

DEVELOPMENT OF X-BAND HIGH POWER PULSED KLYSTRONS

J.Odagiri, H.Mizuno, T.Higo, H.Yonezawa*, N.Yamaguchi**

National Laboratory for High Energy Physics, KEK

1-1,Oho , Tukuba-shi, Ibaraki-ken, 305 JAPAN

*TOSHIBA Corporation, Electron Tube Division

**TOSHIBA Corporation, Electron Tube Division

1385,Shimoishigami, Ohtawara-shi, Tochigi-ken, 324 JAPAN

ABSTRACT

A 30MW X-band(11.424GHz) pulsed klystron(XB50K) has been tested up to a peak power of 26MW with a pulse duration of 50ns at a beam voltage of 470kV. A 100MW X-band pulsed klystron(XB72K) has been tested up to a peak power of 79MW with a pulse duration of 50ns at a beam voltage of 580kV.

X-バンドクライストロンの開発

1. はじめに

高エネルギー物理学研究所において、加速器将来計画の一つとして500GeV級の電子-陽電子衝突型の線形加速器(JLC)の研究開発が進められている^{1), 2)}。JLCの主ライナックでは、Xバンド(11.424GHz)において50ないし100MV/mの加速勾配を実現するために、ピーク出力100MW以上(パルス巾500ns以上)のXバンドクライストロンが必要となる。本稿では、その開発の第一段階として'90年度に試作したピーク出力30MW級のクライストロン(XB50K)、および'92年度に試作した100MW級クライストロン(XB72K)についての現在までの試験結果について報告する。

2. XB50K

XB50Kクライストロン(30MW級)開発の主な目的は、100MW級クライストロン開発に先立って、Xバンド加速管を含む各種大電力部品試験の高周波源として使用することである^{3), 4)}。表-1にその設計パラメータの概要を示す。試作1号機は出力窓の改修後、'91年夏に行なわれた動作試験において、ビーム電圧約403kV、約18MWのピーク出力を達成した。その後、'92年春から秋にかけて、

(A) Xバンド加速管の高電界試験⁵⁾

(B) XバンドSLEDの大電力試験⁶⁾

(C) XバンドSLEDを使用した加速管の高電界試験のための高周波源として使用された。表-2に(A)~

(C)の各場合についての典型的な運転条件を示す。

表-1) 設計パラメータ (XB50K)

動作周波数	11.424 GHz
尖頭出力	30 MW
パルス巾	0.1~1.0 μ s
繰り返し	100 pps
効率	45 %
飽和利得	53 dB
ビーム電圧	420 kV
ビーム電流	160 A

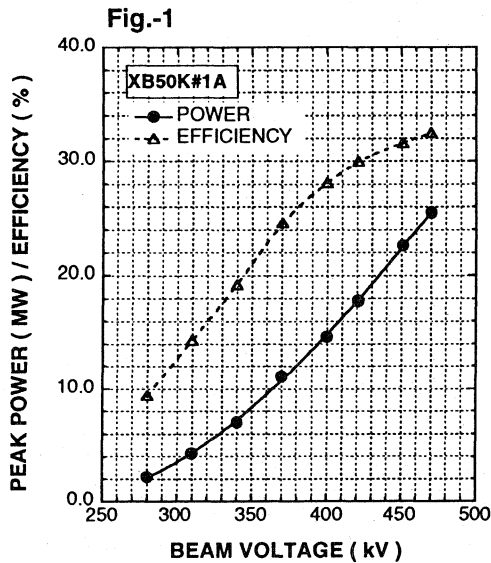
表-2)

運転条件	(A)	(B)	(C)
パルス巾 (ns)	50~100	500	500
繰り返し (pps)	10~100	5	50
Max.ピーク出力 (MW)	18	15	14
運転時間 (hour)	600	30	50

この間、総計約700時間、およそ 7×10^7 パルスにわたって特に問題なく運転することが出来たが、(C)の条件で運転中に出力窓の放電が激しくなった。このため、SLEDおよび加速管をつないだままパルス巾を50nsまで短くしてクライストロン本体の試験を行った(SLEDの空洞は離調)。その結果、ビーム電圧470kV、ビーム電流170Aにおいて、ピーク出力約26MW(効率約33%)を達成した。この出力において出力窓の放電により限界となった(試験終了後、窓のエアリークを確認)。ビーム電圧に対する出力および効率を図-1に示す。また、

** Present Adress : Semiconductor Energy Laboratory Co., Ltd.

集束磁界分布の調整による効率の改善を試みたが、大きな改善は見られなかった。試験終了後、本機の高周波増幅部をビーム軸に沿って切断し、ドリフト管内部の目視検査を行った。その結果、出力空洞下流側のノーズコーン上、結合アイリス側にやすりで削られたような小さな傷が認められた。他の部分には特に目立つ損傷は認められなかった。



3. XB72K

XB72Kクライストロン（100MW級）は、JLCのXバンド主ライナックの高周波源に要求される最小限の出力レベルを目標として設計、試作された^{3), 4)}。表-2にその設計パラメータの概要を示す。

表-2) 設計パラメータ (XB72K)

動作周波数	11.424 GHz
尖頭出力	120 MW
パルス巾	400-500 ns
繰り返し	200 pps
効率	45 %
飽和利得	53-56 dB
ビーム電圧	550 kV
ビーム電流	490 A
マイクロパービアン	1.2

XB72K 試作1号機の動作試験は、'92年3月に行なわれたが、ビーム電圧が約 430 kV（出力約22MW-100 ns）に達した時点でガンセラミックにエアリークを生じたため中断された。その後、本クライストロンの電子銃部を改修し、'92年8月から再度試験を行った。その結果、ビーム電圧は約 600 kV まで印加することが出来た。また、

このビーム電圧まで概ね設計値通りのカソードエミッションが得られた。Fig-2 にパーヴィアンスカーブを示す。但し、電圧波形は Fig-3 に示す様にフラットトップがなく、半値巾約 1.7 micro-sec. であり、上述の電圧、電流値はピーク値を指す。

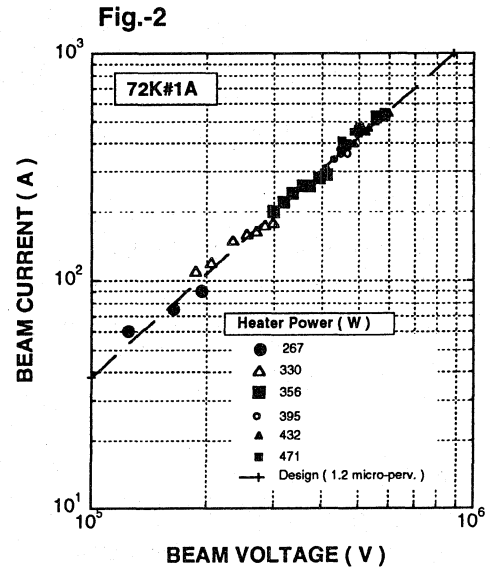
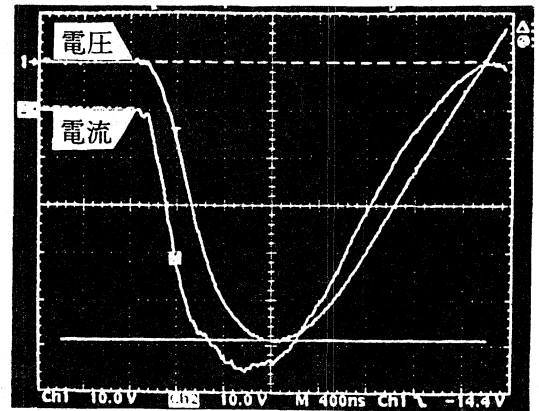


Fig-3 (1 div. = 400 ns)

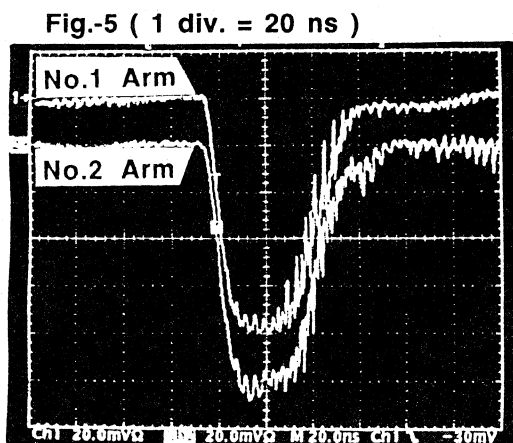
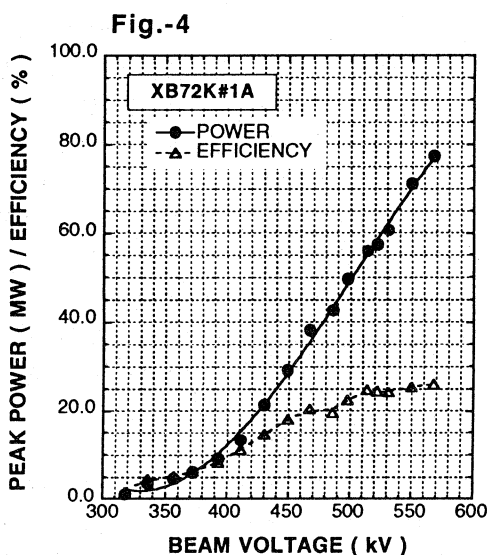


上 (ビーム電圧) 550 kV
下 (ビーム電流) 535 A

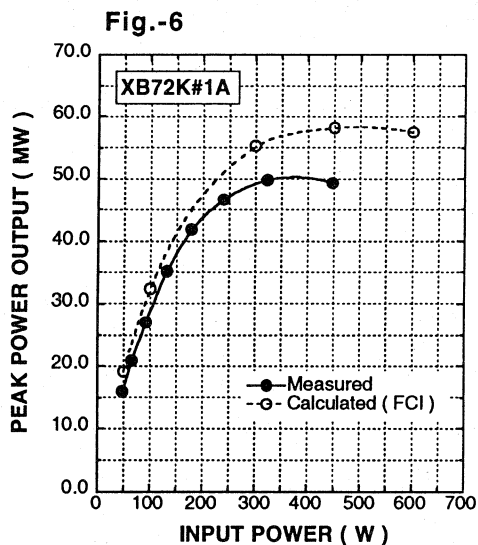
RF出力については、ビーム電圧 580kV において到達した 79MW (50 ns) が最高値である。本クライストロンは出力空洞（1 個）が 2 個の結合アイリスをもち、それぞれにつながる出力導波管が各々 1 個の出力窓を持つ。出力測定は各導波管に独立に方向性結合器と模擬負荷を接続して行い、両者の和を出力としている（電氣的な測定のみで熱的測定は行っていない）。当初、RFパルス巾 100 ns で開始したところ、出力約 50MW に達した時点で出力窓の一方に発光が認められた。そのため、パルス巾を 50 ns に短縮して試験を継続したが、出力の上昇

に伴い発光、圧力バーストが激しくなり、上述の出力で限界となった。また、この過程で他方の窓も放電を開始した（試験終了後にエアリークを確認）。ビーム電圧に対する出力および効率を Fig.-4 に、RF 出力波形を Fig.-5 に示す。また、ビーム電圧 500kV における入出力特性を Fig.-6 に示す。実測された効率はビーム電圧 550kV において約 25% であり、設計値約 45% の 6 割弱であった。このため FCI コード⁷⁾ により計算した際の入力データを検討し直した。その結果、空胴ギャップ長の入力データに関して、空胴形状の近似に伴って必要とされる補正がなされていないことなど、幾つかの問題があったことが判った。これらを修正して再度計算を行ったところ実測値は計算値の 8 割強程度となり、計算と実測値との不一致はかなり改善された（Fig.-6 参照）。

本クライストロンについても XB50K と同様、分解、切断検査を行ったが、ドリフト管、空胴ともビーム、RF による損傷は認められなかった。



上 (No.1 Arm) 38.6 MW
下 (No.2 Arm) 40.5 MW



4. おわりに

電子銃部、空胴部、及び出力窓に改良を施したXB72K 試作2号機の製作は既に完了し、本年8月から動作試験を行う予定である。

References

- 1) JLC Group, "JLC-I", KEK Report 92-16, December 1992 A/H/M.
- 2) K.Takata, "RECENT PROGRESS IN R&D WORK FOR THE JAPAN LINEAR COLLIDER", 15th International Conference on High Energy Accelerators, July 1992.
- 3) H.Mizuno, et al., "X-BAND KLYSTRONS FOR JAPAN LINEAR COLLIDER", 16th International Linac Conference, August 1992.
- 4) J.Odagiri, et al., "DEVELOPMENT OF X-BAND HIGH POWER PULSED KLYSTRON", Proc. 17th Linear Accelerator Meeting, September 1992.
- 5) T.Higo, et al., "HIGH GRADIENT EXPERIMENT FOR X-BAND TRAVELLING WAVE STRUCTURE", 16th International Linac Conference, August 1992.
- 6) S.Tokumoto, et al., "High Power Operation Results of the X-Band SLED System", Particle Accelerator Conference, May 1993.
- 7) T.Shintake, "High-Power Klystron Simulations using FCI-Field Charge Interacton Code" KEK Report 90-3, May 1990 A/D.