

[P7-12]

## CHARACTERISTICS OF THE YU-156 ELECTRON GUN OF THE ISIR SINGLE-BUNCH ELECTRON LINAC

S. Okuda, T. Yamamoto, S. Suemine\* and G. Isoyama

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University  
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567-0047, Japan

### ABSTRACT

A high-current electron gun developed by using a YU-156 cathode-grid assembly has been installed in the L-band linac at ISIR, Osaka University in 1996. The charge of the single-bunch beam increased from 67 to 73 nC/bunch and the quality of the beams was improved with use of the gun. The gun has been operated in good conditions, so far. The long-term performance of the gun and the procedure for the exchange of the gun are reported.

### 産研単バンチ電子ライナックにおけるYU-156電子銃の特性

#### 1. はじめに

阪大産研では、新しい量子ビームの発生と利用に関する研究の進展のために、YU-156陰極・グリッドアセンブリ (EIMAC) を用いたピーク電流 30 Aの大電流電子銃[1]を新たに開発し、1996年12月より38 MeV Lバンド単バンチライナックで実装使用している。その開発の経緯と特性試験の結果については、前回までのリニアック技術研究会で報告した[2-4]。

これまでの使用で明らかになった電子銃の特性や取り扱いについて得られた知見および今後の開発計画と目標について報告する。

#### 2. 産研ライナックでの電子銃の使用条件

##### 2.1 ライナックの構成

産研Lバンドライナックの構成を図1に示す。高い電荷量を得るために、基本周波数の1/12と1/6のSHPBを使用している。単バンチビームをサテライトバンチが発生しないように加速できる条件として、電子銃から入射する電子ビームのパルス幅は、第1 SHPBのマイクロ波の約1/2周期に当たる5 ns以下である[4]。

##### 2.2 電子銃の構成

電子銃の配置を図2に示す。電子銃に使用されたYU-156アセンブリの陰極径は20 mmφである。陰極面積がY-796 (EIMAC) の1.5倍で、その他の幾何学的条件は、両者ともほぼ同じである。ウエネルト、陽極電極および銃管は設計製作した。

グリッドパルサーは、新しい電子銃の開発に合わせ、半導体だけで構成するように変更した。短パルサー (5-100 ns) と長パルサー (0.5-4 μs) の2種類のパルサーを切り替え、5 nsから4 μsまでの入射に対応している。前者では、トランジスタを3段に重ねたアバランシェパルサーを用い、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。パルス幅5.1 ns (FWHM)の場合、パルサーを12.8 Ωの抵抗で終端した時のピーク電圧は - 480 V、立ち上がり時間は約2.1 nsである。この立ち上がり時間は、まだ十分短いとはいえない。長パルサーはFETで増幅し、パルスの開始と終了のトリガ信号でパルス幅を設定する。最終段のアンプはデルリンの板の上に設置し、シールドフィンガーを利用したソケットによって銃管内

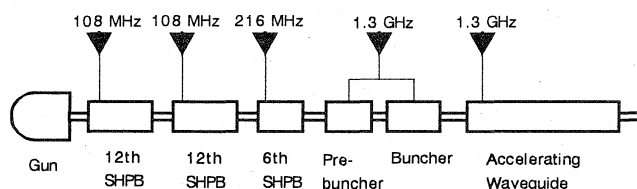


図1 産研単バンチ電子ライナックの構成

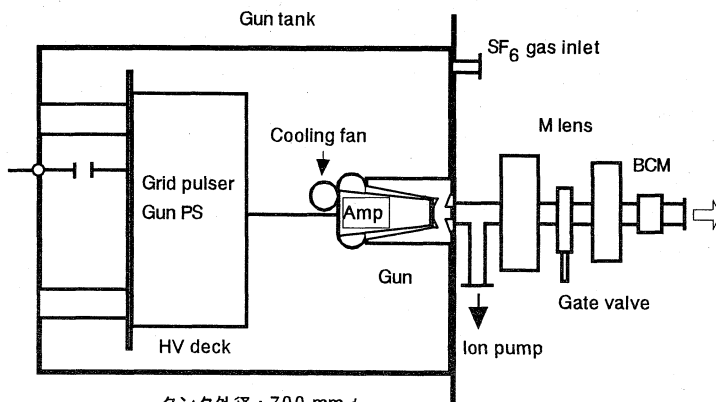
表1 入射および加速電子ビームの特性

Beam modes	Single	Transient	Steady
Electron beam injected from the electron gun			
Pulse width (FWHM)	5 ns	8-100 ns	0.5-4 μs
Peak current	<24 A	<14 A	<0.8 A
Electron beam after acceleration			
Pulse width (FWHM)	10-40 ps	8-100 ns	0.5-2.5 μs
Bunch train	single-bunch	multibunch	multibunch

\* Unicon System Corp.

のアセンブリに接続する。この板にはソケット部の冷却のためのファンを取付けた。電子銃の加速電圧としてアセンブリ側に印加する負の高電圧は最大110 kVであるが、通常は95 kVで動作させている。ウェネルトと陽極のもっとも短い間隙は、17 mmである。

電子銃の後には、排気管と2台の磁場レンズが設置されている。しかしEGNコードによる電子の軌道の計算結果から、最大電流での入射の際にビームの損失があることがわかっている。現在、排気管と最初の磁場レンズの位置を入れ替える準備を行っている。テストベンチによる結果では、この配置の変更が陰極付近の排気におよぼす影響はほとんどない。



タンク外径：700 mm φ  
長さ：約1000 mm  
SF<sub>6</sub>内圧：約1.3 atm

図2 電子銃部の配置

### 2.3 電子銃からの入射ビームの特性と運転条件

電子銃のこれまでの試験において、パルス幅 5 ns (FWHM)、陽極電圧100 kVで、最大ピーク電流30.1 Aが得られている[1, 3]。典型的な入射ビーム波形を図3に示す。パルスの立ち上がり時間(ピーク電圧の0.1-0.9)は1.6 nsである。グリッドパルサーの出力波形の立ち上がり時間が1.2 nsであるので、YU-156アセンブリおよびグリッドパルサーからの信号導入部を合わせた部分の立ち上がり時間への寄与は、1.1 nsになる。両者共に改善の余地がある。

産研ライナックにおける電子銃からの入射ビームおよび加速されたビームの条件を表1に示す。この内、パルス幅5 nsの単バンチモードおよび8 nsの過渡モードでの運転が80%以上で、この場合、入射するビームのピーク電流は通常10-14 Aである。電子銃におけるヒータ投入時間は年間約2600時間である。

この電子銃の使用により、現在までに加速後のビームの質の向上および単バンチビームの電荷量

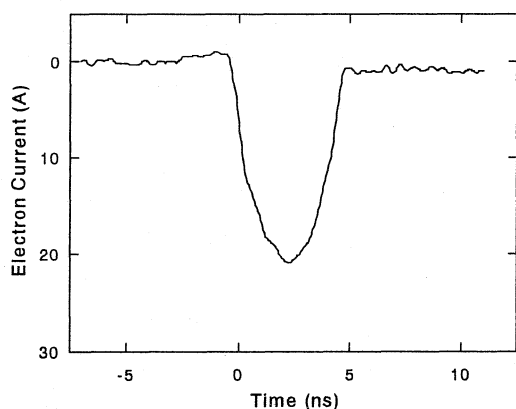


図3 電子銃からのビームのパルス波形の例  
(陽極電圧：90 kV、グリッドバイアスの電圧：403 V)

の増大(67→73 nC/bunch)が観測されている。

## 3. 電子銃の使用経緯と得られた特性

### 3.1 アセンブリ交換時の立ち上げ特性

アセンブリを交換する場合、銃管は取付けたままで、アセンブリのみを取り外す。窒素ガスを封入し、アセンブリを交換し排気した後、銃管全体を外部から加熱して脱ガスを行う。陰極は、ヒーター電圧を0.5 Vずつ上げ、それぞれ15-30分ずつ維持する。この間図2に示したイオンポンプ付近の電離真空計の指示が $3 \times 10^{-7}$  Torrを越えないように配慮した。陰極付近の真空度は直接モニタしていないが、より悪いと推定される。ヒーターを上げるのに必要な時間は全部で3-4時間であるが、2時間ほどで行った場合でもエミッション特性に劣化などの影響は認められなかった。

電子銃の加速電圧を徐々に印加し、この際、ア

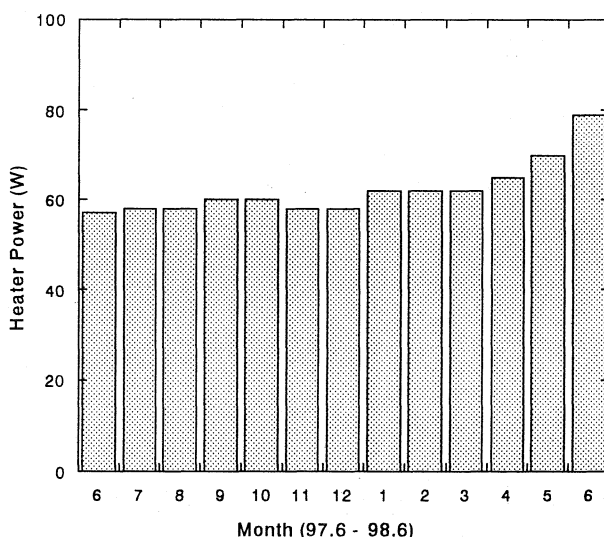


図4 アセンブリ交換までの1年間の電子銃陰極ヒーターの毎月の平均パワー

ウトガスが認められる。最終的に95 kV程度まであげるまで、陰極またはウェネルト電極と陽極の間で数回放電が起きる。放電は電極周辺の真空度と関係が深く、定性的には、排気に十分時間をかけることによりその回数が減る。瞬時の放電電流が比較的大きな場合には、エミッションが減少するが、時間と共に回復する。この経過の改善には、陽極からの放出ガスの排気が重要であると考えられる。陽極取付け部に18個の排気穴を設けているが、コンダクタンスの改善が重要である。緊急時に、アセンブリの交換からビーム利用までを約24時間で行った例があるが通常は、約3日で行う。

### 3.2 エミッション特性の変化

現在までに3個のアセンブリの実装使用の経験がある。このうち1997年の6月から使用を開始し、1998年の6月にエミッションが減少したために交換したアセンブリについて、月平均のヒーターパワーの変化を図4に示す。この間、ほとんどの場合、入射ビームのパルス幅は5-8 nsである。エミッション電流のピーク値は平均10-14 Aで、月に2-3日、16-20 Aでの実験を行った。ヒーター電圧は6.8 V、ヒーターパワーは約60 Wであるが、定格とされる値48 Wに比べて大きい。寿命の末期には、ヒーター電圧をあげてビーム電流を維持した。このような使用条件では、約1年の寿命がある。ただ第1SHPB付近の真空度が比較的悪く、この影響があることも考えられる。アセンブリの交換はエミッションの低下によるもので、単一のパルスビームを利用するパルスラジオリシス実験へのグリッドエミッションの影響は見られなかった。

### 3.3 グリッドパルサーの動作

新しい電子銃の使用に伴い、グリッドパルサーは板極管から半導体にきりかえた。前者では1年で板極管の顕著な劣化が見られ、定期的に交換していたが、現在は使用開始後2年半にわたり無故障で、特性の劣化も見られない。

## 4. 現状における課題とその改善

### 4.1 パルス特性の改善

電子銃からの入射ビームのパルス特性としては、前述のように立ち上がり時間が約2.1 nsである。最近トランジスタの選択などによって、この値は160 psまで短縮された。新たに開発されたグリッドパルサーで電子銃を動作させるベンチテストの準備を行っている。またパルサーアンプからグリッドへの信号導入部についても改善を進めている。電子銃からの入射ビームのパルス幅を1 ns以下にすることにより、バンチ幅1 ps以下の短パルスビームを発生させる計画である。

### 4.2 電子銃出口配置の改善

現在ベンチテストにおいて達成された最大入射ピーク電流30.1 Aでの入射は、加速器においては行っていない。加速器に設置されている集束電磁石の配置では、この最大電流付近でビームの損失があることが計算結果から明らかになっている。損失を押さえるよう、電磁石配置を変更する準備を行っている。

最大入射電流での加速試験を行うことにより単バンチビームの電荷量は、バンチ当たり約100 nCまで増大することが期待される。

## 5. まとめ

新たに開発された、YU-156陰極・グリッドアセンブリを用いた電子銃は、産研Lバンドライナックにおいて約2年半実装使用している。この間に得られた知見について述べたが、おおむね良好な特性を示している。今後いくつかの課題の改善を行い、特に、質の良い高強度量子ビームの発生をめざす。

## 参考文献

- [1] S. Okuda, T. Yamamoto, S. Suemine and S. Tagawa, Nucl. Instr. and Meth. A 417 (1998) 210.
- [2] S. Okuda, S. Suemine, T. Yamamoto, T. Kozawa and S. Tagawa, Proc. 21th Linear Accelerator Meeting (1996) 287.
- [3] S. Okuda, S. Suemine, T. Yamamoto, T. Kozawa and S. Tagawa, Proc. 22th Linear Accelerator Meeting (1997) 267.
- [4] S. Okuda, S. Suemine, T. Yamamoto, T. Kozawa and S. Tagawa, Proc. 22th Linear Accelerator Meeting (1998).
- [5] 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.