

Design and Manufacture of High Brightness Electron Gun

Yoshio Yamazaki, Toshikazu Kurihara, Hitoshi Kobayashi, Akira Asami
National Laboratory for High Energy Physics

Abstract

For research on emittance growth in TEST LINAC project at KEK, a high brightness electron gun having BI cathode with a diameter of 1mm has been developed. The electron gun was designed to have low emittance by SLAC electron trajectory program (EGUN). In this paper the results containing anode lense and grid effect by EGUN and the manufacture of the electron gun will be reported.

高輝度電子銃の設計と製作

1. はじめに

高エネ研放射光入射器系では、電子線形加速器におけるビームの質の改善、新しいモニターの開発、光源、陽電子源の研究等の、広範囲にわたる基礎研究のために、小型の電子線形加速器 (TEST LINAC) を建設中である。その中で高輝度ビームの発生及び加速は、非常に重要な位置を占めている。ビームの質を議論するときには、emittanceの概念が重要になってくる。一般にemittanceは、電子の速度が大きくなると見かけ上小さくなって行くが、線形加速器の各コンポーネントでのビームの質の劣化を論じるには、normalized emittance を考えなければならない。そこで今回 normalized emittance に着目して、電子銃でのカソードからのビーム特性を解析した (今後、単にエミッタンスという)。解析には、SLAC の W. B. Herrmannsfeldt による Electron Trajectory Program (以下 EGUN と略す) を用いた。また、このシミュレーションをもとに、実際の実験が可能となるような電子銃の試作を行った。

2. EGUN による電子の軌道計算

① EGUN での基本的なパラメータ

図1にはEGUNで計算されたビーム軌道、等ポテンシャル線、境界条件が描かれている。座標は円筒座標で、境界条件は、エミッタンスを小さくするためにカソード径が 1mm と非常に小さく、ウエーネルトは角度をもたせていない。

cathode = Diameter 1mm ϕ , Thermal T=1373K

anode = 31mm from cathode, Hole 8mm ϕ , Potential 180KV, Width 3mm,
Parallel to cathode

wenelt = wenelt-Z axis 90°

grid = 0.25mm from cathode, wire diameter 0.05mm ϕ , mesh width 0.2mm

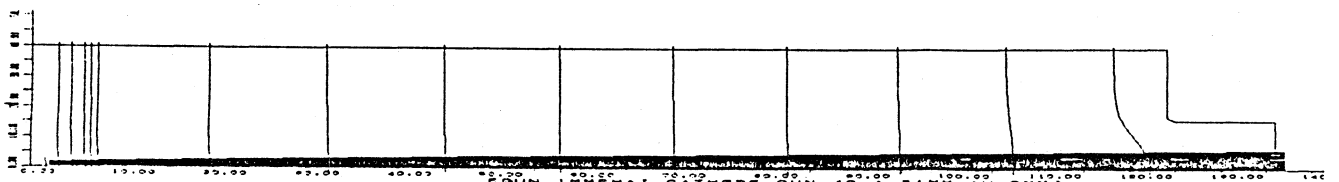


図 1

②カソードのエミッタンスとブライトネス

エミッタンスは加速によって変化しない恒量であるので、カソードからの電子の放出によるエミッタンスよりも小さくなることはない。この値をいかににより増大することなく加速、輸送できるかが問題となる。また、カソード温度がわかれば、Normalized Brightnessが次式で決まる。

$$B_n = m_0 c^2 J / 4 \pi k T$$

$$= 3.43 \cdot 10^9 \cdot J \quad (/m^2 rad^2, J:A/cm^2) \quad (\text{for } T=1373K)$$

今回、EGUN での電流値は0.6374Aであり、カソード径 1mm であるから

$$J = I / \pi r^2 = 81.2 (A/cm^2)$$

$$B_n = 2.79 \cdot 10^{11} (A/m^2 rad^2)$$

また、エミッタンスとの関係は、

$$B_n = I / \epsilon_n^2$$

である。ここから、エミッタンスを計算すると、

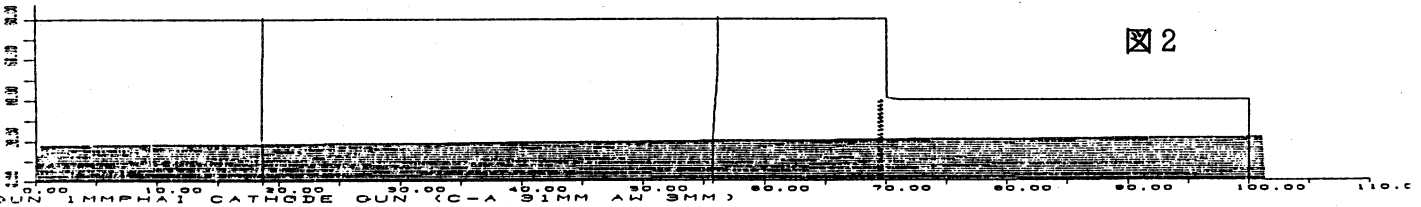
$$\epsilon_n = 4.81 \cdot 10^{-5} \pi (mc-cm)$$

③アノードのレンズ効果の影響

アノード孔があるために、ポテンシャル面は変形させられて、その電場によってエミッタンスは増大される。この効果を防ぐ一つの方法として、図2のようにアノードにメッシュを貼りポテンシャルをフラットにさせることでエミッタンスの改善が可能であることを示している。図2は

Z = 24~34mmまでの結果である。

No grid ray=20	0.10mm/mesh	normalized emittance	current
No grid on Anode		$0.227 \cdot 10^{-3} \pi (mc-cm)$	0.6374A
setting grid on Anode		$0.109 \cdot 10^{-3} \pi (mc-cm)$	0.6374A



④グリットによる影響

カソード付近にコントロールグリットを配置するとエミッタンスに及ぼす影響は、かなり大きい。図4はグリットに1500Vのポテンシャルを与えたときの、Z=0~8mmまでのビームの軌道を示したもので、グリットによって軌道の密度が一様でなくなっていることがわかる。図3は、Z=8, 16, 24, 34mmでのエミッタンスをグリット電圧を変化させてプロットしたものである。グリットをつけない場合は、No grid としてある。

各々の場合電流値は、

1500V in grid	0.6323A
1300V in grid	0.6319A
500V in grid	0.3489A
No grid	0.6374A

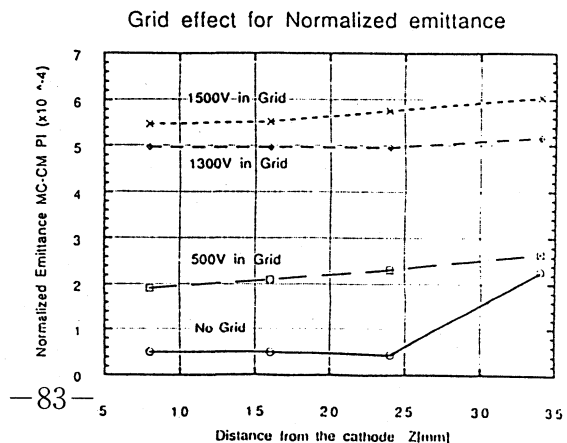


図3

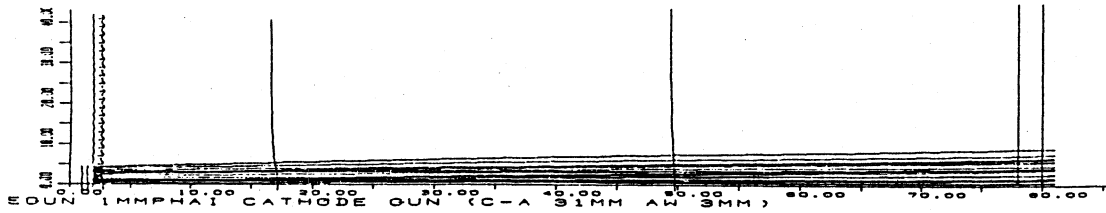


図4

3. 低エミッタンス電子銃の試作

図5に電子銃のカソード、アノード付近の組立図を示す。カソードには、直径1mmのバリウム含侵型タングステン（BIカソード）を用い、アノード、ウエーネルトなどは、SUS304を用いた。ただし、カソードが熱陰極で1100℃の高温になるため熱絶縁のために、カソードと本体の接触部分には、セラミックをもちいてある。カソードとアノードの距離は、31mmで計算では、電流値が約0.6A とれる。ウエーネルトについては、カソード面のみ出し、あとはカバーされる形になっている。

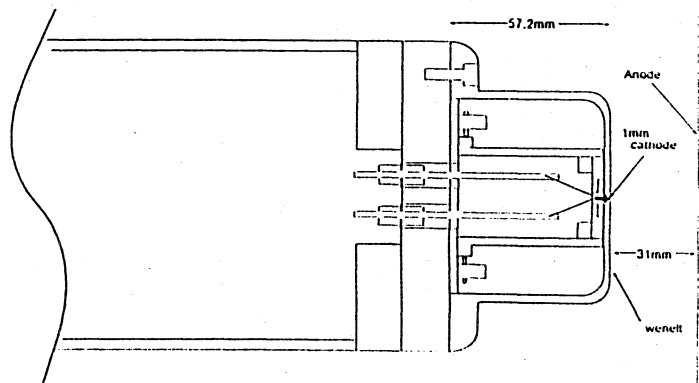


図5

4. 考察と今後の課題

EGUN の結果から、電子銃におけるビームのエミッタンスの増加の大きな要因のいくつかは、解析することができた。その中で二極管においては、アノードホールの影響が大きく効いてくることがわかった。この点の対策として、アノードそのものの形状を変えることは考えられるが、今回試みたアノードホールにメッシュを取り付け、その面を等電位にしてしまう考え方を、今後検討して行きたい。また、コントロールグリットがかなりエミッタンスを増大させていた。このひとつの理由は、カソード面と近すぎることであり、まだ低速の電子には、影響が強すぎる。そこで、グリットの最適な位置についても計算していく。

今後、電子銃ができ次第実験を行っていく予定で、精密なエミッタンス測定を開始する。

5. 参考文献

- ・ William. B. Herrmannsfeldt, SLAC-226, Electron Trajectory Program, 1979
- ・ J.R. Pierce, Theory and Design of ELECTRON BEAMS, 1954