

Design Study of High Voltage Electron Gun

Hitoshi KOBAYASHI, Jun-ichi ODAGIRI and Linear Collider Study Group
National Laboratory for High Energy Physics

ABSTRACT

An electron gun with a high brightness is one of important components in a linear collider linac system. High field acceleration in the electron gun is a crucial parameter for such purposes. Design parameters of the electron gun for 200 kV, 20 amps are described.

高電圧電子銃の開発計画

1.はじめに

ライナックは非常に汎用に使われてきておりその目的、用途に応じて電子銃も様々なタイプが要求されてきている。例えば産業関係では低電圧化、小型化がその中心課題となってきたし、短パルスビームの要求については同軸化と組み込み式のグリッドパルサーの開発が進められている。最近自由電子レーザー等の実験には高品質のビームが要求され電子銃も当然の事ながらその方向で開発が進められている。この高品質ビームという要求には電子銃単体で対処するというよりは加速構造と組み合わせて考える必要がある。それは従来使われてきたバンチャー方式ではエミッタンスグロースの問題が大きく電子銃のビーム輝度をいくら良くしても出力ビームの質の改善がのぞめないということによる。これに対処する方法としては最初からバンチしたビームを出力するRF電子銃やホットカソードと短パルスレーザーを組み合わせる方法が有力となっている。何れの場合も大電流を出力できるカソードを必要とする。これらを考慮すると将来的には高品質ビームの加速にはカソードの開発が重要課題となるように思われる。ここではとりあえず従来のカソードを用いてのビーム加速試験用の電子銃の開発計画について述べる。

2.電子銃のブライトネス

ブライトネスやエミッタンスを述べるときに文献によりファクターの異なることが多い。これは位相空間上での形状等によりファクターに違いが出ることによるものでありそれぞれに意味のあることであろうがここではRMSエミッタンスを用い文献1)より次式でカソードのブライトネスを定義する。

$$Bn=(m_0c^2J)/(4\pi kT) \quad (1)$$

ここでJは電流密度、Tは絶対温度を表す。

ここに示す様に質の良いビームを加速しようとするとき電流密度を大きくし電子の初速度つまりカソード温度を低くしなければならない。現在良く使われているカソードを対称とすると含浸形カソード、オキサイドカソード、LaB₆等でありそれぞれ動作温度

は1100Kから1800Kでありこれによるエミッタンスはそう大きく変わらない。但しホットカソードは温度という点では冷却することが出来るので非常に低くすることが可能であるが従来例ではレーザーのホトンのエネルギーと電子放出に必要なエネルギーの差が等価のカソード温度となりその値は必ずしも低いとはいえない。以上述べたことより電流密度を大きくすることが高輝度ビーム発生の重要なポイントであろう。この場合いくつかの重要な問題点がある。

まず、カソードの能力としての電流密度を比較する必要があるがこれらは異なった条件下での値であるので画一的に比較出来ないが表-1の様にとめてみた。次に空間電荷制限領域での電流密度は平行平板の2極管と同心球2極管ではそれぞれ次のように与えられる。

平行平板の場合

$$J = k_1 V^{3/2} / d^2 \quad (2)$$

同心球の場合

$$I = k_2 V^{3/2} / (-\alpha_a)^2$$

$$\alpha_a = r - 0.3r^2 + \quad r = \ln(Ra/Rc) \quad (3)$$

平行平板の場合には電流密度はアノードカソード間の距離の2乗に逆比例する。一般にライナックの電子銃は後者の同心球タイプのものが使われており同一には論じられないが多くの設計に用いられている領域ではカソードとアノードの曲率半径の比が1に近いと仮定すると(3)式は(2)式の平行平板のものと同じになる。したがって電流密度はアノードカソードの距離の2乗に逆比例し、電圧の3/2乗に比例するとすることができる。

3. 電子銃の設計

以上述べたように高輝度の電子銃を設計する際には電子銃の電圧を高くするか、アノードカソード間を近くするということになり放電の問題が厳しい問題として挙げられる。このため放電の耐圧が上げられると考えられるRF電子銃やRF電子銃とホットカソードの組合せが有望なものと考えられるがそれらは今後の問題とし、ここでは現在進められているコンベンショナルな電子銃の設計について述べる。最初に3極管と4極管を検討した。最初に作るのは3極管とし表2に示すパラメータとした。

4極管についても次に述べる理由から検討すべきであると考えている。

種類	動作温度(K)	電流密度(Amp/cm)	
サイトカソード	1100	20	2)
含浸型カソード	1400	10	3)
		(100)	
LaB ₆	1800	70	4)
フォトカソード	室温	200	5)

表-1

各カソードと動作温度及び電流密度
(主観が入っている。詳しくは文献参照)

1)、更に高電圧を印加する場合に高電圧を分割する方が有利である。

2)、設計は2極管で行い実際は3極管として用いグリッドで電流をコントロールして使うことが多い。このときには設計値からずれることになるがその場合の補正用としても効果があると考えられる。

項目	数値
アノード電圧	200 kV (240 kV)
電流	18-20 Amps
グリッド電圧	~200 V (計算値)
バイアス電圧	~100 V(推定)

表-2 電子銃主要パラメータ

現状としては最初のステップである3極管の設計が終り現在試験に入ろうとしているところである。参考までに4極管の場合のビーム軌道の計算例を図-1に示す。

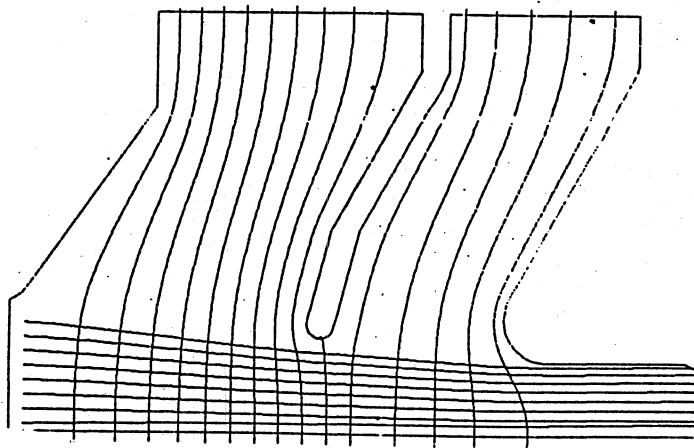


図-1 4極管の場合のビーム軌道計算例

参考文献

- 1) J.S.Fraser and R.L.Sheffield, IEEE J.Quantum.Electronics, QE-23(1987)1489
- 2) 東芝 テクニカルデータより
- 3) G.V.Miram, Private communication
- 4) a. T.Sintake, K.Ohba, M.Matoba and A.Katase, Jpn.J.Appl.Phys. 20(1981)341
b. M.E.Herniter and W.D.Getty, IEEE Trans. Plasma Science PS-15(1987)351
- 5) a. C.K.Sinclair and R.H.Miller, IEEE Trans. Nucl.Sci. 28(1981)2649
b. P.E.Oettinger et al.(to be published 9th FEL conference)