

Development of High-Brightness Electron Gun

Yoshio Yamazaki^a, Toshikazu Kurihara^b, Hitoshi Kobayashi^b, and Isamu Sato^b

^aThe Graduate University for Advanced Studies

1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, Japan

^bKEK, National Laboratory for High Energy Physics

1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, Japan

Abstract

The conditions to manufacture a high-brightness gun have been investigated. The space between a cathode and a wehnelt is necessary for thermal insulation and distorts the potential uniformity near the cathode. In order to avoid the effect, a method surrounding a cathode with a carbon heater was proposed, so that we succeeded to improve beam quality remarkably. In this meeting, we will report the new cathode holding method and effect of cathode surface roughness.

高輝度電子銃の開発

1. はじめに

ペーパーポット法を用いた精密なエミッタンス計測系を開発し、それを用いて、高輝度電子銃を製作するための条件を探求している⁽¹⁾。高輝度電子銃を開発するうえで重要なことは、放出電流密度の高いカソードを使用し、かつビームをなるべく低エミッタンスに抑さえることである。特に輝度を高くするには、ビームを層流に近づける必要がある。ビームの層流性を乱す原因は、電子の熱運動によるものと考え、E G U N⁽²⁾でもそれをビーム軌道の初期条件の中で用いている。しかし、詳細なペーパーポット法による観察を進めていくうちに、むしろカソード近傍のポテンシャルの歪みやカソードの表面粗度によって層流性がより大きく乱れることがわかってきた。カソード近傍のポテンシャルの歪みについては、通常熱陰極を使用する上では、熱絶縁のためカソードとウェーネルトとの間に、ある空隙をとることが必要とされ、その結果生ずる、カソードエッジ近傍の質の悪いビームの発生が問題であった。今回この問題の1つの解決法として、カソードの縁を直接カーボンで覆い、それ全体を加熱する方法を提案し、ビームの質を格段に改善できたので報告する。また、カソードの表面粗度については、L a u⁽³⁾が計算をしているが、詳細な実験データは見当たらない。この計測系を用いると、カソード表面状態やエミッション分布の様子も観察できる。そこで、表面粗度がビームの質に与える影響も議論する。

2. カソードーウェーネルト間の空隙がビームに与える影響とその対策

(1) カソード加熱法 (Vogel type⁽⁴⁾)

熱陰極を使用するとき、材質に適した動作温度に加熱することが必要である。加熱方法には大別して、傍熱型と直熱型がある。前者は、カソードとは電氣的に絶縁されたヒーターに通電して、そこで発生した熱を熱伝導か熱輻射で伝えて、カソード間接的にを加熱する方法で、ヒーターパワーは少なくすむが、カソードを支える熱絶縁材を慎重に選ばなければならない。後者は、カソード自身に通電し、カソードで発生するジュール熱で直接加熱するか、抵抗値が低い材質に関しては高い材質でホールドしそこからの熱伝導で加熱する方法である。傍熱型に比べると、ヒーターパワーは大きくなるが、輻射熱でまわりの材質に影響がないかぎり、容易に高い温度まで加熱できる。我々は、カソード材に動作温度の高い(1600℃) L a B₆を検討していたので、L a B₆の加熱支持方法として開発され信頼性の高い、フォーゲルタイプと呼ばれる直熱型の方式を採用した。この方式は、B Iカソードにも容易に転用できた。

(2) カソード-ウェーネルト間の空隙とビーム軌道

カソード径は約1mmで、熱絶縁のためにウェーネルトとのあいだに0.1mmのすきまが空けてある。この隙間は、特に径の小さなカソードを用いる場合には影響が大きい。本来、カソードとウェーネルトとは、面一に取付けられるが、精度としては、 $100\mu\text{m}$ 程度カソードがへこんだり、とび出たりして、付けられる可能性がある。この影響が、ビームエッジに大きく影響を与える。カソード近傍のこの様子をEGUNによって、解析した例を図1に示す。このような方式で作られた電子銃のビームのペーパーポットパターンの例を図2に示す。

(3) カーボンホールド法

前述のような影響を避けるために、我々は、カソード表面でのポテンシャルを一様にし、エッジの影響を防ぐ目的で、カソードをカーボンで包むことを考案した。カーボンの形状は、熱膨張を考慮して、半割りにした。この場合には、カソードとカーボンは同時に熱せられ、高温においてもこの両者の位置は変化しない。万一、カソードとカーボンが一体になったものとウェーネルトの位置が $100\mu\text{m}$ 程度前後してもビームにはほとんど影響がないことが、EGUNによる解析で明らかになった(図3)。このようにカソードをカーボンで包むことにより、ギャップの影響がほとんどなくなること、ウェーネルトとの相対位置がビームにあたえる影響を大きく軽減できることがわかった。この方式で改善されたビームエッジでのペーパーポットパターンの例を図4に示す。

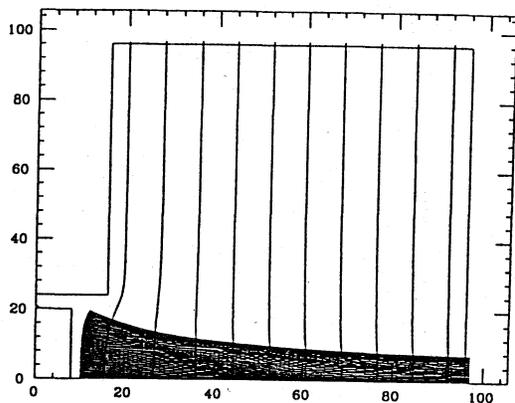


図1

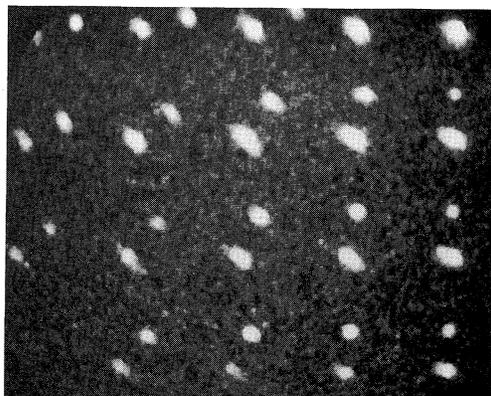


図2

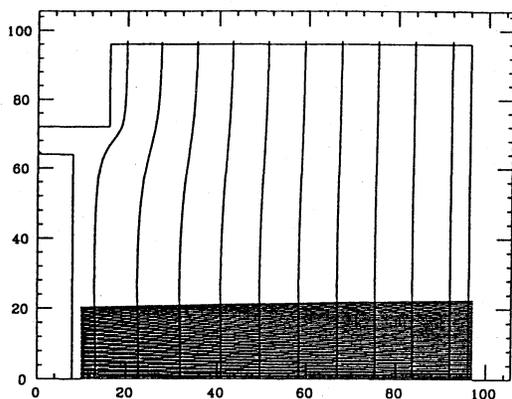


図3

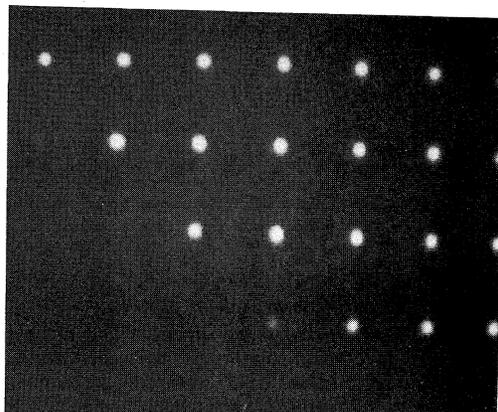


図4

3. カソードの表面粗度がビームに与える影響

(1) カソード表面形状の観察

カソード付近のポテンシャル形状を歪める大きな原因のひとつに、表面の粗さがある。我々が、使用したカソードは、BIカソードおよび LaB_6 ⁽⁵⁾である。BIカソードの場合には、基盤が多孔質タンゲステンのため所々に $10\mu m$ 程度のへこみが見られ、機械工作による傷も多い。特に、形状の変化が激しい場合には、ペーパーポットパターンのビームスポットが大きく真円からはずれる。図5の上図は、粗度が数 μm 程度の表面からのペーパーポットパターンを示し、下図は、粗度が数 $10\mu m$ 程度の凸凹がある場合のパターンを示す。

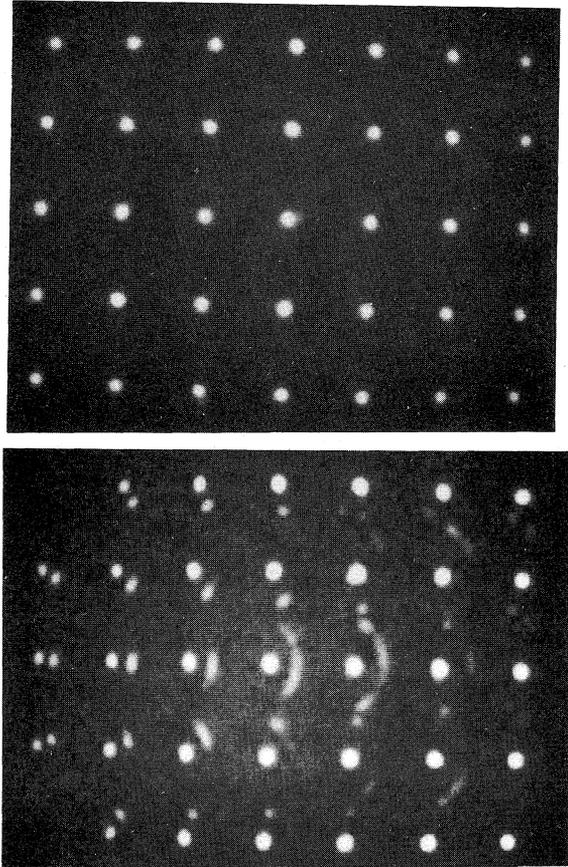


図5

(2) カソード表面形状とビーム軌道

カソードの表面粗度を定量的に解析するのは困難であるが、単純に粗度の効果を、突起とへこみにモデルとして考え、カソード近傍でビーム軌道に対し、どのくらいの横方向の速度成分を与えるかを計算することは、電子銃のエミッタンスの数値解析を行ううえで、その初期条件となりうる。Lau⁽³⁾は、カソード表面が均一に凸部がある場合の乱れについて、解析的に議論し、エミッタンスを算出している。我々の経験では、カソードの一部にグレインの欠落した穴や、一部に突起があることが多い。電子の熱運動による横方向の初速度成分のエネルギーは、BIカソードの場合、 $0.1 eV$ であるのに対し、EGUNによる解析によると、径が $10\mu m$ の穴によって起こる横方向の初速度成分のエネルギーは、 $0.16 eV$ で、突起によって起こるものは、 $5.3 eV$ であった。同じ形状であれば、突起による影響のほうが大きい。それぞれの影響での電子軌道の様子を図6に示す。

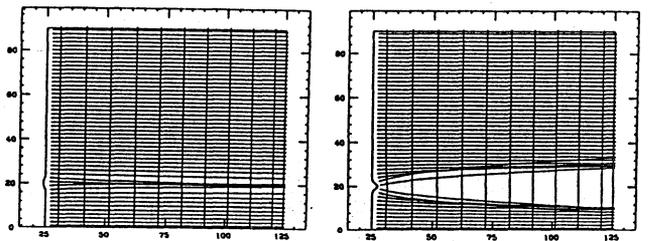


図6

4. まとめ

- (1) 熱絶縁のために空けられるカソードとウェーネルトとの空隙による、ビームの層流性の乱れを、カソードをカーボンで包む方法により、大幅に軽減することができた。
- (2) BIカソードの場合の、表面粗度がビームの層流性に与える影響を、電子の熱運動による横方向の初速度成分による影響と比較した。カソード表面に数 μm 程度の凸凹があると、熱運動によるものより、かなり大きい影響があることが、計算上からも実験的にも確認された。

5. 参考文献

- (1) Y. Yamazaki, et al., Nucl. Instr. and Meth. A, to be published
- (2) W. B. Herrmannsfeldt, EGUN-an electron optics and gun design program, SLAC Report 331, Oct. 1988
- (3) Y. Y. Lau, J. Appl. Phys., 61(1), 1987, p.36
- (4) S. F. Vogel, Rev. Sci. Instrum. 41, 1970, p.585
- (5) T. Kurihara, et al., "Characteristics of the single-crystal lanthanum hexaboride cathode electron gun", this meeting