

HIGH CURRENT DENSITY DISPENSER CATHODE

E. TANABE and M. GREEN*

AET Associates, Inc., Cupertino, CA 95014, U.S.A.

*Varian Associates, Inc., Palo Alto, CA 95303, U.S.A.

ABSTRACT

The needs of linear accelerators for low emittance, high brightness electron sources have placed new demands on cathode capabilities to furnish the required current densities. Recent advanced dispenser cathodes are the front-runner candidates to meet the needs since they combine low work function, good life potential and physical robustness. In this paper, three types of cathode, namely thermionic cathode, field emission cathode and photo cathode, for accelerator applications are compared and the experimental results of newly developed dispenser cathode are presented.

1. はじめに

最近リニアックや自由電子レーザーの応用に大電流密度でしかも信頼性の高い電子源（電子銃）が必要とされて来ている。しかしカソードの電子放出特性には不明の点が多く低温で動作する大電流密度のカソード材料の研究が各所で行われつつある。本報告では加速器の応用に適したと思われる様々なカソードの比較を行い、特にバリアン社で開発された大電流密度の合金被覆のM型含浸型カソードの特性、寿命、耐ガス性等について述べる。

2. カソードの種類

加速器の入射系に應用されているカソードはその殆どが熱電子放出型（熱励起）であるが電界放出型（トンネル現象）及び光電子放出型（光励起）もありそれらを表1に比較してみた。光電子放出型はカソードにあてる光を変調する事によりカソードより直接バンチした電子を取出すことも出来、又輝度も相当高く取れるが現在のところ真空状態に敏感であり寿命も数時間にとどまっている。電界放出型は電流密度も極端に高く従って輝度も高くマイクロ波による変調も可能であり将来が大いに期待されるが絶対電流値は低く安定性に欠ける。両者とも将来が大いに期待されるが本文では熱電子放出型カソードの大電流密度化と信頼性について述べる。

	Thermionic Emission	Field Emission	Photo Electric Emission
Cathode Material	W, LaB ₆ , W-Th, Oxide, Dispenser	Tungsten, Graphite, Velvet, Silicide	GaAs, Cs ₃ Sb
Max. Current Density (A/cm ²)	~10 ²	~10 ⁸	~10 ³
Effective Diameter (cm)	10 ⁻¹ ~10	10 ⁻⁶ ~10 ⁻⁴	~10 ⁻¹
Max. Current (A)	~10 ⁴	10	200
Max. Brightness (A/m ² rad ²)	~10 ¹⁰	—	~10 ¹¹
Expected Life (Hr)	~200	—	~10
Required Vacuum Level (Torr)	10 ⁻⁷	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁷	10 ⁻¹⁰

表1 カソードの種類

Type	Material	Work Function (eV)	Current Density (A/cm ²)	Operating Temp (°K)
Bulk	W	4.54	10	2400
	LaB ₆	3.1	4	2000
Oxide	BaO	1.1	5	1000
Impregnated Dispenser	W-Th	2.63	5	2000
	W-matrix Coated	2.0	10	1400
	W-matrix	1.6	100	1500

表2 熱電子放出型カソードの種類

3. 熱電子放出型カソード

表2に熱電子放出型の各種のカソードをまとめてみた。バルク型ではLaB₆が最も実用化されており電流密度も高く取れるが高温動作で出力の安定性に欠ける。酸化物型は1900年の初め頃より広く使われているアルカリ土類酸化物の混合体であり仕事関数は極めて低く低温で動作するが固有抵抗値が高く大電流密度での使用には向いていない。含浸型が現在のところ安定性も高く大電流密度で高輝度のリニアックの電子源として向いていると思われる。

4. 含浸型カソード

含浸型カソードは近年大電流密度を必要とする電子管(TWTやクライストロン)やハイビジョンの電子源として応用され始めている。含浸型カソードの一種であるタングステン中にトリチウムを含有させたW-Thカソードは古くから使われているが高温動作であり電流密度も高く取れない。電気双極子による仕事関数の低減効果を使って1955年フィリップ社によって開発された含浸形カソードはB型と呼ばれ今日の含浸形カソードの原形になっている。このカソードは図1に示す様に多孔質のタングステン(~80%)を基体として電子放出物質(BaO, CaO, Al₂O₃等)の含浸剤とによって構成されており加熱によってBaが生成され拡散により表面にあらわれてBa-Oの電気双極子の層を形成する。この表面電位によりタングステン基体の仕事関数4.5 eVが1.8~2.0 eV程度に下げられる。

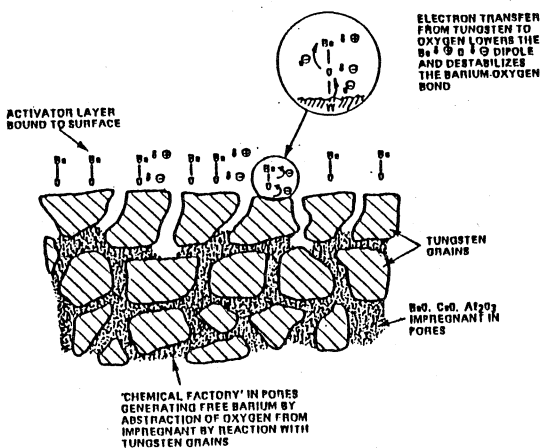


図1 含浸型カソードの構造

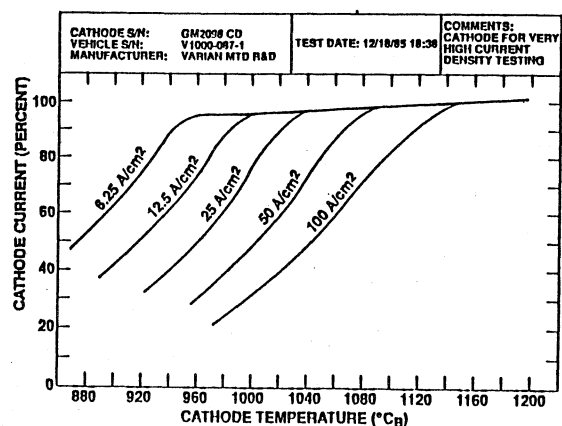


図2 Os合金被覆型含浸型カソードの電流特性

最近このB型カソードを合金 (Os, Ir, Os-Ru等) で被覆して更に仕事関数を1.4~1.6 eVまで下げられたM型と呼ばれるカソードが実用化されている。バリアン社でも50~60%のOsの合金を1000 Å程度一様にスパッタリングしたカソードの開発を行った。電子放出特性は面積0.1 cm²のカソードの平行ピアス電子銃を作り測定を行った。その結果を図2のミラムカーブに示した。完全な空間電荷制限領域の動作で1145 °C で100 A/cm²の電流密度が得られた。各々の電流密度によるミラムカーブの一様性 (平行性) と温度制限域に移る時のシャープさは コーティングの一様性 (仕事関数の一定性) を示している。図3に1000 °C と920 °C に於ける電流密度をビームアナライザーで測定した結果を示す。

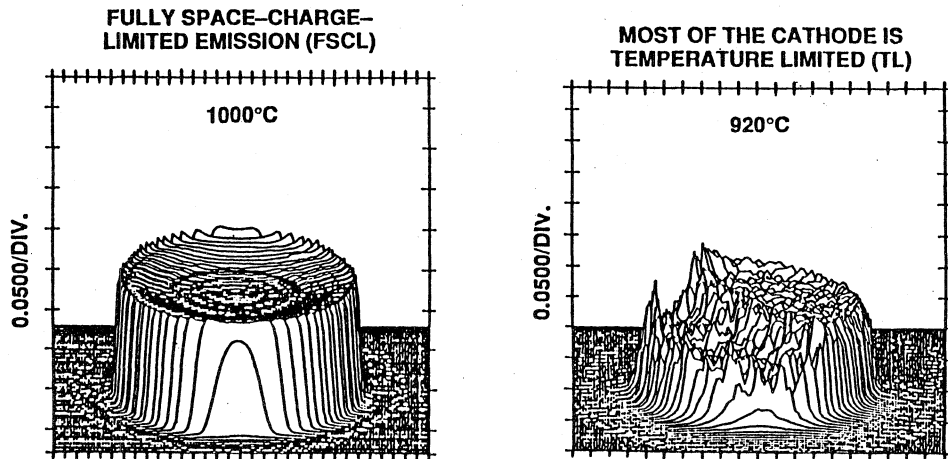


図3 ビームアナライザーによる電流密度の分布

5. 含浸型カソードの耐ガス性と寿命

各種のガス (CO, N₂, O₂, Methane, Air, Freon) や水蒸気による電流量の低下をテストチェンバーにて行ったところO₂ と水による影響が非常に大きい事が分った。図4にこれらの結果を示す。これより分圧を常に10⁻⁷程度に抑える事が必要であると結論される。含浸型カソードの寿命は主にBaの蒸発によって決まる。Baが蒸発するに従って基体からのBaの供給量が減少し 仕事関数が増加する事によって電流量が下がる。Baの蒸発量は温度との間で指数関数的に増加する。従ってカソードの寿命と温度との関係は図5のようになる。

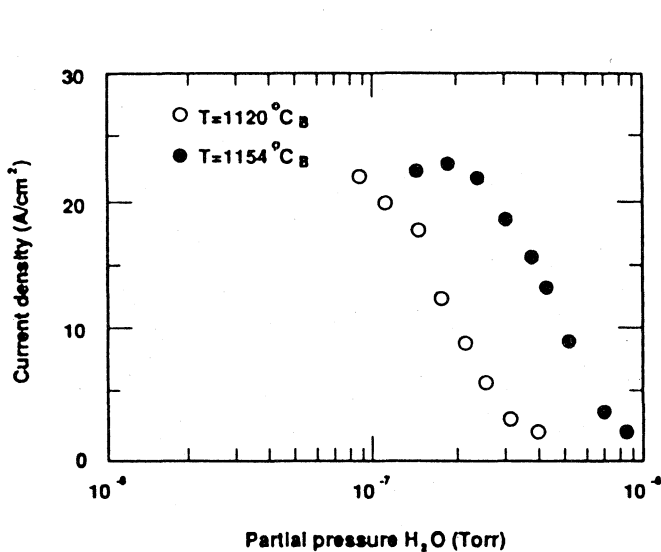


図4 水蒸気の分圧に対する電流密度

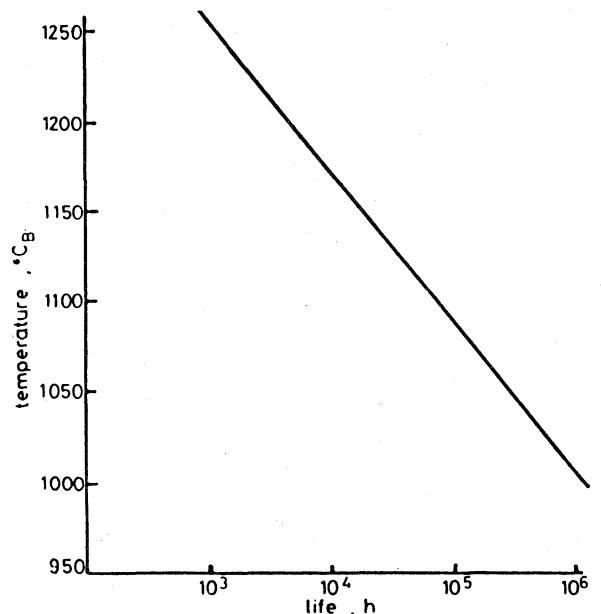


図5 含浸型カソードの寿命と動作温度