



Title	メッシュレスグリッド制御線形加速器用電子銃の基礎的研究
Author(s)	本間, 彰; Homma, A; 中田, 勝英 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 177, 35-40
Issue Date	1996-05-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/42472
Type	departmental bulletin paper
File Information	177_35-40.pdf



メッシュレスグリッド制御線形加速器用電子銃の基礎的研究

本間 彰 中田 勝英 沢村 晃子 成田 正邦

(平成 7 年 12 月 27 日)

A Study of an Electron Gun Controlled with a Meshless Grid for a Linear Accelerator

A. Homma, K. Nakata, T. Sawamura, M. Narita

(Received December 27, 1995)

Abstract

An electron gun for a linear accelerator with a control grid of meshless electrode (meshless grid) is expected to overcome some disadvantages of beam quality using an ordinary mesh grid. A gun of this type was designed and its characteristics were numerically analyzed. The simulation program code Egn2 with a boundary setting routine POLYGON was used. The result indicated that the grid can control the beam launched from the cathode to the anode electrode. It also indicated the $I_p - V_p$ and $I_p - V_p$ characteristics which are different from an ordinary triode gun with a mesh-grid. The mutual conductance g_m of $0.4[mS]$, the maximum average current of $1.6[A]$ and cut-off voltage $-200[V]$ were obtained under a condition of $200[kV]$ acceleration voltage.

はじめに

線形加速器から得られる電子ビームは、その目的や用途により大電流、高輝度、低エミッタンス等ビームの質的な向上が要求されてきている。このような要求を満たす電子銃の一例として市販のカソードグリッドアッセンブリーを用いた低エミッタンスの電子銃の設計例を本研究報告で報告した。^[1]

一般に線形加速器に用いられる電子銃は熱電子を放出する陰極面とこの陰極(Cathode)から熱電子を引き出すための陽極(Anode)、更に電子ビームの制御を行なう目的で陰極面上に配置されたメッシュによるグリッド(Grid)電極(以下メッシュグリッド)から構成される。しかし、グリッド電極を通過する電子はメッシュに当たるので通過した電子の一部はその軌道が軸方向よりそれ、エミッタンスの増加を引き起こす要因をもたらし、また一部はグリッドに流れるグリッド電流となる。更に大電流の制御を行うときメッシュの変形による陰極への接触、電子ビームによる溶融などがあげられる。またメッシュグリッドからの2次電子放出はビームのバックグラウンドとなる。以上メッシュグリッドにはビームの質的な向上を妨げるいくつかの要因が存在すると考えられる。これらを克服する目的でグリッド電極からメッシュを取り除き孔のみを通過させビーム

を制御する方法が考案されている。この方法は既にイオン源等にみられる。電子ビームにおいてこのような方式を採用したのものには Yamazaki によるアパーチャグリッドの例が最初ではないかと思われる^[2]。動燃事業団の大電流加速器（平均出力 200 Kw）開発に用いることを目的としたもので二個の制御電極を用いたダブルアパーチャグリッドによる設計例が示されている。しかし、陰極面の直径は 4 mm であり、この値は通称の市販のグリッドカソードアッセンブリーに比べ小さく特殊なものといえる。また動作原理等についての詳細も不明である。

本報告では前回の報告と同様に市販のグリッドカソードアッセンブリー（米国 EIMAC 社製）646 B 型を対象とし、グリッド電極からメッシュを取り除いた電子銃（以下本報告ではメッシュレスグリッド電子銃と呼ぶ）の設計を行った。これにより動作原理の詳細、特に制御機構を中心とした研究を行うことをにより今後の研究の基礎知識を修得することを目的とした。設計に当たっては軌道解析コード EGN2 と境界データ生成用コード POLYGON を用いた。これらのコードを用いた設計の詳細については文献を参照されたい^{[1][3]}。

メッシュレスグリッドの動作原理と基本特性

1. 動作原理

Fig. 1 はメッシュレスグリッド電子銃の動作原理を説明するための概念図である。陰極面から放出された熱電子は陽極との間の電位差 V_p 、（0～200[kV] の間で可変とした）で加速を受け、メッシュレスグリッド（以下グリッドと省略）の孔を通過し陽極へと進む。陰極面からの電子は陰極、グリッド間の電位差 V_g を調整することにより（-1 [kV] から +6 [kV] の間で可変とした）グリッドの孔に陰極と同電位のポテンシャル面を形成することができる。陽極側からみるとこのようなポテンシャル配分によって陰極面は遮蔽されたことと等価になり、ビームのカットオフを行うことが可能となる。

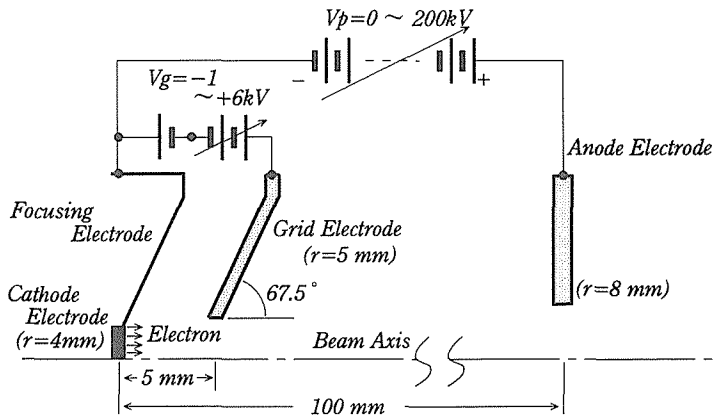


Fig. 1 Schematic diagram of the electron gun with meshless grid.

Fig. 2 は EGN2 を用いてこのカットオフ状況をシュミレーションした例である。グリッド孔から陰極面へと 0 V のポテンシャル面がしみ込んでいることがわかる。従って V_g を変化させることでグリッド孔を通過する電子の量を制御することが可能である。ここでグリッドの形状に 67.5° の角度が設けられているのはビームの収束性を考慮したものでピアスの理論から導かれる値である^{[1][4]}。また本研究ではグリッドの制御特性に着目したのでアノード孔の持つ収束特性等は考慮

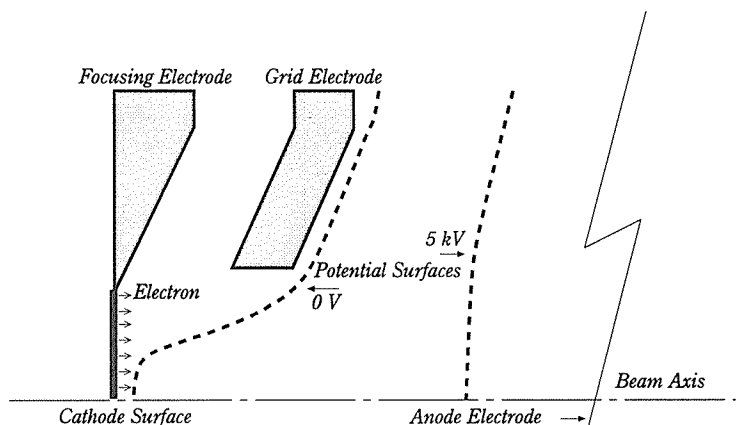


Fig. 2 The equipotential surfaces illustrated a beam cut-off condition.

しなかった。従って、アノードは平板でありアノード孔の直径は陰極面の二倍程度（8 mm）を採用した。

2. メッシュレスグリッド電子銃の基本特性

メッシュレスグリッドの基本特性を通常の電子銃の特性を基にして調べてみる。Fig. 3はメッシュレスグリッド電子銃の I_p-V_g 特性である。 $V_g=200[kV]$ に対し $-200[V]$ でカットオフ特性を持つことがわかる。またビームの制御特性を表す相互コンダクタンス $g_m (=I_p/V_g | v_p=c)$ の変化は加速電圧によらずほぼ一定となった。このグラフより g_m は凡そ $0.4[mS]$ と見積もることができる。

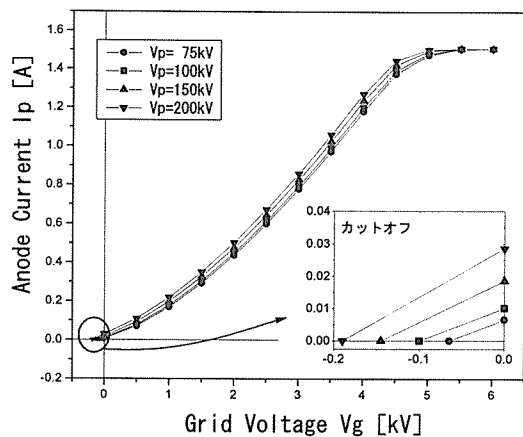


Fig. 3 The I_p-V_g characteristic of meshless-grid electron gun. The parameters are the anode voltage V_p .

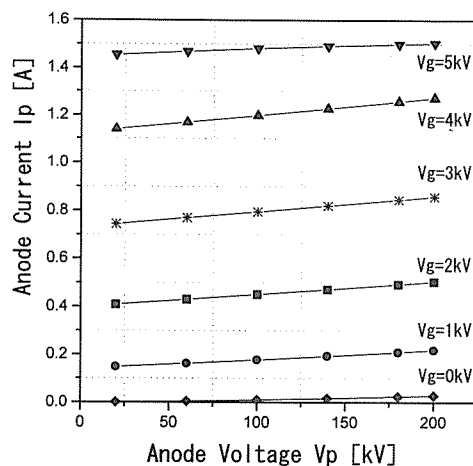


Fig. 4 The I_p-V_p characteristic of meshless-grid electron gun. The parameters are the grid voltage V_g .

Fig. 4は I_p-V_p 特性をプロットしたものである。3極管特性に置き換えると電子銃の内部抵抗の逆数 $1/r_p (=I_p/V_p | v_g=c)$ は加速電圧によらずほぼ一定となることを意味する。ここでグリッドを陽極と見なし、この特性を二極管特性と解釈してみる。このとき I_p は V_g の $3/2$ 乗に比

例して増加すればチャイルドの法則に従っていることがわかり、空間電荷効果による制御が行われているといえる。この I_p と V_g の $3/2$ 乗のあいだの比例定数をパービアンと呼び G で表わす。Fig. 5 はこれを調べる目的でプロットした図である。 V_g がおよそ $1 \sim 4$ [kV] の範囲ではパービアンはおよそ $5 [\mu A/V^{3/2}]$ の値を示し、空間電荷制限領域での動作が行われていることがわかる。

Fig. 6 は $V_p=100$ [kV] とし、 $V_g=0, 2, 4, 5.5$ [kV] の各に対するメッシュレス電子銃の軌道を示したものである。 $V_g=0, 2$ [kV] の場合ビームはアノード孔を通過するが、 $V_g=4, 5.5$ [kV] の場合にはビームはアノード板に電子が当たってしまう。これは

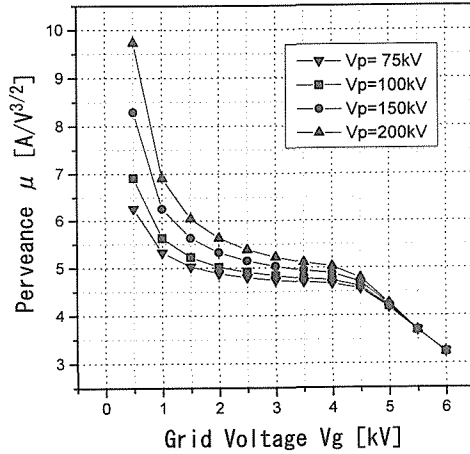


Fig. 5 Plot of Perveance vs grid voltage V_g with parameter of anode voltage V_p .

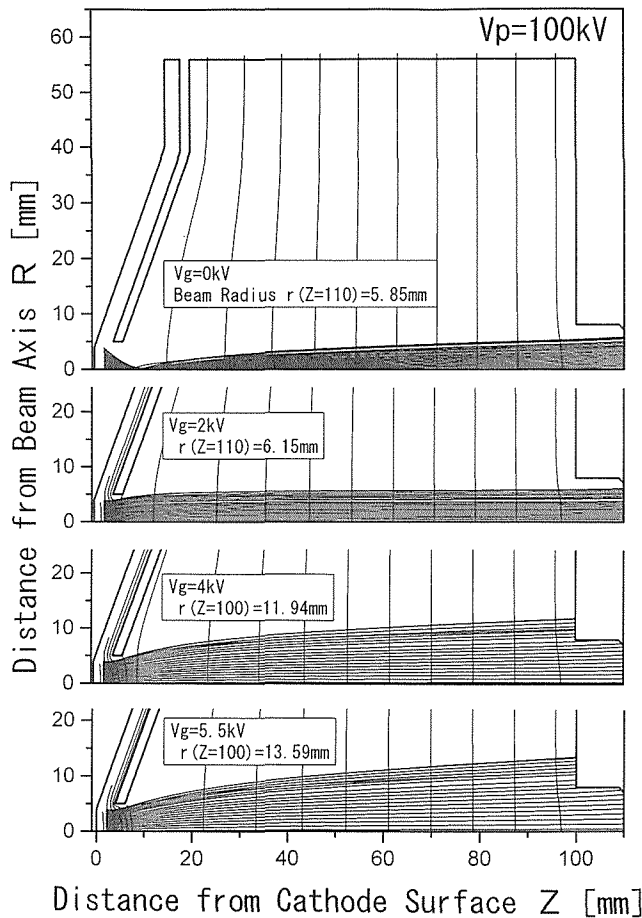


Fig. 6 Equipotential lines and beam trajectories of the meshless-grid electron gun calculated by EGN2.

メッシュレスグリッドがレンズの効果を持つことに起因する。最大電流を引き出すために Fig. 3 の特性より V_g を増大させるとビームの発散は強くなり、アノード孔を通過する電子が減少することがわかる。

ま と め

今回の解析例において相互コンダクタンス gm は $0.4[mS]$ を得た。市販の電子銃では 10 から $100[mS]$ のオーダーのものが使用されているからここで得られた値は 2 桁から 3 桁小さい (例として前者は三菱製電子銃, 後者は EIMACY-796 等があげられる)^[5]。しかし, 現在のパルス技術を用いるとマイクロ秒からナノ秒に渡り数キロボルトのグリッド制御パルスを得ることは困難なことではないと考える。

グリッド電極のレンズの効果によりビームが発散特性をもつことが示された。これらは電極形状, 配置等にも強く依存する。しかし, 形状により他の特性も影響を受ける。

Fig. 7 は陰極面からグリッドの孔までの距離 D をパラメータとした I_p-V_g 特性である。これよりグリッド孔 D を $4 \sim 7 [mm]$ と変えるとき gm が $0.2 \sim 0.4[mS]$ と変化することがわかる。各々の特性の間には密接な関係が存在するのでパラメータの“絞り込み”が必要となる。Yamazaki^[2] が提案したダブルアパーチャグリッドのようにグリッド構造のレンズ効果を積極的に利用し, 収束特性を持たせることによりパラメータ間の独立性を高める方法も有効であると考えられる。

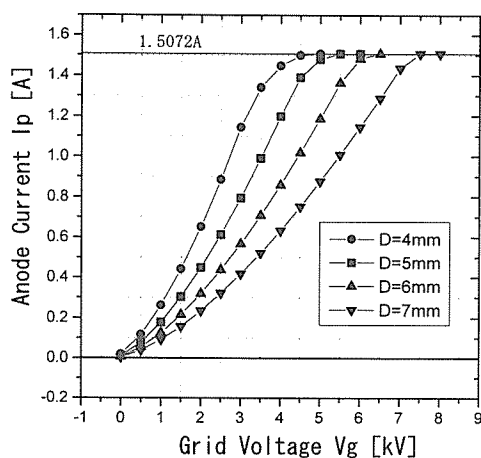


Fig. 7 Anode current I_p vs grid voltage V_g . The parameters are the distance between the cathode surface to the hole of meshless-grid electrode, D .

おわりに

従来の形式のグリッド構造からメッシュを取り去ることによる新しい方式の電子銃について軌道解析コード EGN 2 を用いその基本特性について調べた。現実性の観点から市販のグリッドカソードアセンブリを対象とした形状サイズを採用した。得られた相互コンダクタンス $gm = 0.4[mS]$ は現在の電子銃に比べ一桁以上小さいものとなった。このことはグリッド駆動電圧の増大を要求する。しかし, 著者等によって確立されたパルスハンドリング技術を用いると克服できると考える。キロボルトオーダーのパルス発生とその応用例はすでに本研究報告で述べた^[6]。制御特性の上からはメッシュレスグリッド電子銃は現実性の高いものであると考える。エミッタンス特性等の詳細については今後の課題となる。

最後に動燃の山崎氏はこの研究の先駆者であり色々教えて頂き, また Egn の入力データ等多くの貴重な資料の提供をして頂きました。心より感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 本間 彰, 他『線形加速器用低エミッタンス電子銃の設計』北海道大学工学部研究報告, [173], (1995), 57-63.
- [2] Y. Yamazaki, M. Nomura "Development of an Electron Gun for High Power CW Electron Linac" JAERI-Conf. 94-003, page 115.
- [3] W.B. Herrmannsfeldt, "EGUN — AN ELECTRON OPTICS AND GUN DESIGN PROGRAM" SLAC-331 UC-28(A), (1988).
- [4] J.W. Gewartowski et al., "Principles of Electron Tubes" D. VAN NOSTR D COMPANY, Inc. (1965).
- [5] R.F. Koontz, "CID THERMIONIC GUN SYSTEM" SLAC-PUB-2824 DE82-005080, 982).
- [6] 本間 彰, 他『北海道大学 45 MeV 線形加速器によるナノ秒パルス電子ビーム発生を試み』北海道大学工学部研究報告, [158], 79(1992).