

MANUFACTURING AND TESTING OF A TEST DIODE FOR HIGH DUTY KLYSTRON.

S.FUKUDA, Y.TAKEUCHI, H.HISAMATSU, R.ADACHI, S.ANAMI
AND M.KIHARA

NATIONAL LABORATORY OF HIGH ENERGY PHYSICS
OHO 1, TSUKUBA, IBARAKI, JAPAN

ABSTRACT

Manufacturing and testing of a diode were performed to develop high duty klystron. Design was made by KEK. Some important vacuum processing and conditioning applying the high voltage were also accomplished using equipments prepared in KEK. Applied maximum voltage was 137 kV with pulse width of 400 μ sec (repetition rates, 10 pps.). Various manufacturing techniques were surveyed and problems concerning the process of manufacturing tubes were investigated.

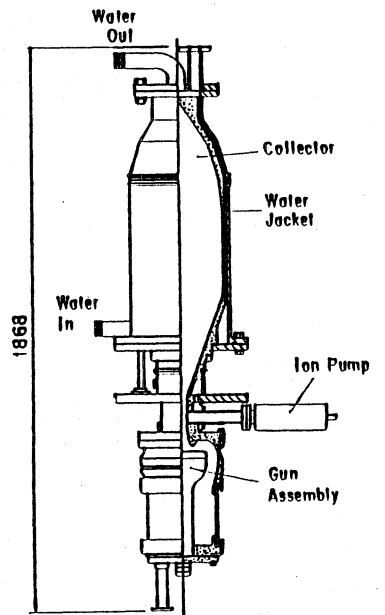
高デューティクライストロン用テストダイオードの試作と試験

1. はじめに

1 GeV陽子線形加速器において重要な役割を果たすものの一つとしてマイクロ波源が上げられる。当研究所におけるマイクロ波源の主要な位置を占めるクライストロンに関して経験した多くのトラブルを考えると、当研究所でクライストロンに関して設計、試作製造、及び試験などを行って十分諸々の問題点に対処出来る様にしておくことが重要である。本稿はハドロン計画を念頭に置いたテストダイオードの設計試作を行い、試験した最初の経験に関する報告である。目的としたのは、真空管の製造技術の確立（ロー付け技術や高信頼性の溶接技術等）、真空処理、カソードの処理等のプロセス確立、及び信頼性の高い管球の設計の確立などである。

2. 設計の基本方針

テストダイオードの構成要素としてはカソード、電子銃部、高圧絶縁碍子、ヒーター導入系、コレクター、及び冷却系がある。以下いくつかについて簡単に述べる。このテストダイオードに要求される仕様は、140 kV, 104 A（即ちマイクロパービアンスは2）、パルス幅最大600 μ sec、繰り返し最大50 Hz（平均電力450 kW）である。カソードとしてはSLAC-5045クライストロンと同じ90 mm ϕ の径の、スカンデート（ Sc_2O_3 ）型バリウム含浸カソードを使用した。電子銃部の構造もSLAC-5045とほぼ同じ様な構造とした（同一カソードの発注は量産効果から値段が安いこと、及び低電界型であることが主な理由）。またカソードの熱シールドにも十分留意した。コレクターは電子銃部を出てすぐの所に位置し、自分自身の空間電荷によって発散するとして

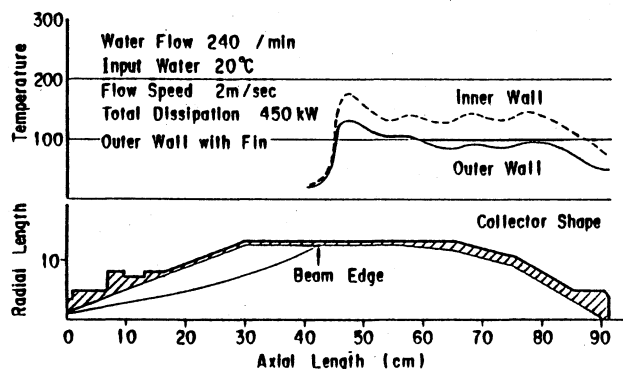


図(1) 全体図

形状を決めた。壁面上での損失許容熱量はとりあえず $150 \sim 200 \text{ W/cm}^2$ 内に全体を抑え、一番厳しいビーム端だけはそれを越えてもよいという基準で直径及び長さを決めた。パルス内での温度上昇に付いては一律な発散が実現された場合には全く問題がないが、何かの原因でビームが集中した場合には1パルス内で銅が溶ける温度迄上昇する（これは加速器用の大電力クライストロンの場合短パルスであっても同様である）。ここでは基本設計として定常状態に付いて考えた。冷却方式としては普通の縦状の溝を切ってそこを流速の早い（比較的レイノルズ数の高い状態の）水で冷やす方式とし、有限要素法によるシミュレーションによって計算した。テストダイオードの全体図を図（1）に、コレクターの冷却に関する計算結果を図（2）に示す。

3. 製造プロセス

製造はあえて管球製造経験のないメーカーで行った。マイクロ波管に関する製造で重要なことは、かなり厳しい材料の吟味、クリーニング、プロセス管理が必要であるので、その点に始めから留意した。材料の選定としては基本的に真空管用途の材料を用いることとし、更にクラス1の真空溶解無酸素銅、真空溶解のSUS316Lを重要部分に使用するという事で購入した。加工後の部品のクリーニングも、各材料毎にそのプロセスを明確に決めた。クリーニング後の保管や取り扱い法に付いても十分に注意した。電子銃周りの部品の処理は真空抵抗加熱炉中で、 1000°C 近くのベーキングを必ず行い、カソードアッセンブリー（電極も含む）の処理はKEKで設計し貸与した真空誘導加熱炉中で、カソードに通電をしながら、カソードの温度を最大 1100°C まで加熱し、更に誘導加熱でカソードポストや電極を 600°C に保ち長時間のベーキングを行った。このプロセスは、SLACにおける処理を参考にしたが、ホットな状態で最終的な真空度を 10^{-8} Torr 台に入れるプロセスの確立は経験を重ねる必要があった。ロー付け、溶接の技術の面で、通常の加工と異なるのは、温度差がそう大きくない数種類のロー材を用いた多段ロー付けを多用することと、長時間のベーキングというヒートサイクルを経るため、それらに耐えうる信頼性の高い技術が必要であることである。それらの技術要素を盛り込んだダミー管を先ず作り、二重真空排気炉の動作テストやチップオフ等の試験も含めてカソードを含まない真空管製造をめざした。その後テストダイオードの長時間ベーキングを行った。このダイオードは、いろいろな実験が出来るようにダイヤモンドな構造とした。KEKにおけるテストダイオードのベーキングで、高温ベーキングに耐えうる真空ガスケットやボルト、ナットの問題及び、真空制御のシーケンス等の問題が明らかになり、またベーキングプロセスについても経験を重ねることが出来た。又このステップで最後に行うカソードの活性化と実際のエミッションの取り出し時には大量のガスが発生するので、チップオフ前に行うという方式を取った。図（3）にベーキングの過程を示す。いずれにせよここまでの段階で、真空管として必要な製造プロセスを一通り完了できたので、初期の目標の一つが達成されたと、評価できよう。



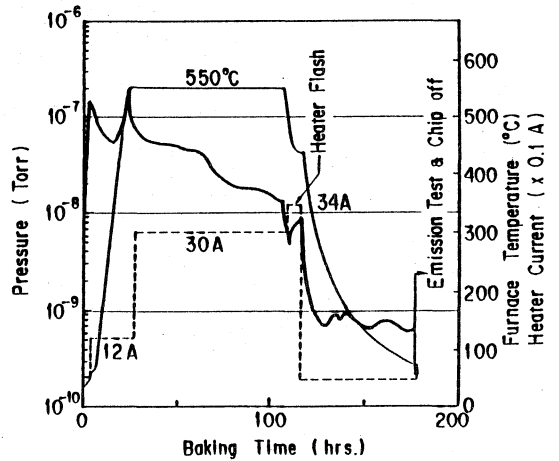
図（2）コレクター冷却部計算結果

4. 電圧エージングと、総合特性

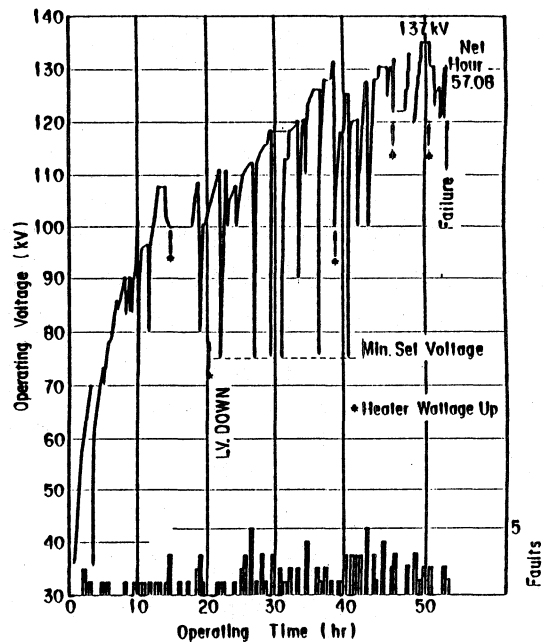
電圧エージングはアッセンブリーホールに既に据え付けられたパルスモデレータ（予算の関係で最大パルス幅は400 μsec ）で行った。電圧エージングの目的は、カソードに徐々に高い電圧を印可し、放電等を繰り返しながら内部の電極等のバリ等を飛ばし、所定の電圧で安定に動作するまで慣らし運転をすることである。最初パルス幅を半分にし、更にパルス繰り返しも低くして与えるダメージを小さい段階から始めた。又常時、管内の真空度及びフォールトした時の電圧、電流のパルス波形をモニターした。又コレクターに対する負荷を判断するために、7カ所に設けた熱電対を用いてコレクター外壁の温度をモニターした。このエージングの結果は（図（4）に示す）、途中でコレクターが溶融して破損するという残念な結果に終わった。エージングで達成できた最大の電圧は137 kV、繰り返し10 pps、パルス幅は400 μsec であった。テストダイオードを分解して調べた所、致命的なダメージはコレクター先端部にビームが集中して銅を溶かし、水冷部に至る亀裂が生じたものであった。何等かの理由により、エージング中の真空度が良かったにも関わらず、コレクター内でイオン集束によりビームが集束したと思われる。この結果を踏まえて、更に新しいダイオードでの試験を計画中である。

5. 結論

ハドロン計画を念頭に置いたマイクロ波管の研究の一環としてのテストダイオードの試作と試験の結果は、最初の経験としては成果があったといえる。特にKEKに於て、基本設計や一部の設備の設計をし、この種の製造経験のないメーカーと協力して、処理等のプロセスを確立し、構造体としての真空管を製造したことである。また試作一号機として仕様目的に近いところまで動作させたこと、そしてその製造を通じて種々の問題に遭遇し、且つ解決した経験はまさにこのプロジェクトの目的としたところである。更に試作を重ねながら、より理解された、安定で信頼性の高いマイクロ波源とは何かを研究する予定である。



図（3）ベーク・スケジュール



図（4）電圧コンディショニングの結果