

K. Takata

KEK

ABSTRACT

At the PF storage ring, 500MHz klystrons are used, each of which operates at a cw power level of 180kW. These tubes show frequently high voltage breakdown in the gun area. We present here some guesses about the possible cause of this breakdown.

加速器とくに電子ストレージリングの場合の様に1基の加速空洞で100kW前後、全体の加速システムで1~10MWの程度の高周波電力が必要な装置では高周波電力源として固体素子では到底周波に合わず電子管に頼らざるを得なくなる。その場合利得の大きさ、機構の単純さ及び近未来率が向上して来たこと等を合わせて殆んどの場合クライストロンが用いられる。例外的には極く小さいストレージリングでVHFの高周波で良い場合C級動作の極極管を使用したり、研究所によっては gyrotron を開発していることもある。しかし通常のストレージリングでは空洞の大きさを小さくして全体のシャントインピーダンスも上げ、バンチ長を短かくし、高調波モードの励起を最少にするために、overvoltage 比で不利益にならない限りぎりぎりまで加速周波数を高め、UHF とくに 500MHz 前後の大電力が使用される。現在の代表的なストレージリングの高周波電力のパラメータを表1に掲げる。

ここでは Photon Factory ストレージリング用クライストロンについての経験をもとにして大電力UHF帯用連続波クライストロンの問題点を取組みたい。PF用リングの高周波システムの設計は1976年後半から始められたが、当時UHFクライストロンとしては50kW前後の放送用のが実用化されているに過ぎなかった。従って500kW前後必要とされたPFリングの高周波源用には、180kW出力のクライストロンを開発することにし、将来予想されたトリスタン用数百kW~MW級のクライストロンの<sup>ための</sup>基礎的な技術を確認しようと考えた。その時①出力窓の構造(連続大電力に耐えるもの) ②出力空洞 ③効率向上 ④コレクター部冷却能力の向上 ⑤全長を出来るだけ短かくするなどの点を重要と考えた。またクライストロンまわりについては⑥電源にクローバ回路を組み込む ⑦大電力サーキュレータを開発する等に努力を払った。当時すでにPEP用の500kW 350MHzクライストロンは完成されていたし、PETRA用600kW 500MHzクライストロンも完成間近であった。また効率は低く古い設計ではあったが、DORISではVarianの250kW 500MHzクライストロンが順調に働いており、Daresburyのリングでもこれを使おうとしていた。従って我々も上記の諸点を解決すればMW級クライストロンも難しくはないと考え、実際それらについて基本的な方針はうち立てられたと思っている。

さてPF用のクライストロンは40~45kV, 7~8Aの直流入力で180~200kWの連続出力

が得られるものであるが、第1号機は1979年から大電力テストをはじめほぼ設計値に近い性能を得た。PFリングは1982年3月よりビームがまわりはじめたが、現在に到るまでこのクライストロンを2本運転している。運転中にクライストロンが“落ちる”ことは、貯蔵ビームがなくなり、リアックからの再入射を行わなければならなくなるので、ユーザー側にと、これは実験が一時中断され大変不都合なことである。従ってクライストロンは常に安定に動作すべきものであるが、PFリングではしばしば“落ち”、不便して来た。これは上記開発目標をたてた時には樂觀的に考えていたことであるが、現在では大電力連続クライストロンの成否がかかる重要な点と考える。具体的にはPFクライストロンでは次の様な現象を経験した。①ある球では、イオンポンプでみる限り真空度は $10^{-8}$  Torr以下で大変良いが、数時間おきにクローバ回路が働く放電を起す。とくに連続運転を始めて50時間位たったところから放電の頻度が増す。しかし動作時間1500 hrs位からはほとんど放電を起さなくなった。②別の球では1700 hrsまでの運転で大変順調であったがそのころから真空度が悪化しはじめた。工、日曜などの休止期間をはさむと、ヒーター点灯時大変ガスが出、 $\sim 100$  kWまで出力をあげるのに10 hrs位のエージングが欠かせない様になった。ヒーター点灯時の真空度悪化は高圧印加によりビームをとると良くなる。③PFのクライストロンは変調用アノード電極も備えた3極管式となっているが、この変調用アノード電極からのエミッション電流が増加し高圧がある値以上かけられない例があった。④真空度悪化は出力30~40 kWのところだけ生じその両側では良い、などが典型的例である。

これらの原因をつきとめることは、球の製造過程の全てをチェックし、かつこの様な症状を示す場合のガス分析や、球の分解検査を行わないかぎり確実ではないが、今のところ次の様な推測がなされている。①インプレ型タンガスステンカソードからのBa蒸気がまわりの電極やセウミック碍子に附着する。②球の排気過程では拡散ポンプが使用されるが、 $liq N_2$ トラップつきと云えどもC, Hなどが管内に附着する。③総合組立以前の各パーツ毎のベーキングが不十分である。④材料とくに大きい割合を占めるOFHCのCO含有量の問題、真空溶解銅を使用する必要はないか。⑤カソードまわりの電極からの電子放出を抑えるためのAuメッキの功罪などである。これらについて定量的におさえられる程データの蓄積がないのでいづれが決定的な原因が現在のところ決められない。しかしインプレ型カソードは比較的高温で使うので、Baのまわりの電極への附着は無視出来ないであろう。Baそのものは低温ではエミッションは殆んどないので問題がない様に思われるが、大変良いゲッターである事に気をつけねばならない。恐らくカソードまわりに附着したBaは管内ガスを少量に吸収していると思われる。従来の低電圧真空管では問題ないが、大電力クライストロンの様に電極間電圧が高くなると、わずかなコロナ放電でもBaやそれに吸収された分子を叩き出すことになる。それが上の様な不安定動作のもとになるのではないかと推測される。

そのためには、出来るだけ低い動作温度のインプレ型カソード(M-type等)を開発すること、排気過程、ベーキング温度、アクチベーション、電極材料についての十分な吟味が不可欠である。しかしこれ以外の問題があることもたれてはならない。それは大型管になる程部品数<sup>の増加</sup>及び形状の

大型化を伴うので、現在の様な封じ切り方式の製造法が良いかどうかである。歩どまりの向上と様々の問題点の解析、コストの低減には初期のクライストロンでとられたデマウンタブル方式を考へなおしても良いのではないか。材料、ポンプ等真空技術が飛躍的に進歩した今日デマウンタブル方式は大いに魅力がある。とくにベーキング炉に制限をうけずVHF帯まで大電力クライストロンが製造できる様になると思われる。高効率で大電力を発生するには、クライストロンは総合的にみてサイロコンに十分優っていると考えられるから、新しい製造法を是非用ゐるべきである。

表 1 代表的電子(陽電子)ストレージリングの高周波電力

	$f_0$ (MHz)	クライストロン数	クライストロン1本当り出力(MW)
PETRA	500	8	0.6
PEP	353	12	0.5
PF	500	2(4)	0.18
DARESBURY	500	1(2)	0.25
TRISTAN AR*	508	(2)	1.0
" MR*	508	(30)	1.0
LEP *	353	(96)	1.0

\* 建設中

( )内予定