

CHARACTERISTICS OF THE SINGLE-CRYSTAL
LANTHANUM HEXABORIDE CATHODE ELECTRON GUN.

Toshikazu KURIHARA, Yoshio YAMAZAKI, Hitoshi KOBAYASHI, Isamu SATOH,
Shigeki OTANI*, Yoshio ISHIZAWA*
Photon Factory, National Lab. for High Energy Physics (KEK)
Oho 1-1, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan
*National Institute for Research in Inorganic Materials
Namiki 1-1, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

ABSTRACT

Single crystals of lanthanum hexaboride were prepared by the RF heating floating zone method. The cathode of the diameter 1mm ϕ was made of this single crystal. The emittance of the gun with this cathode was measured by the high accuracy pepper pot method. A current density of 57.3A/cm² and a brightness of $0.395 \times 10^{12}/\pi^2$ A were obtained. The relationship between the surface condition of this cathode and the measured value of the emittance is reported.

単結晶六ホウ化ランタンカソードを用いた電子銃の特性

1、はじめに

電子放出材料としての特性として、一般的にカソードに要求される要素は、1) 電流密度が高いこと。2) 放出される電子のエネルギーがそろっていること。3) 安定に動作すること。4) 寿命が長いこと。等があげられる。

仕事関数の低い順に分類すると、酸化物(1eV)、ホウ化物(2eV)、炭化物(3eV)の順に大きくなっている。われわれは、高輝度電子銃の開発を進めてきているが、例えば50A/cm²程度の放射電流密度を得ようとすると、酸化物カソードでは電気抵抗が高いため適さない。

六ホウ化ランタンの研究はLafferty¹⁾の行った研究に端を発するが、その後、20年を経てBroers²⁾が走査型透過電子顕微鏡のために開発して、注目されるようになった。この後主に電子顕微鏡の分野で盛んに開発がなされてきた。このような経緯もあり、加速器用のカソード表面が広く平坦なカソードの開発はあまり試みられていない。

六ホウ化ランタンの持つ優れた点については次のようにあげられる。1) 蒸発速度が遅い。2) 比抵抗は動作温度で110 $\mu\Omega$ -cmであり、電気的には良導体である。従って、例えば10A/cm²以上の大電流をうることは容易である。3) 動作温度で化学量論的に近い組成で蒸発する。六ホウ化ランタンは融点が2175 $^{\circ}$ Cと高いので単結晶化が難しく、焼結体の多結晶が用いられてきた。しかしながら、焼結体では不純物が粒界に濃縮されやすい。一方、単結晶六ホウ化ランタンの持つ優れた点は以下のようである。1) 陰極表面が均一である。2) 仕事関数の結晶面に対する異方性を利用して、仕事関数のもっとも低い面を選択することが可能である。3) 単結晶製法上の副産物として、高純度のカソードの作成が可能である。不純物の多い結晶では不純物が表面に析出して仕事関数が大きくなりビームの安定性が悪くなるからであり、高純度単結晶により不純物によるカソードの劣化が低減される。したがって、多結晶に比べてこれらの優れた点がビームのもつエミッタンスにも反映されると思われるが、円柱状のカソードを持つ電子銃ではこれらの差が見られないとの報告がなされている³⁾。われわれは電子銃のビームを微小のビームレットに分割しシンチレータにより高精度にエミッタンスを測定する手法を開発しつつあり⁴⁾、これにより温度制限領域においては明らかに単結晶六ホウ化ランタンカソードが優れていることが明らかになった。

2、単結晶六ホウ化ランタンを用いた電子銃の作成

結晶性を良くするために六ホウ化ランタンにセリウムを添加し⁵⁾、直径9mmの単結晶をFloating Zone

法により作成し、放電加工により2 mm角で先端が1mmφのカソードチップを切り出し、改良型フォーゲルタイプ⁹⁾のカソードホルダーに組み込み電子銃を構成した。結晶面は(100)面を用いた。単結晶カソードの作成は以下のように行った。六ホウ化ランタンおよび六ホウ化セリウムの各粉末を所定比に混合し、真空中1700℃で焼結し、原料棒とした。これを育成炉に取り付け6~7気圧のアルゴン雰囲気中で高周波により高温溶液から育成するfloating zone法により単結晶を作成した。電子銃の特性試験を行ったカソード用にはサブグレインバウンダリーが少ない(La_{0.7}Ce_{0.3})B₆の単結晶を用いた。六ホウ化ランタン結晶でのバウンダリー密度は1100cm/cm²であるが、六ホウ化セリウムの添加によりバウンダリーが減少し、セリウムの濃度30-60%の範囲においてバウンダリーが完全に除去された良質の単結晶が得られた。サイズの異なる稀土類イオンが固溶することにより、その周辺に拡張領域ができ、それらが熱応力による転位の運動を妨げ、バウンダリーの形成を押さえたものと思われる。

動作温度において六ホウ化ランタンはタングステン、タンタル等高融点金属と反応する。カソード支持金属との反応を防ぐためにカーボンを用い、いわゆるフォーゲルタイプのカソード構造とした。

3、実験

前述の単結晶をカソードとした電子銃のエミッタンスを、前回報告したpepper pot法により測定した。測定中の圧力は5x10⁻⁶Paであり、カソード温度は検出素子にSiを用いた放射温度計により測定した。実験は全て温度制限領域において行った。

単結晶六ホウ化ランタンのエミッタンスの経時変化、および走査型電子顕微鏡によるカソード表面の変化の観察、さらに多結晶六ホウ化ランタンとのそれぞれの比較等を行った。

4、結果

pepper pot法によりシンチレータ上のスポットの変化を時間を追って測定した結果を図1、2、3に示す(開始直後、48時間後および72時間後)。時間と共にスポットの輪郭がはっきりして真円になってくるのが明らかである。実験開始直前、および実験終了直後のカソード表面の状態は図4、5のようになっていた。実験開始直前の表面は硝酸によるエッチングのあとがみられるが、実験終了後は(100)面が顕著になってきているのがわかる。スポットのパターンを多結晶と比較してみると図6~9のようになる。多結晶のスポットは単結晶のそれと比較して~数倍大きく、これは単結晶からのビームの方向性が揃っていることを示しており、われわれの開発したpepper pot法により両者の差が顕著に見られた。

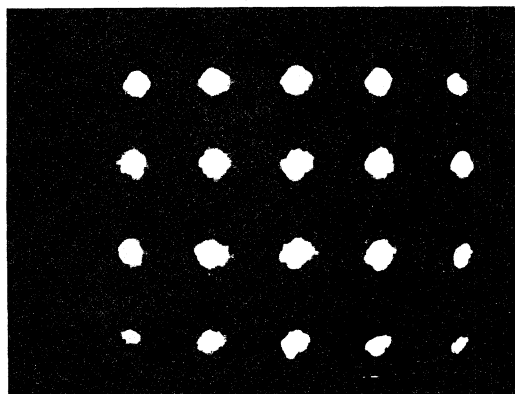


図1 シンチレータ上のスポット (開始直後)

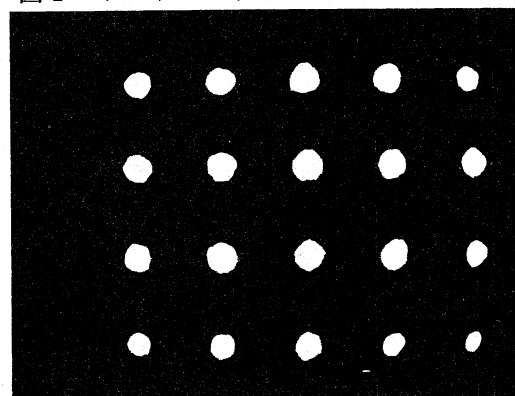


図2 シンチレータ上のスポット (48時間後)

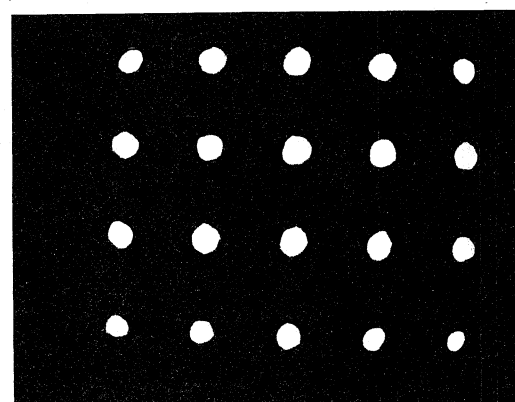


図3 シンチレータ上のスポット (72時間後)

参考文献

- 1) J. M. Lafferty: J. Appl. Phys. 22 (1951) 299.
- 2) A. N. Broers: J. Phys. E2 (1969) 273.
- 3) 四方道治、山崎泰規、志水隆一、田中高穂、河合七雄: 真空 第22巻 第5号 (1979) 185
- 4) Y. Yamazaki et al.: Proc. 16th Linear Accelerator Meeting in Japan 1991, p278
Y. Yamazaki et al.: Nucl. Instr. and Meth. A, to be published.
Y. Yamazaki et al.: Proc. of this meeting.
- 5) S. Otani et al.: J. Crystal Growth 108 (1991) 425
- 6) Y. Yamazaki et al.: Proc. of this meeting.

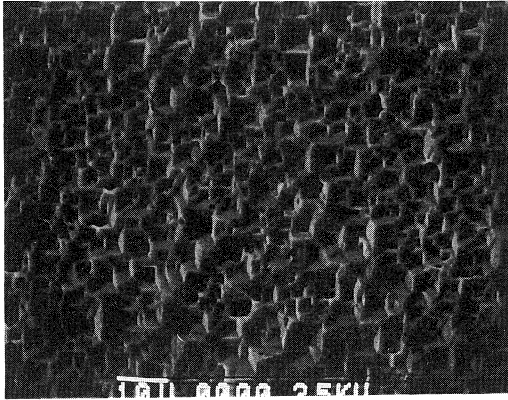


図4 カソード表面 (実験開始前:SEM像)

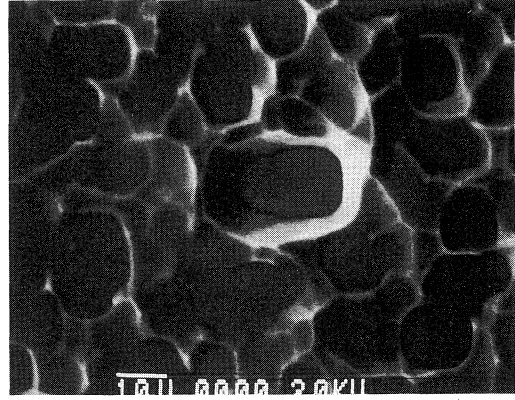


図5 カソード表面 (実験終了後:SEM像)

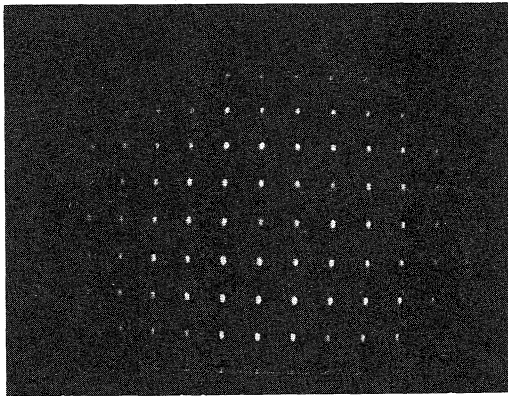


図6 単結晶カソードのペーパーポットパターン

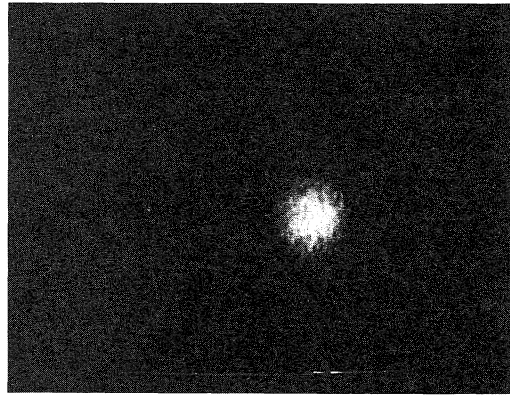


図7 図6の拡大

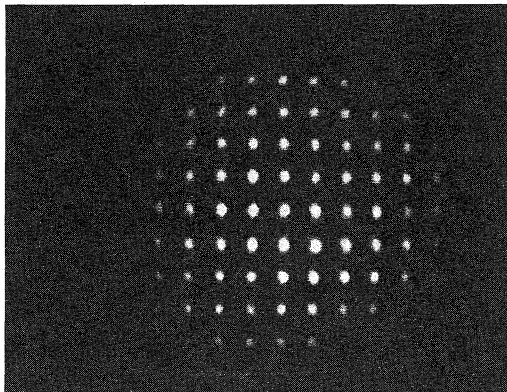


図8 多結晶カソードのペーパーポットパターン

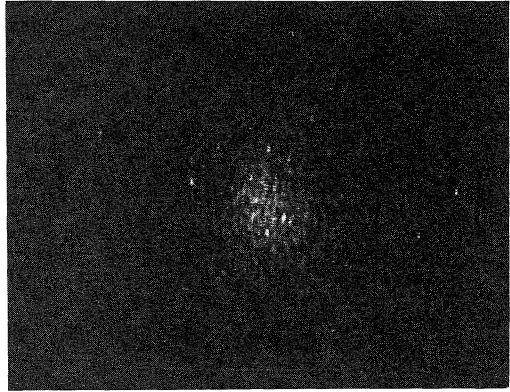


図9 図8の拡大