

20-P3

HIGH CURRENT DENSITY ELECTRON GUN WITH A LaB_6 CATHODE

K. Ebihara and S. Hiramatsu

KEK, National Laboratory for High Energy Physics

Oho 1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305 Japan

To develop a high current electron gun for the induction linac, a small prototype of a Pierce-type electron gun using a planar 12 mm-diameter lanthanum hexaboride (LaB_6) is being studied as a thermionic emitter. The cathode is heated up to a temperature of 1,750°C, by electron bombardment and thermal radiation from a tungsten heater. The gun has been operated up to a voltage of 55kV, obtaining beam current of 18A with 250 ns width. The obtained perveance of the gun is 1.5×10^{-6} . High-voltage pulsing results show that the gun is operated in space-charge-limited region at temperatures greater than 1,600°C, while it is operated in temperature-limited at temperatures less than 1,540°C. The measured work function of the LaB_6 cathode is 2.51~2.55 eV. The cathode emits over 5A of electrons with no reduction of the emission after 420 hours of operation. Lifetimes of the cathodes are being measured as a function of the vacuum pressure and the cathode temperature.

LaB₆カソードを用いた高電流密度型電子銃

1.はじめに

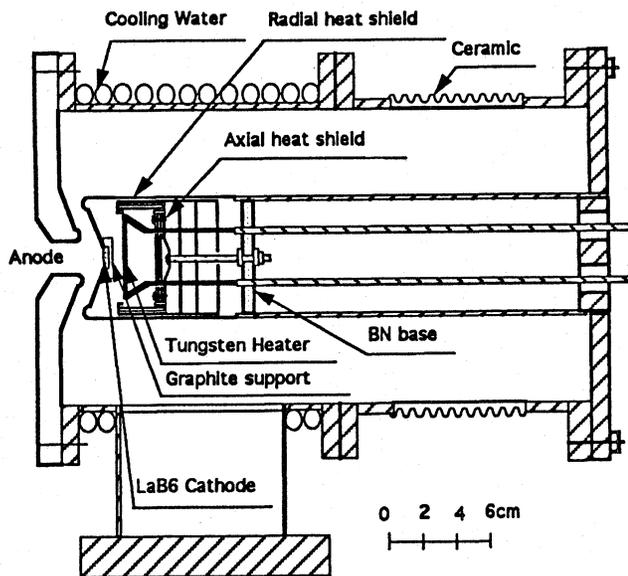
誘導線形加速器を用いたマイクロ波自由電子レーザー (MFEL) テスト・スタンド¹⁾がKEKに建設され、シングル・ステージでのFEL実験が行われている。これは将来計画のリニア・コライダー用高周波源²⁾の開発を目標としている。現在、電界放出型の冷カソードを使用し、約2 kAの大電流電子ビームを発生させている。カソード材としてベルベット又は炭化フェルトを使っているが、カソード表面の蒸発のため寿命が短い。また発生するビームの質にバラツキがあり、高繰り返しの要求を満足しない。誘導線形加速器用熱カソード電子銃の開発のため、小型の電子銃を製作し³⁾、加熱およびエミッション電流特性を調べるとともに技術的な問題点を追及している。カソードに要求される特性は高電流密度、高繰り返しで比較的低真空 ($\sim 10^{-6}$ Torr.) で動作することであり、材質として六ホウ化ランタン (LaB_6) を選択した。 LaB_6 は大

気にさらしても活性化処置後、再び高電流密度が得られる丈夫なカソード材である。欠点は高電流密度を得るためカソードを1,600°C以上の高温に加熱しなければならないことである。

2.電子銃アセンブリー

試作したピアス型電子銃のアセンブリーを第1図に示す。電子銃は二極管構造を持ち、アノード孔からビームを取り出す。EGUNコード⁴⁾を用い、電極等形状の詳細設計を行い、パービアンスを 1.4×10^{-6} に決めた。このパービアンズ値は LaB_6 カソードを将来、誘導線形加速器にマウントし、1kA以上のエミッション電流を引出すことを考慮してスケールした。

カソードは直径12mm、厚さ3mmの LaB_6 焼結体であり、グラファイト台座に固定される。これはカソード温度を一様にすると同時に高温でモリブデン、タングステン等の支持金具にホウ素を拡散さ



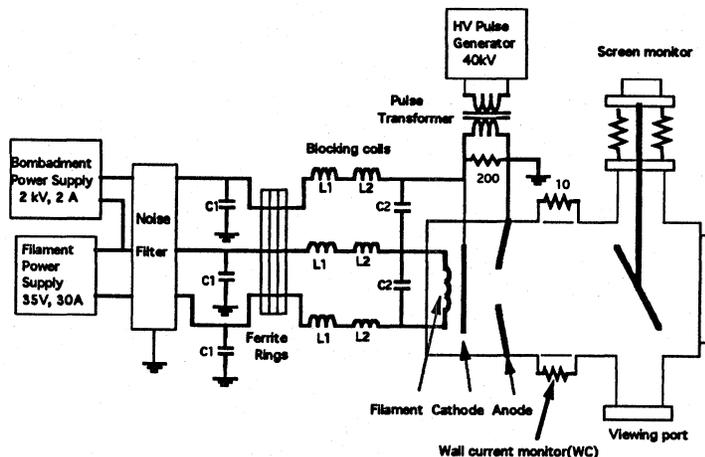
第1図 電子銃アセンブリー

せないためである。グラファイト台座はモリブデン製ホルダーに細いピンで固定され、電極を形成する。更に直径5.6mm、厚さ0.5mmのタンタル製チューブにマウントされる。チューブ先端はウィーネルト電極を形成するようにしぼり加工される。このチューブ中に加熱ヒーターと熱シールドが入っている。熱が外に漏れないように、半径と軸方向にタンタル製シールド板で五重にヒーターを囲む構造にしてある。シールド板間ギャップを作るため、厚さ0.1mmのシールド板にデンプル加工している。ヒーターは直径0.7mmの純タングステン線をスパイラル状に巻いてある。上記カソード・アセンブリーは直径4.6mm、厚さ5mmの窒化ホウ素 (BN) 板に固定される。またモリブデン製アノードは直径13mmのビーム引き出し穴をあけてあり、真空容器内壁に取付けられている。真空容器外側に、内部からの熱ふく射で加熱された容器を冷却するため、冷却水ジャケットが取付けられている。

3. カソード加熱システムと高圧回路

カソード加熱システムと高圧回路のブロックを第2図に示す。カソードはヒーターからの熱ふく射と電子衝撃の併用により加熱される。タングステン製ヒーターは直流電源で1,800~1,900℃に

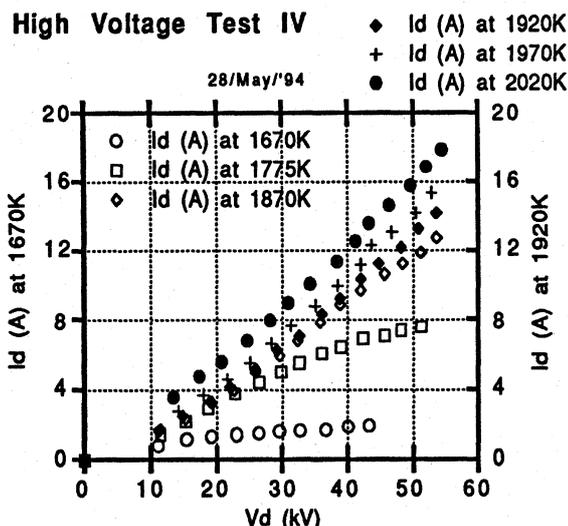
加熱する。このときカソードは1,000~1,100℃に加熱される。同時にヒーターからの熱放出電子を1.0~1.5kVの直流電圧で加速し、電子衝撃によりカソードを1,600~1,700℃に加熱する。現在、約270Wのヒーター電力と約420Wの衝撃電力でカソードを1,750℃まで加熱している。ヒーター電源は電子衝撃加熱時、熱的安定を得るため、定電力モードで通電している³⁾。カソード温度は光高温計で構成された放射温度計(波長0.95ミクロン)を用いて測定している。高圧パルス電源は⁵⁾サイラトロンでスイッチングするPFLであり、PFLとして25m長の20D同軸ケーブルを使用している。従って、パルス幅は250nsになる。高圧電源と負荷の電子銃間に1:2のパルストランスを設置し、極性を反転させ、電圧を2倍に昇圧している。現在、電源出力で35kV、トランス出力で60kV程度の高圧を得ている。電源と負荷電子銃のマッチングをとるため、電子銃と並列に200Ωのダミー抵抗を入れている。



第2図 加熱と高圧回路

4. 高圧試験結果と議論

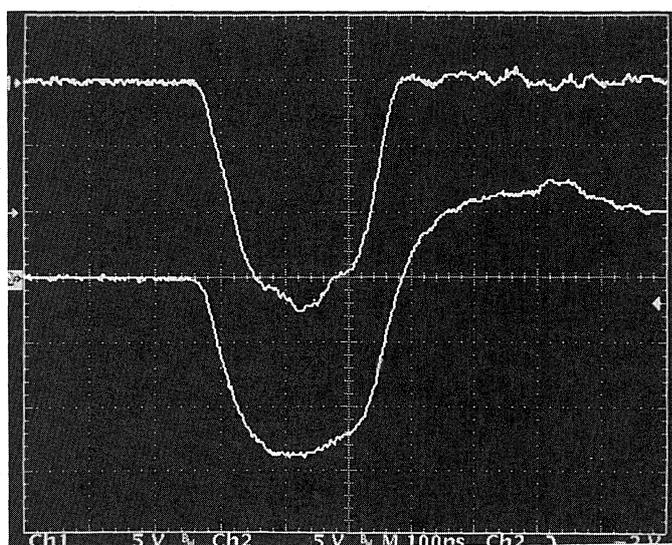
電子銃の高圧エミッション試験結果をカソード温度と電圧の関数としてエミッション電流を第3図に示す。エミッション電流はアノードから5cm下流の壁電流モニター (WCM) で観測している。測定



第3図 高圧エミッション試験結果

精度は高圧ノイズが入るため、最大±0.5 A程度と推定される。最大放出電流はカソード温度1, 750℃ (=2020K) で高圧55kVをかけた時、1.8 Aが得られている。この時のWCM出力と高圧波形を第4図に示す。電流密度にすると約16 A/cm²になる。最大電流は空間電荷で制限されている。第3図から電子銃は1, 600℃ (=1870K) 以上では空間電荷制限領域で、1, 500℃ (=1770K) 以下では温度制限領域で動作している事がわかる。以前の測定データから1, 540℃ (=1810K) まで温度制限領域である。温度制限領域の測定データからRichardson-Dushmanの式を用いて、LaB₆カソードの仕事関数を求めると2.51~2.55 eVになる。空間電荷領域の測定データはほぼLangmuirの式でフィットできる。第3図において、カソード温度が上昇するとエミッション電流が増加している。この現象はカソード温度が上がると熱膨長のため、カソード・ロッドが伸び、アノード側に近づきパービアンスを大きくしていると推定する。パービアンスはカソード温度1, 600℃で 1.13×10^{-6} 、温度とともに上昇し、1, 750℃で 1.52×10^{-6} になる。上記高圧エミッション試験中、真空度は $(2 \sim 4) \times 10^{-7}$ Torr.の範囲であった。また、真空度を 10^{-6} Torr.に下げ、高圧を印加したがエミッション電流の減少

はなかった。次に、カソード寿命を調べるため、電子銃の長時間エミッション試験を2回に分け、行った。カソード温度を1, 550℃に固定し、約30 kVの電圧を2Hzの繰り返しで印加した。約5 A/cm²の電流密度を得ながら、420時間程度電子銃を運転してもエミッション電流の減少はなかった。LaB₆カソードの寿命はもっと長い。問題点として、カソード固定が不十分のため200時間以上連続運転するとカソードが傾き、ヒーターに接触してしまうことである。高温におけるカソード固定法を今後、十分検討しなければならない。



第4図 エミッション電流 (上) 5A/div. と高圧波形 (下) 20kV/div.

参考文献

- 1) S. Hiramatsu et al., Nucl. Instrum. Meth. A285(1989)83.
- 2) S. Hiramatsu et al., Part. Acc. Vol.31(1990)75.
- 3) K. Ebihara et al., Proc. of 9th Symposium on Accelerator Science and Technology, KEK, Japan(1993)113.
- 4) W.B. Hermansfeldt, SLAC Stanford Univ., CA, Rep.226,1986.
- 5) K. Takata et al., KEK-76-21,1977.