

LaB₆ を用いた薄型電子銃の製作

名古屋大学 工学部・工学研究科技術部 中西幸弘 高木 誠 福森 勉

1. はじめに

名古屋大学工学研究科エネルギー理工学専攻プラズマ物性工学講座において、プラズマ生成用カソードの熱電子発生源として導電性セラミック LaB₆ を使用し、これまでメーカにその加工を含め製作（高価）を依頼してきた。しかし LaB₆ カソードは破損しやすく、研究室からその経済的負担の軽減化と同時に新しい LaB₆ カソードの開発も念頭においた試作の相談があった。LaB₆ は脆性・強靱性材料であるため切削加工は容易ではないが、電気伝導性をもったセラミックという特徴を持つことからワイヤ放電加工機による加工が可能である。そこで試作の結果、以下に示す直熱型電子銃のフィラメントを製作することができた。また、LaB₆ の薄板形状、微細切断等の加工ができたことで、破損したり摩耗した LaB₆ 端材を再加工し、さらに小型・薄型のものを製作するという再利用も可能となったので報告する。

2. NAGDIS- 実験装置プラズマ生成部

LaB₆ 熱陰極は、その加熱方法によって (a) 傍熱型と (b) 直熱型がある。傍熱型は、ヒーターで背後から LaB₆ ディスクを加熱し電子を放出させる。直熱型は、LaB₆ が適当な抵抗値を持つことからジグザグ形状のフィラメントに直接電流を流し、ジュール熱によってそれ自身ヒーターとして加熱させ電子を放出させる。図 1 は NAGDIS- 実験装置のプラズマ生成部（直熱型カソード）である。どちらの構造をとるにせよ、電子の放出量は LaB₆ の放出面の表面積によって決まり、容積が大きいと放熱も大きくなり加熱するのに大電流を必要とするため可能な限り薄型であることが望ましい。

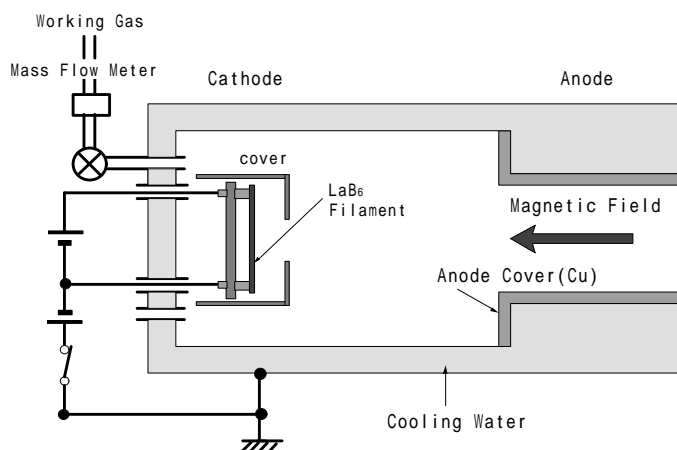


図 1 プラズマ生成部（直熱型）

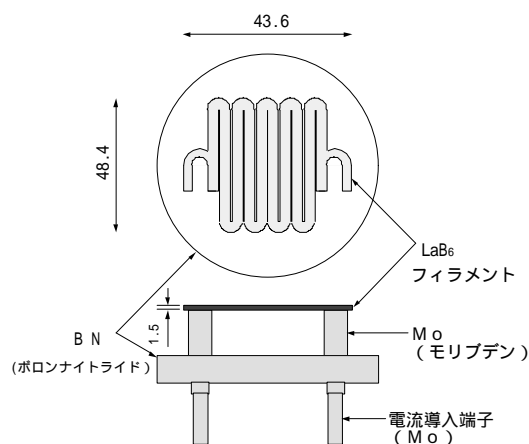


図 2 直熱型電子銃

3. LaB₆ の材料特性

LaB₆（六ホウ化ランタン）とは、熱電子放出特性に優れた導電性セラミック結晶体を素材に用いた熱陰極である。特徴としては、仕事関数が小さいため使用温度が低く、蒸発による消耗を低く抑えることができること、特別な活性化処理が必要でなく、BaO（酸化バリウム）と比較して使用途中に大気へさらしても熱電子放出特性は劣化しないこと、さらに他の高融点金属（W、Ta、Re 等）の熱陰極材料と比較して消費電力を小さくできるメリットがある。一方で、水分を含みやすいこと、均等加熱が難しく熱応力で割れてしまうこと、脆性材料のため取り扱いに注意が必要なこと、酸化され易いため酸素分圧の低い状態で使用しなければならないなどのデメリットがある。（特性を表 1 に示す）

表 1 LaB₆ 材料特性

	LaB ₆	W (タングステン)
仕事関数 (電子放出に必要なエネルギー)	2.7 eV	4.5 eV
使用温度	1673 ~ 1923 K	> 2273 K
蒸発速度* (温度による蒸発速度)	2 × 10 ⁻¹⁰ g/cm ² s	5 × 10 ⁻⁸ g/cm ² s
電気伝導度 (W は電気抵抗)	667 × 10 ⁴ · m ⁻¹	5.65 μ · cm

* 2 A/cm² の電子電流密度 (J Max) を得る温度での各々の蒸発速度

4. 加工・製作

電子銃部分の構造を図2に示す。高温中で使用するため、熱の遮蔽と電氣的絶縁のためポロンナイト(耐高温セラミック)の円板を置き、その上に先端にネジを切ったモリブデン電極を立て LaB₆ フィラメントを固定し、電流導入端子を介して電力供給する。

LaB₆ フィラメントの製作については、加工中の歩留まりを考慮して一度に5枚分作製することにした。材料を立てた状態で、長さ70mm、厚さ(高さ)55mm、幅1.5mmで0.4mm間隔に5層のくし型状(写真1)に溝加工した。その後、横に倒した状態でフィラメント形状の加工をおこなった。なお、ワイヤ放電加工機の設定は、0.2mm 真鍮線を使用し、加工条件はメーカ標準値(三菱電機製)<Eパック No.922>を基本に、事前の破材のテスト加工により得られた値から、加工電圧、ピーク電流、安定回路A、加工液流量、のノッチ数を調整した。

図1にみられるように、くし型溝加工の際に、縁欠けをおこなっているが、フィラメント形状に欠けが残ると、加熱の際に電流が集中することになり割れの原因となる。また、加工後、付着したワイヤ電極材の真鍮を、20倍に薄めた防錆剤(酸)に漬け超音波洗浄器で1時間ほど洗浄をおこなって落とした。

製作した電子銃を放電部フランジに取り付けたところを写真2、写真3に示す。

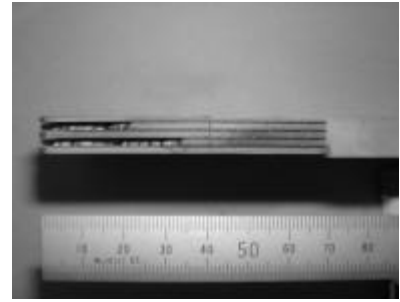


写真1 くし型溝加工後

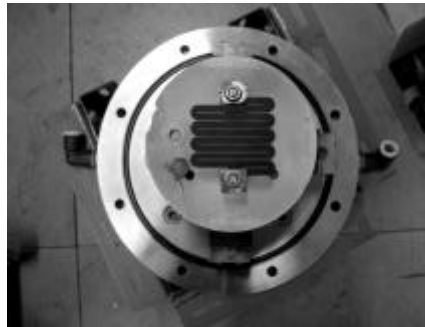


写真2 製作した電子銃(上から)

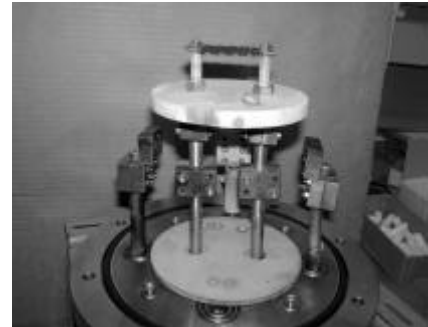


写真3 製作した電子銃(横から)

5. 性能評価

製作した LaB₆ カソードの加熱能力を確かめるため、真空状態における入力電圧に対する表面温度の変化を測定した。結果を図3に示す。測定方法については装置終端部からパイレックスウインドウ越しに放射温度計でLaB₆カソードの表面温度を測定し、ウインドウ越しであることから事前に校正をおこなった値を用いている。なお、PW5データとは、これまで外部製造業者において製作した LaB₆ カソードの値である。図3より今回製作した LaB₆ カソードは理論値やPW5とほぼ同様の性能があることがわかる。

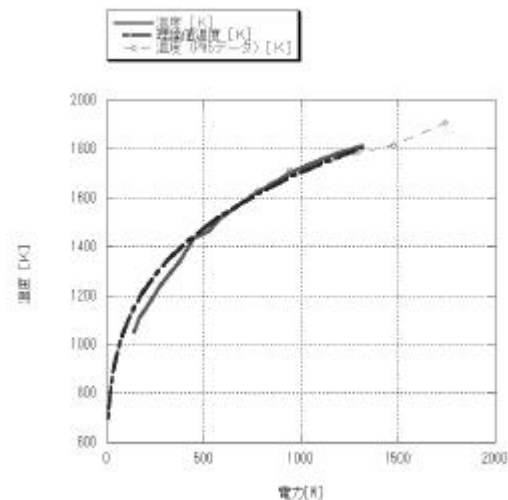


図3 電流-表面温度特性

6. まとめ

今回の製作は事前の研修において、実験で破損した LaB₆ をワイヤ放電加工機によって薄板加工ができることを確認し、得られた結果をもとに電子銃の薄型フィラメントの製作をおこなった。その際に、問題となっていたワイヤ線材の付着の除去についても解決することができた。今後の課題としては、くし型加工時の欠けの原因を検討し安定加工条件を調べること、LaB₆ 材による立体的形状の製作、接合、ネジ加工性などを検討し省電力で安価な高密度電子銃の製作へ取り組みたい。

7. 謝辞

製作並びに発表にあたり、測定データの提供をいただいたエネルギー工学専攻高村研究室と助言・指導をいただきました同研究室大野哲靖助教授に厚く御礼申し上げます。また、機器操作の指導をいただいた工学研究科技術部高田昇治技官、立花一志技官、白木尚康技官、御厨照明技官に感謝の意を表します。

参考文献

- 増崎 貴 " 個体表面へのプラズマ熱流に関する研究 " 博士論文 (1995年)
- 成田 茂 " 高熱流プラズマ源の開発と水素放電機構に関する研究 " 修士論文 (1996年) p21 - 29