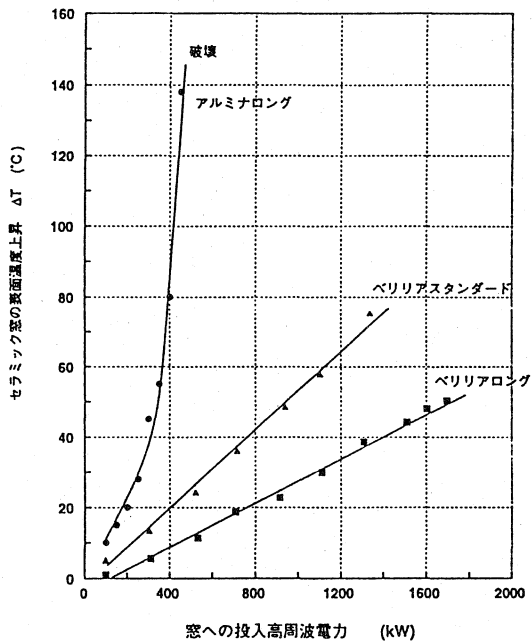


図5 セラミックス窓の温度上昇

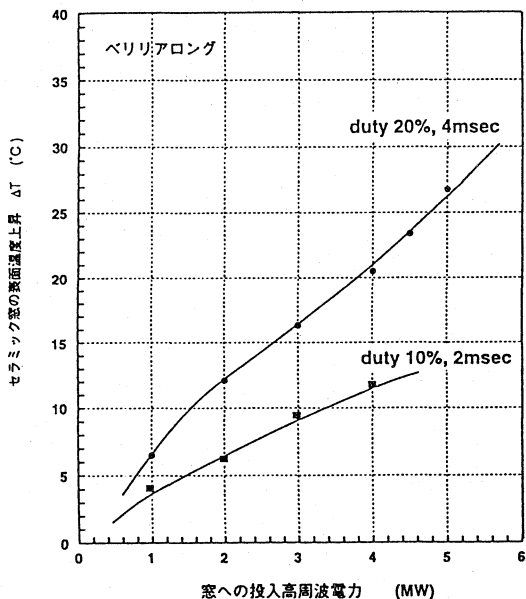


図6 セラミックス窓の温度上昇
(パルス動作)