

DEVELOPMENT OF A NEW ELECTRON GUN FOR THE ISIR SINGLE-BUNCH LINAC WITH A PEAK INJECTION CURRENT OF 30 A

Okuda S., Suemine S.*, Yamamoto T., Kozawa T. and Tagawa S.

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567, Japan

ABSTRACT

A new electron gun using YU-156 type cathode-grid assembly has been developed for the L-band linac at ISIR, Osaka University. The space-charge effect working in an electron beam in the gun between the grid and the anode electrodes has been analyzed with calculation according to a one-dimensional model. The results have well agreed with the experimental results obtained from a bench test of the gun. The peak current of a pulsed beam obtained in the present experiments was 30.1 A for a pulse width of 5 ns in FWHM and an anode voltage of 100 kV. In the acceleration test of single-bunch beams in the linac the maximum charge per bunch was 73 nC in maximum which is the highest record of the ISIR linac.

産研単バンチライナックにおける入射ピーク電流30 Aの新しい電子銃の開発

1. はじめに

阪大産研 38 MeV Lバンドライナック (基本周波数: 1300 MHz) では、高強度の単バンチ電子ビームを得るために、直径5.1 cmの陰極を持つ大電流の電子銃Model-12 (ARCO) を使用してきた。最近量子ビームの発生と利用に関する研究を進展させるために、次のような目的で新しい電子銃を開発した。

1. 単バンチビームの高輝度化
2. 電子ビームのパルス特性の向上
3. 電子銃交換手続きの簡単化とリスクの低減

この電子銃には、YU-156型陰極・グリッドアセンブリ(EIMAC)を用いている。その開発経緯と最初の特性試験の結果については、前回のリニアック技術研究会で報告した[1]。

産研ライナックでは1/6と1/12のサブハーモニックプリバンチャーを使用しており、単バンチビームを加速する際に電子銃から入射する電子ビームのパルス幅は5 ns (FWHM)である。1984年にバンチ当りの最大電荷量67 nCを観測した時の[2]入射ピーク電流は 30 A であった。新しい電子銃でもこの値を目標とし、陽極電圧 100 kV において得られる入射ピーク電流の最大値を 30 A として設計したが、実測された最大値は 26 A であった。また電子銃内の電子の挙動について、明らかでない部分があった。そのためこれらについての研究を継続して行ってきた。

本研究では、電子銃内部での電子の挙動をモデルに基づく計算により解析した。また入射ピーク

電流 30 A の実現をめざして開発研究を行った。これらの結果と、産研ライナックでの加速試験によって単バンチビームの電荷量を測定した結果について報告する。

2. 電子銃における空間電荷効果の解析

電子銃内部の陰極、グリッド、陽極の電極配置を図1に示す。本研究で用いた電子銃では、陰極・グリッド間が 0.15 mm、グリッド・陽極間が約20 mmである。電位はグリッドを基準に示した。陰極には、直流的にバイアス電圧 V_b を印加することにより電子の放出を押さえる。陰極・グリッド間にパルス電圧 V_g を印加してグリッドより電子を引き出す。一般の条件では、陰極は温度が十分高く、空間電荷制限領域での動作になる。グリッドからの入射電流 I_0 は、十分高い陽極電圧で加速した場合に電子銃の電流の上限値として実験的に求めることができる。グリッドから入射する電子の初速度は、グリッドのパルスドライブ電圧で決まる。陽極電圧が十分高くない場合には、グリッド・陽極間の電子ビーム内で空間電荷の効果が働く。この

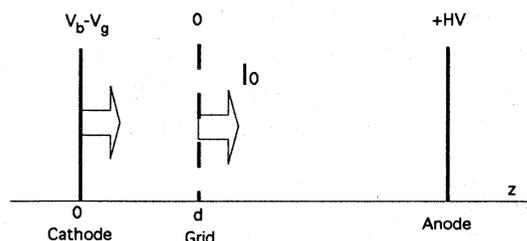


図1 電子銃の電極配置と印加電圧

* Unicon System Corp.

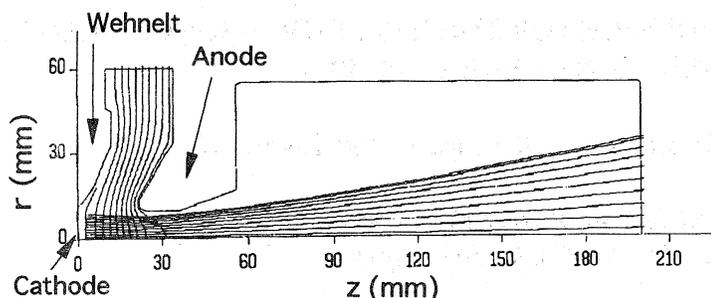


図2 電子銃の最適化された電極形状と電子軌道の計算結果 (陽極電圧：100 kV、ビームのピーク電流：30 A)

効果は、電子の速度が比較的小さいグリッド近傍で顕著であると考えられる。グリッド・陽極間の電子の挙動を調べるために、1次元のモデルを用いて計算を行った。この計算において、グリッドからある初速度で入射した電子が、空間電荷の作用および陽極電圧による加速でz方向に運動する様子を調べた。(結果は、実験との比較で図5に示す)グリッド・陽極間で空間電荷が作用する場合には、ビーム内の不安定性や、グリッドから陰極への電子の逆流を考慮する必要がある。この計算は行っていない。

3. 新しい電子銃システムと動作条件

電子銃の電極形状は、EGN2e計算コードを用いて最適化した。図2にこの電極形状と電位および電子軌道の計算結果を示す。陰極の直径は2 cmである。陽極電圧100 kVにおいて、安定に加速される電子の電流の最大値は、この計算から30 Aと求められた。電流密度は最大10 A/cm²で、比較的強い集束作用を持つ電極形状を選んだ。

電子銃、集束電磁石およびビーム電流モニタで構成されるテストベンチで特性試験を行った。文献[1]に報告した前回の実験では、6カ月程度の使用歴のある陰極について調べたが、本実験では新しい陰極を使用した。

グリッドパルサーは、トランジスタを3段に重ねたアバランシェパルサーで、これを4台並列に設置して、低インピーダンスの負荷に対応できるようにした。グリッドパルスのピーク電圧は固定とした。動作時のピーク電圧は直接測定できないが、約700 Vと推定される。陰極・グリッド間に印加するバイアス電圧を変えることによってグリッドからの入射電流を制御した。またこの実験でのパルス幅は、単バンチビームを加速する場合の電子銃からの入射条件である5 ns (FWHM)とした。

4. 試験結果と考察

ベンチテストにおいて、バイアス電圧、陽極電圧を変化させた時の、ビーム電流モニタで得られ

るパルス電流のピーク値を図3に示す。バイアス電圧を一定とし、陽極電圧を上げていくと電流に上限が認められるが、この値を図1に示すI₀と考える。またこのI₀のバイアス電圧依存性も図3から得られる。陽極電圧を一定とした時の電子銃の電流は、バイアス電圧の低下に従って、増加して最大となり、その後ほぼ一定となる。陽極電圧90 kVで代表的なa, b, cの3点におけるビームモニタのパルス波形を図4に示す。aからbへは、ピーク電流が増加して最大となる。この条件では、パルス幅はほぼ5 nsである。さらにバイアス電圧を下げると、cの波形に見られるように、1パルス当りの電子の全電荷量がほぼ同じままで、ピークが下がってパルス幅が広がる。

各陽極電圧に対し、得られたピーク電流の最大値を図5に示す。ここで実線は、前述のモデルに基づいて計算された結果である。図1に示したI₀を

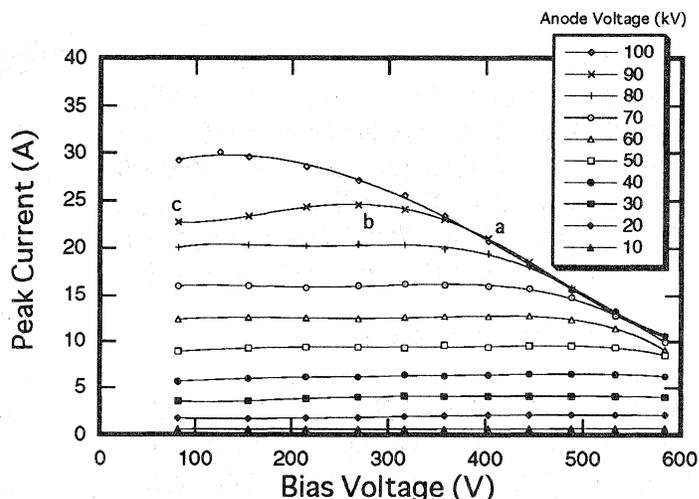


図3 電子銃のピーク電流のグリッドバイアス依存性 (グリッドのパルスドライブ電圧：推定700 V)

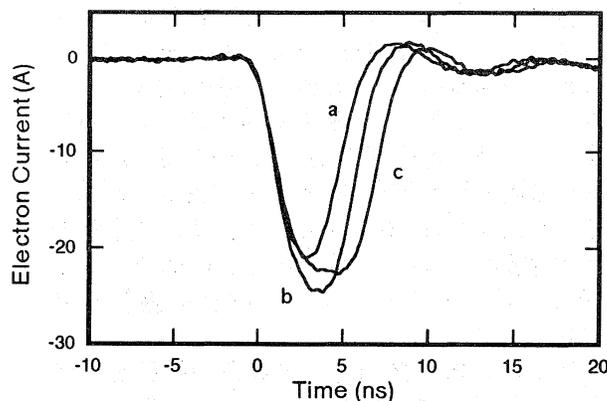


図4 電子銃の電流モニタの波形 (陽極電圧90 kV、a, b, cは図3の点に対応)

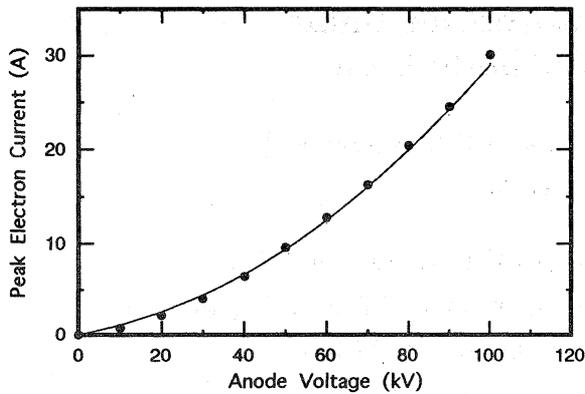


図5 陽極電圧と電子銃の最大ピーク電流との関係
(実線：空間電荷による加速電場の打ち消しが起こりはじめるグリッドからの入射電流値の計算結果)

増加させた場合、グリッド・陽極間のいずれかの場所で空間電荷による減速の強さが陽極電圧による加速の強さと等しくなった時に、空間電荷が顕著に作用し初めたと考える。この時の I_0 の値が図5の実線である。計算によって得られた電流値と実験値とは非常によく一致している。このことから、図3に見られるように、バイアスを下げた場合にピーク電流が飽和するのは、グリッド・陽極間の空間電荷の作用によると推定される。またこの結果は、図4に見られるパルス幅の広がりも空間電荷の作用と強く関係していることを示唆する。

図5に見られるように、陽極電圧 100 kVでのピーク電流の最大値は30.1 Aである。これは計算による電極設計において目標とした最大電流の値と良く一致している。前回の実験[1]では、得られた最大ピーク電流は 26 Aであった。6カ月程度使用した陰極を用いたので陰極表面が少し劣化していると考えられたが、陰極のヒーター電流を増しても、この値は増えなかった。陰極全体にわたり空間電荷制限領域にある場合、両者で同じ結果が得られるはずである。この原因は、前回使用した陰極で陰極表面からの電子の放出が場所的に不均一になったためではないかと考えている。電流密度が比較的高いために、陰極からの電子放出の不均一は、ビームが進む方向や集束特性に大きく影響をおよぼすと推定される。

通常の運転モード（入射電流約 12 A, パルス幅 5 ~ 8 ns）において陰極の寿命は1年以上あることが確認されている。

テストベンチにより特性試験を行った電子銃を、産研Lバンドライナックに実装して加速試験を行った。単バンチ電子ビームの電荷量は、1984年に記録した 67 nCが最大である。新たに開発した電子銃を使用することで、電子銃のパルス特性が改善されて、より矩形波に近いパルス波形が得られ

るようになり、ビームの質が改善されてビーム輸送効率が向上した。これらの改善によって、単バンチの電荷量の記録更新が期待された。パルス幅5 ns、陽極電圧 104 kV、ピーク電流 23 Aでの入射で加速実験を行った。この実験で、1バンチ当りの最大電荷量 73 nCを観測し、従来の記録を更新した。現在もこの実験を継続しており、ビーム特性の測定を行っている。

現在、電子銃出口の集束電磁石の配置が最適でないので一部のビームの損失があり、最大の電流値 30 Aでの入射は行っていない。この改善も予定している。

5. まとめ

産研Lバンドライナックのビーム条件の向上を目的として、YU-156陰極・グリッドアセンブリを使用した新しい電子銃を開発した。

電子銃内部での電子の挙動を解析するために、1次元モデルを使った計算を行った。この結果は実験結果と良く一致し、空間電荷の作用と電子銃から得られるビームの特性との関係が明らかになった。

ベンチテストによる実験で、パルス幅5 ns、陽極電圧100 kVで最大のピーク電流30.1 Aが得られた。これは設計時の目標と一致する。

この電子銃を産研Lバンドライナックに実装して単バンチビームの加速を行った結果、1バンチ当りの最大電荷量 73 nCが得られ、従来の記録を更新した。

今後、この研究結果をふまえ、短パルスビームや高輝度ビームの発生に対して最適化された条件における電子ビームの発生研究を進める。

電子銃の電極を製作していただいた産業科学研究所試作工場の皆様に感謝します。

参考文献

- [1] S. Okuda, S. Suemine, T. Yamamoto, T. Kozawa and S. Tagawa, Proc. 21th Linear Accelerator Meeting, (1996) 287.
- [2] S. Takeda, K. Tsumori, N. Kimura, T. Yamamoto, T. Hori, T. Sawai, J. Ohkuma, S. Takamuku, T. Okada, K. Hayashi and M. Kawanishi, IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-32 (1985) 3219.