

S. Fukuda

National Laboratory for High Energy Physics

## ABSTRACT

Recent work on the R & D of 150 MW klystron developed at the SLAC klystron division is reported. This work has been progressed under the Japanese U.S.A. collaborative research project since 1981.

## 1 まえがき

150 MW クライストロンの開発は日米科学技術協力事業に基づいて昭和56年4月より3年計画を開始された。この事業は米国側がSLAC, 日本側はKEK, 三菱電機, 東芝の三者であり、開発はSLACにて行われている。すでにこれに関しては昨年のライナック研究会で、それ迄の報告が行われている。既に始めの2年間が終了したが、最近の進行状況をSLACからの *monthly & quarterly reports* に基づいて報告する。

## 2 技術的問題

a) 電子銃; 当初の大きさの問題の1つは電子銃に於ける放電問題であり、そのためXK-5で使用されていた *low gradient gun* を基本としてその *scale-up* と改良から150 MW用電子銃の設計が行われた。SLACで使用された電子銃の各パラメータの比較は前報告にある通りである。これの設計による50 MW クライストロン, 150 MW用テストダイオード(後述)は耐圧的には大きさ改善が見られ、aging時間が大いに短縮された。しかし電子銃の困難さは時としてダイオードオシレーションという不安定現象に見舞われる事であり、テスト管で大きさの問題となった。試作第1号クライストロンについては時間的人的問題からテスト管を更に作る事ができず表1の様に少しパラメータを変更した電子銃を組み込む事となった。

b) RF空洞設計及び計算機シミュレーション; クライストロンの空洞及びドリフト管の設計及び出力、利得、効率等を予測するためには計算機シミュレーションが不可欠である。

従来SLACで使用されていたコード、SLAC KLY が不十分のため、1次元 *time stepping disk model* によるシミュレーションコードが開発され、この適用性については今迄のSLACの数種のクライストロンについてチェックされた。その結果ほぼ満足される結果となったので、これに基づいてRF空洞等の設計が行われた。表2にそのパラメータを示す。

		Test Diode	First Klystron
Gun Housing	I.D.	13.5"	10.25"
High Voltage Bushing	I.D.	8.43"	8.2"
	O.D.	10.0"	9.0"
	Length	12.0"	10.0"

(表1) テストダイオードと試作1号機の電子銃寸法の違い。

c) 出力空洞設計; 150 MW クライストロンの計画段階から従来の設計による出力空洞では gap 電圧が 450 kV を越え放電の問題が深刻であった。これを避けるために *double gap* の出力空洞が検討されていた。報告(1)にある様に、 $\pi$  mode *double gap cavity* の gap 電圧を下げ、従来

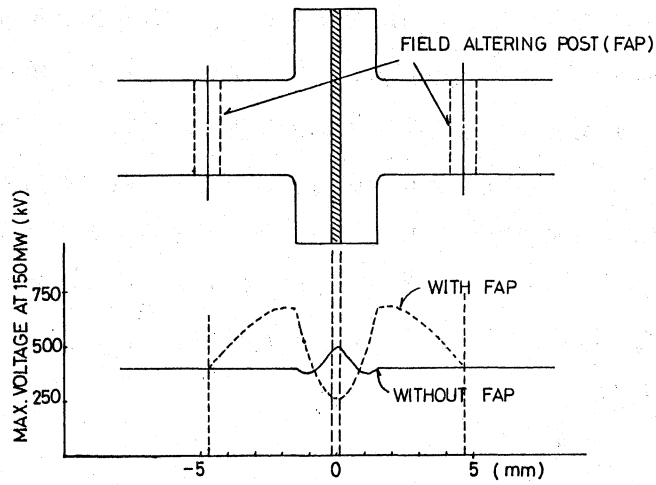
と同等の性能を得るものを設計し、テストの為に従来のXK-5クワイストロンに取り付けた。しかしこれは *coupling slot* により電界の軸対称性が大きくずれ、ドリフトチューブの一方にかたりの電子が衝突し放電を引き起こした。このため試作第1号機はこの試みを放棄し *single gap* で *gap* 先端の  $R$  を大きく

Cav. No.	#1	#2	#3	#4	#5
R/Q	95	75	90	100	output
Q	200	4000	4000	4000	impedance
d (mm) (gap distance)	15.72	10.41	15.80	15.75	1300 $\Omega$
$d_{eq}$ (mm)	27.6	24.5	27.6	27.6	....
$\Delta f$ (MHz)	+5.0	+9.0	+16.0	+82.0	0
Cavity location (mm)	135.2	135.2	295.8	152.1	

(表2) 試作1号機の空洞等の設計値

とったものを採用した。後述の様にこの詳細はまだ、きりしていないが、試作2号機用として  $2\pi$  mode *double gap cavity* の検討は引き続き行われていた。(  $2\pi$  mode の場合 *coupling slot* の電流が打消し合、軸対称性には有利である。) 1次元 *time stepping disk model* による出力空洞での電子流との *energy exchange simulation* で種々のパラメータが検討され、2つの空洞のインピーダンス及び位相を  $Z_{11} = Z_{22} = 500e^{j0}(\Omega)$  とする事により50%以上の効率を得、又同じ効率を有する *single gap cavity* の場合に比べて *gap* 電圧が30%減少して5kVになる事から十分使用可能である事がわかった。但し *overdrive* 動作の時に出力空洞の前段の空洞の電圧が大きくなりすぎるので注意が必要である。これらは試作2号機に組み込む予定となっている。

d) 出力RF窓の開発 ; 150 MWクワイストロン用のRF窓として2つの型の窓が検討された。1つはXK-5と同じ85 $\phi$ のセラミックを用いる窓である。そのままではセラミック面に大電界が生ずるため窓の両側に *field altering post* と称する *inductive post* を設ける事により40%電界を減少させたものである。(図1) 又そのポストに銅メッキを行う事によりポストでのRF損失を減少させ、そこで温度上昇をメッキなしに比べて50% $\rightarrow$ 17%に抑える事に成功した。この窓は試作1号機に採用された。もう1つの型の窓は *large diameter pillbox window* と称され125 $\phi$ のセラミックを用いる窓である。当初コーティングの問題を除きセラミックのロー付部の鋭い突起による局所的放電②動作周波数に近い所に *trapping resonance* が生ずる、という2つの問題に悩んでいたが、①はセラミック端面に45 $^\circ$ のコーナーを設けてロー付部の突起を隠す事、②については3mm $\phi$ の *horizontal mode suppressing pin* で *trapping resonance* を抑える事により



(図1) 電界低減ポストを有するRF窓。

*resonant ring* で200 MW, 2 $\mu$ s テストで良い結果を得た。従ってこれを試作2号機に採用する事となった。窓のコーティングに関しては、昨年末からコーティング装置にトラグルが続き装置の再現性がなくなり、改良が進められていた。現在150 $^\circ$ Cに *baking* し水蒸気の影響を減らし且つコーティング前に残留ガス測定を常時モニターする、又ス

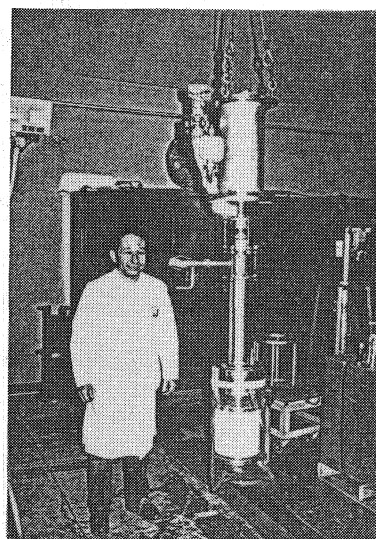
パッキング条件も  $50 \text{ mm Torr}$ ,  $1.5 \text{ kV D.C.}$  で行う事により安定な放電を持続させ信頼できるコーティングが行われるようになった。窓の材質としては AL-99.5 (99.5% 純度) が良い結果をおさめている。resonant ring によるテスト装置も改良が加えられ、よりテストしやすい状況になっている。

### 3. テストダイオード

2節に述べた設計検討と平行して試作のテストダイオード管が昨年末に試験された。新クライストロン開発の際には、設計電圧迄何れの問題のないダイオードが出来るとかなり完成に近いといわれる程重要なのがこの電子銃部のテストであるが、このテスト管は  $360 \text{ kV}$  の印加電圧でダイオードオシレーションという発振現象が生じた。その周波数は  $1650 \text{ MHz}$  であり、タンクアセンブリ内で放電が生ずる程激しいものであった。その後タンク内へ lossy material を入れる事によりこの発振を抑える事に成功し予定の  $60 \text{ kV}$  迄上昇できたが、タンク内絶縁油に汚れを誘致し放電を繰り返してソケット支持脚の破損を引き起こした。周辺をクリーンアップし再びテストを行なった所、 $360 \text{ kV}$  で又発振が生じ、最後はヒーターがショートしてテストは終了した。テストダイオードはすぐ分解され、コレクター部及び電子銃部での寄生共振モードの測定が行われた。コレクター部は最低共振周波数が  $1800 \text{ MHz}$  であり、発振と無関係とされたが電子銃部は単体のままとタンクに取り付けられた場合に寄生モード周波数が大きく変化し、後者はタンク内の共振を反映してたくさんモードが観測された。従って発振モード ( $1650 \text{ MHz}$ ) も強くタンク内の外部回路系と結合しているものと思われる。この現象については三菱電機の渡部氏が種々計算をされている。

### 4. 試作I号機クライストロン

このクライストロンは前述の通り、表Iの様に変更した電子銃、表2のRF設計、gap先端のRを大きくとった conventional 単 single gap output cavity, 且つ電界遮滅がストを有するXK-5型RF窓という構造のものである。単体の組立等は順調に行っていたが、baking oven での木むね事故の際に、真空リークが発生した。場所は男女空洞と男5空洞のつなぎめの長いドリフト長の所である。原因は高温バーク時に長い銅のドリフト管の熱膨張等によるストレスのためと思われる。修理のためいくつかの試みを行ったが、他のトラブルも重なり完全に修理は今の所行われず、評価のためのテストはストックのままである。



(図2) 試作I号機クライストロン

### 参考文献

- (1) S. Anami, "Development of a 150 MW S-band Klystron", Proc. 7th Meeting on Linear Accelerators, 42, (1982) (in Japanese)