

Development of a DC/Pulse electron gun with an aperture grid

Takashi Sugimura^{1, A)}, Satoshi Ohsawa^{A)}, Mitsuo Ikeda^{A)}, Yasufumi Hozumi^{2, A)} and Koich Kanno^{B)}

^{A)} Accelerator Laboratory, High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{B)} AET, Inc.

2-7-6 Kurigi, Asaoku, Kawasaki, Kanagawa, 215-0033

Abstract

A new thermionic-electron gun for a high-brightness X-ray source is under development. Its extraction voltage and current are 60 keV and 100 mA, respectively. In order to focus beams on a metal target within $1.0 \times 0.1 \text{ mm}^2$, it is required for the emittance of a beam to be small. A grid electrode is not an orthodox mesh grid but an aperture grid. An aperture grid can prevent increase of the emittance of a beam and can also prevent generation of heat of a grid by DC beam. Electrodes dimensions such as shape of Wehnelt electrode and a shape of an aperture grid are determined by the EGUN simulation and parameters were optimized. This electron gun is under manufacture now, and a beam examination will be performed soon.

アパーチャグリッドを用いたDC/Pulse電子銃の開発

1. はじめに

現在、高輝度パルスX線を必要とする研究には大型の放射光施設が利用されている。放射光光源はリングの構造や共同利用という制限からその時間構造を任意に変えて実験を行うことは出来ない。市販されているラボに設置できるX線発生装置では超高輝度のもはなく、そのためにS/Nが悪い。また、パルスX線を発生出来ない等の問題点が存在する。そこで、直流を含む任意のパルス幅の単色X線を通常のラボで使用できる超高輝度X線発生装置を開発することはX線の利用者から強く求められている。

このような要求をふまえ、コの字型回転対陰極と、180度偏向電磁石を使用した電子ビームの輸送光学系との組み合わせによりラボ用としては既存の10倍以上の輝度を有するX線発生装置^[1]の開発を行っているが、この発表ではその電子銃部の開発について報告する。

2. 電子銃設計方針

X線発生装置の開発の方針として開発の1号機については手持ちの機材を流用し、まずパルスビームを用いてコの字型回転対陰極や光学系を含め動作の検証を行うこととした。これにより電子銃部については既存高圧直流電源の仕様から印加電圧 60 kV 取り出し電流は 100 mAとなった。ただし更なる高輝度を希望する利用者もいることから将来的には120 keVへのアップグレードも考慮に入れておくこととした。グリッドの方式に関しては実機での取り

出し電流が 300 mA以上を目標にしていることからビームによる損傷を避けるためメッシュタイプのグリッド方式ではなく、アパーチャグリッド方式を採用することとした。また最終的に金属標の上で $1.0 \text{ mm} \times 0.1 \text{ mm}$ に絞り込むために低エミッタンスビームを必要としており、この方式ではメッシュによるエミッタンスの増加が起らないため好都合である。カソードについてはAPTech製LaB₆単結晶の熱カソードを使用することとした。カソード-グリッド間の引き出しには最大 5 kVの直流高圧電源を使用する予定である。電子銃の主要なパラメータを表1にまとめる。これは開発の1号機における値である。

表1：電子銃の目標設計パラメータ

| | |
|-------------|---|
| 印加電圧 | 60 kV |
| 最大電流 | 100 mA 以上 |
| グリッドタイプ | アパーチャグリッド |
| エミッタンス | 数 $\pi \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ 以下 |
| カソード タイプ | 熱カソード LaB ₆ 単結晶 |
| カソード-グリッド電圧 | 最大 5 kV |

¹ E-mail: takashi.sugimura@kek.jp

² 2006/7/1付で独立行政法人 産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門 レーザー微細加工研究グループに所属

3. シミュレーション

3.1 条件設定

電子銃の電極の形状の設計についてはEGUNコードを用いてシミュレーションを行った。アパーチャグリッドの厚みは機械加工による製造、放電対策、ビームによる融解などを鑑み、1 mm程度が薄くできる限界であると判断し、1 mmのものを中心にシミュレーションを行った。穴径についてはビームが当たらないよう余裕を持った大きさになるようにした。グリッド電圧については定格最大 5 kVの直流高圧電源を用いるが余裕を持たせるために 3 kV付近で使用することを想定した。またカソードは直径 1 mmと 2 mmの2種類について計算を行い、ウェネルト電極形状、グリッド形状、グリッド電圧はそれらに合わせて最適化を行った。加速電圧については前述

の通り当面は 60 keVであるが120 keVへアップグレードしたときの計算も行った。

3.2 シミュレーション結果

EGUNによるシミュレーションによって加速電圧 60 kV、グリッド電圧 3 kVの条件で各電極形状の最適化を行った結果、カソード径 1 mmでは高々 30 mAの電流であり、2 mmでは 145 mA得られることが分かった。つまり径 1 mmでは目標電流を達成することが出来ない。よって以下ではカソード径 2 mmの場合に最適化した電極形状についてのみ述べる。

図 1 (a)は加速電圧とグリッド電圧を変化させたときの取り出し電流を示している。φ 2 mmの場合いずれの電圧の組み合わせでも目標の 100 mAを達成している。またグリッド電圧 5 kV の条件では 300 mA程度の電流を取り出せておりアップグレードにも十分対応できると言える。φ 1 mmの場合については電極形状が最適条件と異なるため最大で 6 % 程度低い値となっていることを考慮しても目標電流からはほど遠いことが分かる。

図 1 (b)は同様に規格化エミッタンスについて示しておりφ 1 mmのものの方が小さいが、φ 2 mmのものでも目標値を達成していることが分かる。

以上よりφ 2 mmのカソードを使用し加速電圧 120 kV、グリッド電圧 3 kVのとき、引き出し電流は 145 mA、規格化エミッタンスは $2.8 \pi \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ であり目標を達成していると言える。この状態をEGUNで計算を行ったときの出力結果の一部を図 2 に示す。ビームがほぼ平行に引き出されている様子が分かる。

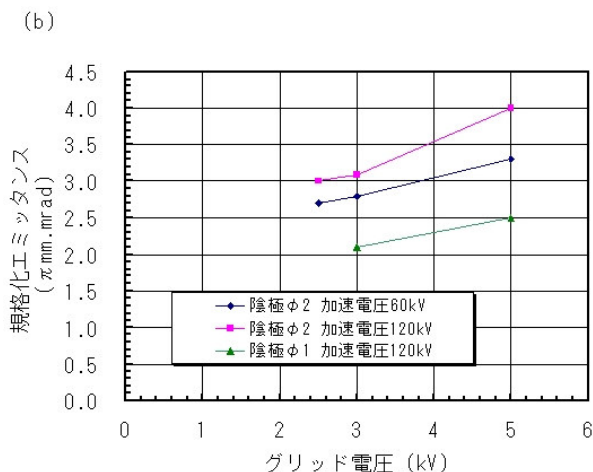
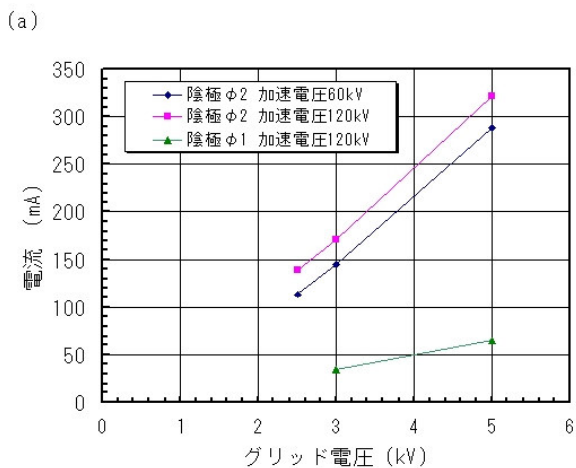


図 1 EGUNによるシミュレーション結果 (a) 取り出し電流の変化 加速電圧よりもグリッド電位への依存性が大きいのがわかる。(b) 規格化エミッタンスの変化 カソードの直径が小さいほどエミッタンスも小さい。

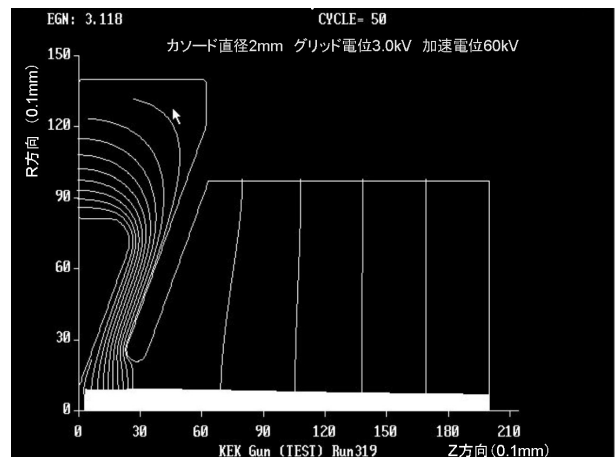


図 2 EGUNによるシミュレーション結果 加速電圧 120 kV、グリッド電圧 3 kV、カソードφ 2 mmで最適化したときのビームの軌道と電場分布の様子を示している。

4. 実機製作

シミュレーションによる最適化の結果を基に実機電子銃の製作を現在行っている。図3にカソードグリッド部の製作図面を示す。右端がアパーチャグリッドであり、その少し内側にカソードとウェネルト電極がある。カソードは2本の絶縁された電流端子に繋がっておりここにヒータ電源を接続する。アパーチャグリッドは外側のケース、フランジと同電位になっておりこのケースを円筒型碍子の中に入れ高圧を印加する。完成は8月末を予定している。

5. 今後の予定

完成した電子銃を用いてパルスビーム試験を開始する予定である。また、コの字型回転対陰極も9月末に完成する予定であり、完成後電子銃と組み合わせてX線発生装置としての試験を行う予定である。

6. まとめ

パルスおよびDCで運転できるラボ用の超高輝度X線発生装置の開発を行っておりその主要部品の一つである電子銃部の開発状況について報告を行った。X線発生装置の1号機として60 keV, 100 mAを目標とし、EGUNを用いたシミュレーションにより電極形状、印加電圧の最適化をおこなった。その結果電流145 mA、規格化エミッタンス $2.8 \pi \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ のビームが得られることが分かった。この結果に基づき実機を製作中であり、完成後ビーム試験を遂行する予定である。

謝辞

この研究は財団法人国際科学振興財団との共同研究によるものであり、坂部知平主席研究員を始めとするグループの方々には様々なご協力をいただいた。また電子銃の機械設計、製作には日立原町電子工業(株)に協力していただいた。この場を借りて御礼申し上げる。

参考文献

- [1] S. Ohsawa, M. Ikeda, T. Sugimura, M. Tawada, Y. Hozumi and K. Kanno, "HIGH BRIGHTNESS ELECTRON GUN FOR X-RAY SOURCE", Proc. PAC2005, Knoxville, TN, USA (2005) pp1488-1490

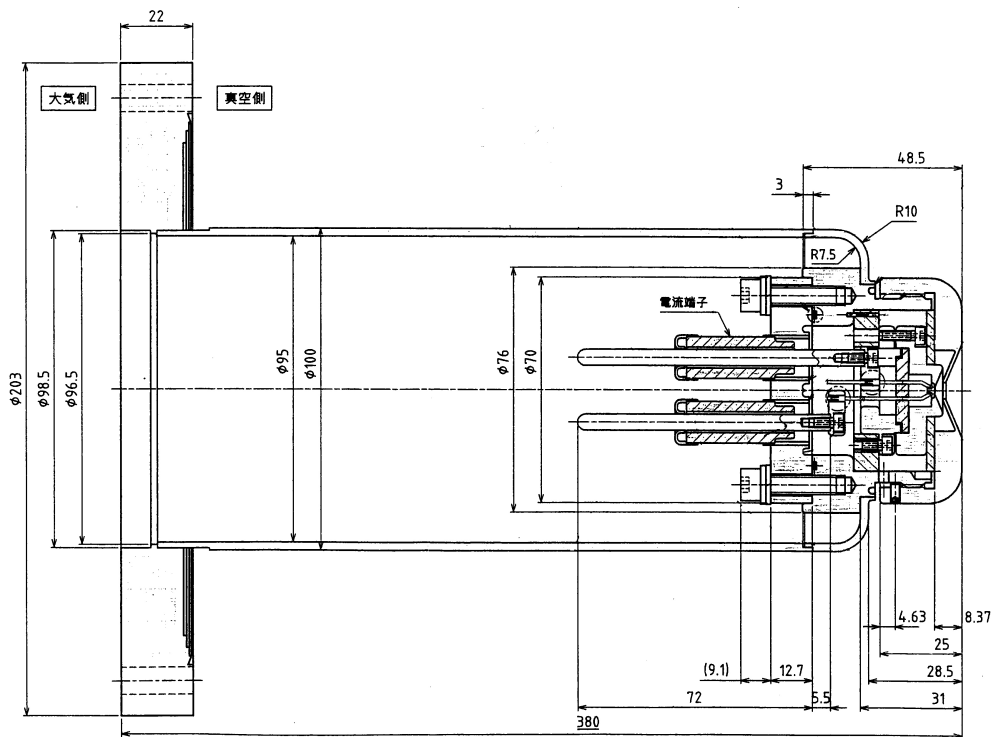


図3 電子銃製作図面