

TRIODE ELECTRON GUN WITH GRAPHITE FOIL GRID

Toshikazu KURIHARA and Hitoshi KOBAYASHI

Photon Factory, National Lab. for High Energy Physics (KEK)

Oho 1-1, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

ABSTRACT

We developed the diode gun with lanthanum hexaboride (LaB₆) cathode as a high brightness electron source for electron linacs. The emittance was measured by our accurate pepper-pot technique with good results. We went one step further by developing a triode gun using a LaB₆ cathode which was used 20 years ago in electron microscopes. This material is chemically very active at the operation temperatures required for high density electron emission, but attacks most materials adjacent to it. For linac pulse mode operation a non interacting grid is essential near the cathode. Recently we developed a novel mesh grid made of graphite foil to prevent such chemical reaction. Even at the operating temperatures of about 1873 K, this grid maintains its geometrical accuracy, owing to the thermal characteristics of graphite materials.

グラファイトフォイルによるグリッドを用いた三極管電子銃

1、はじめに

我々は高輝度電子源、ならびに低エミッタンスビームの計測方法の開発[1-4]を行ってきた。また電子放射材料として優れた特性をもつLaB₆に注目し、これをカソードを用いた2極管構造の電子銃を開発し、そのエミッタンスを計測[5]してきた。今回、電子銃として3極管構造とするために、グラファイトフォイルをグリッド材として用い、カソードから蒸発するLaB₆とグリッドとの反応を防ぐこととした。グラファイトの特性から、高温の動作温度でもグリッドの構造は安定であり、位置精度等を上げることができた。

2、グラファイトの特性

高輝度電子銃のための設計を行い、これまでにバリウム含侵型タングステンをカソードとして用いた2極管構造の電子銃を試作してそのエミッタンスを計測してきた。さらにカソード表面の状態がビームのエミッタンスに与える影響が熱初速度

によるものより、大きいことを計算、および実験上からも確認した[3]。したがって単結晶カソードによる電子銃が加速器用電子銃としても期待される。

LaB₆がカソード材として優れていることは1950年代から明かにされてきていたが、動作温度が約1800Kと高温であることからBroers[6]、Vogel[7]の研究をまっけて分析電子顕微鏡用として実用化されるようになった。しかしながら、加速器用としてはカソード面積の大型化(例えばVogelのカソードのチップの曲率半径は15 μ m)、パルス動作のための3極管化といった問題を解決する必要がある。我々は単結晶カソードとしてLaB₆を取り上げ2極管電子銃とし、計測によりそのエミッタンスの優れた点を明かにしてきた。したがってLaB₆カソードを加速器用電子銃に使えるものとしようというのが今回の試作に至った動機である。

動作温度でのLaB₆の問題点はその蒸発およびカソード周辺の高融点金属との反応である。LaB₆の高温での蒸発速度は0.07 μ m/h (at 1823K)となる。

表. 1 線熱膨張率[8]

物質	温度 [K]	線熱膨張率 [10 ⁻⁶ deg ⁻¹]	物質	温度 [K]	線熱膨張率 [10 ⁻⁶ deg ⁻¹]	物質	温度 [K]	線熱膨張率 [10 ⁻⁶ deg ⁻¹]
Ag	293	19.0	In { // c	293	-9.6	Sb { // c	293	16.2
Al	293	23.0	⊥ c	293	52.9	⊥ c	293	8.4
Al ₂ O ₃ { // c	293	5.6	InSb	273	4.8	Si	293	2.5
	293	5.0	Ir	293	6.5	SiO ₂ (水晶) { // c	293	7.4
Ar	75	590	K	293	82	⊥ c	293	13.6
Au	293	14.2	KCl	293	37.1	SiO ₂ (石英ガラス)	300	0.35
Be { // c	293	8.9	LiF	293	33.2	Sn(白色) { // c	293	32.6
	293	12.3	Mg { // c	293	27.0	⊥ c	293	16.5
BeO	293	6.5		MgO	293	25.3	Ta	293
Bi { // c	293	16.2	Mo	293	10.4	Ti	293	8.6
	293	11.7	Na	293	5.0	TiO ₂ (ルチル) { // c	293	9.1
C(ダイヤモンド)	293	1.00	NaCl	300	69.6	⊥ c	293	7.1
C(グラファイト) { // c	293	25.9	⊥ c	293	39.7	Tl	293	28.7
	293	-1.2	NaNO ₂ { // a	323	120	W	293	4.5
Ca	293	22.1	// b	323	60	V	293	7.8
Cd { // c	293	54.3	// c	323	-4	Zn { // c	293	64.3
	293	19.8	Ni	293	12.8	⊥ c	293	13.0
CdS { // c	313	4.0	Os	293	4.7	ZnS	273	6.3
	313	6.5	P	293	127	Zr { // c	300	6.9
Co	293	13.7	Pb	293	28.7	⊥ c	300	4.7
Cu	293	16.7	PbS	313	18.6	インバー	23~373	-1.5~2.0
Fe	293	11.8	Pd	293	11.6	マンガニン	293~373	18.1
Ge	293	5.7	Pr	293	4.4	モネル	298~373	13.5~14.5
Gd ₂ (MoO ₄) ₃ { // a	313	18.3	Pt	293	8.9	ニクローム	293~373	13.0
	313	16.7	Rb	293	91	白金-20%ロジウム	273~773	9.6
	313	-4.7	Rh	293	8.2	ステンレススチール	293~373	10.0
H ₂ O	273	55.8	S	293	70			

表. 2 2次電子利得[9]

金属等	δ _m	V _m (V)
Li	0.56	100
Be	0.53	200
C(グラファイト)	1.0	300
C(すす状)	0.45	500
Cs	0.72	400
Mg	0.95	300
Ba	0.83	400
Al	0.97	300
Cu	1.27	600
Ag	1.47	800
Au	1.45	800
Ni	1.3	500
Mo	1.25	315
W	1.4	630
Be-Cu	7	600
Ag-Mg	10	500
Al-Mg	10-15	600
Ni-Be	12	700

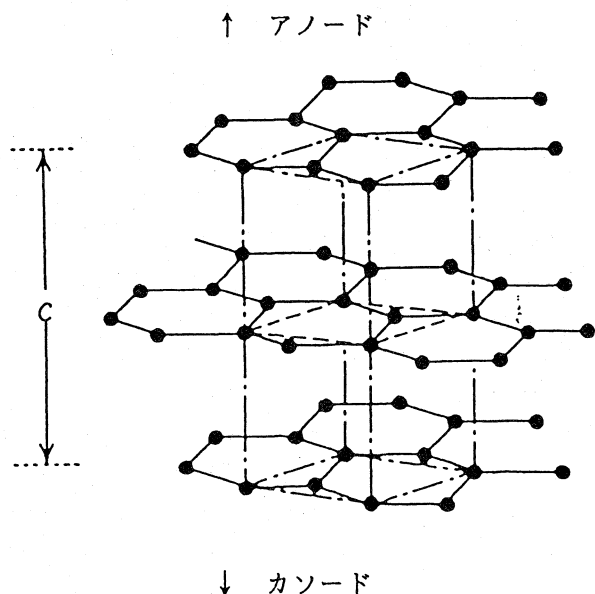


図. 1 グラファイトの結晶構造

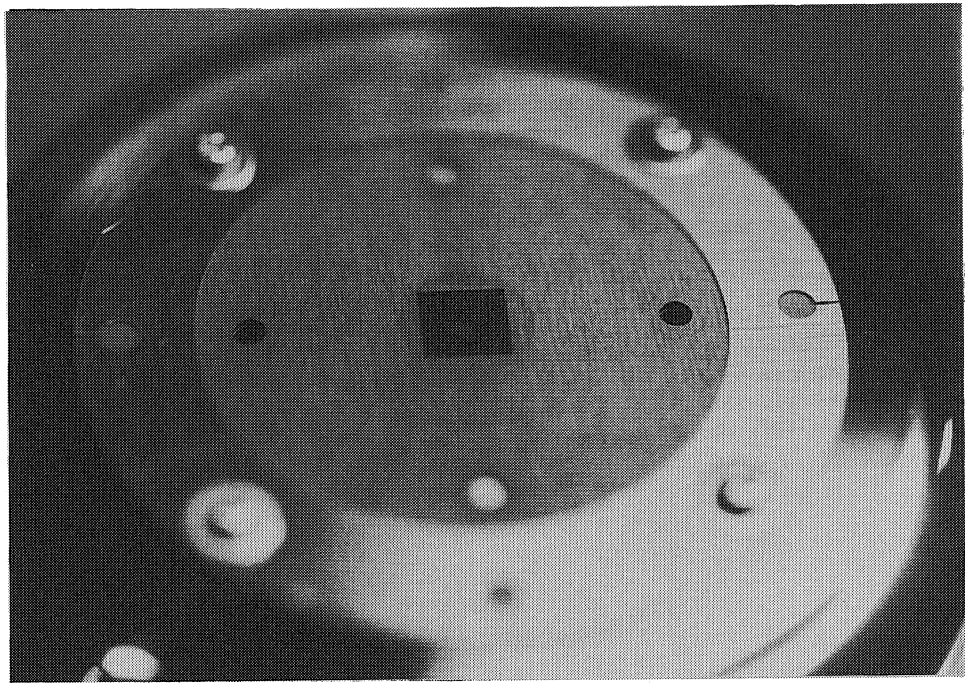


図.2 グラファイトグリッド

3極管構造とした場合、カソード直前に位置するグリッドにはこのうちの一部が付着しボロンが拡散していくこととなる。したがってカソード周辺の材料および構造から検討を行った。グラファイトの構造は図.1のようにになっている。炭素六員環が連なる層状構造をもち、格子定数 $a=2.456$, $c=6.696\text{Å}$ となっている。1個のC原子は同一平面内で正3角形の3個のC原子と共有結合しており、C-Cは 1.42Å 、上下の結合は van der Waals 結合により、 c の半分の 3.35Å も離れている。融点は元素中最高の 3550°C である。物性は c 軸方向に対し非常に異方的である。比抵抗は面内で約 $4\sim 7\times 10^5\ \Omega\text{cm}$ の金属性の電気伝導を、垂直方向では 10^4 倍大きい半導性を示す。線熱膨張率は表.1に示すように $\parallel c\ 25.9\times 10^{-6}(\text{deg}^{-1})$ また $\perp c\ -1.2\times 10^{-6}(\text{deg}^{-1})$ (293K) である。したがって通常グリッド材料としてよく使われている高融点材料が動作温度において膨張する傾向にあるのに対し、今回用いたグラファイトは図のような方向で使用すれば、グリッド面内は収縮する傾向にあるためグリッド

を均一に張ることができ、高精度に等ポテンシャル面を作ることができると期待される。なお2次電子利得については金属と比較しても1.0と低い。(表.2)

3、グラファイトグリッド付き電子銃の試作
試作したグラファイトグリッドを図.2に示す。 $125\mu\text{m}$ のグラファイトフォイルを円盤状に加工後、放電加工によりその中心部に直径 6mm にわたって $200\mu\text{m}$ 間隔で $40\mu\text{m}$ のメッシュを作成した。こうして作成したグリッドをカソードの前方 $300\mu\text{m}$ の位置にスペーサを用いて固定した。電子銃組み立て後、2極管電子銃と同様の過程を経て実験を行いつつある。pepper pot法によるエミッタンス測定を行いつつあるが、以前、金属グリッドを用いて測定したときに見られたグリッドメッシュ全体の熱による歪みからくる電子ビームの乱れは観測されなかった。なお、現在グリッドメッシュのレンズ効果によるメッシュ内部の電子ビームの歪みを測定しつつある。

4、まとめ

高輝度電子銃、特に LaB_6 をカソードとした3極管電子銃の開発のためにグラファイトフォイルを用いてグリッドメッシュを作製した。

動作温度(1823K)でも化学的に安定であり、 LaB_6 カソード用グリッドとしてもっとも有望である。

層状構造をもつため線熱膨張率も//cと \perp cとでは非常に異方性があり、特に \perp cは $-1.2 \times 10^{-6} (\text{deg}^{-1})$ (293K)と負の値をもつためグリッドメッシュの歪みは起こりにくい特性をもつ。

参考文献

- [1] Y.Yamazaki et al., "Design and Manufacture of High Brightness Electron Gun", Proc.15th Linear Accelerator Meeting in Japan 1990, p82-84
- [2] Y.Yamazaki et al., "Development of Emittance Measurement for an Electron Gun", Proc.16th Linear Accelerator Meeting in Japan 1991, p278-280
- [3] Y.Yamazaki et al., "Development of High-Brightness Electron Gun", Proc.17th Linear Accelerator Meeting in Japan 1992, p22-24
- [4] Y.Yamazaki et al., "High-precision pepper-pot technique for a low-emittance electron beam" Nucl. Instr. and Meth. A322 (1992) 139.
- [5] T. Kurihara et al., "Characteristics of the Single-crystal Lanthanum Hexaboride Cathode Electron Gun", Proc.17th Linear Accelerator Meeting in Japan 1992, p25-27
- [6] A.N. Broers, "Electron Gun using Long-Life Lanthanum Hexaboride Cathode", J. Appl. Phys. 38, (1967) 1991
- [7] S.F. Vogel, "Pyrolytic Graphite in the Design of a Compact Inert Heater of a Lanthanum Hexaboride Cathode", Rev. Sci. Instrum. 41 (1970) 585
- [8] 新版 物理定数表 朝倉書店 (1978)
- [9] 日本表面科学会編 表面科学の基礎と応用 NTS (1992)