

## DEVELOPMENT OF A THERMIONIC ELECTRON GUN WITH A HIGH-REPETITION-RATE GRID-PULSER

Naoya Sugimoto<sup>#A)</sup>, Shigeru Kashiwagi<sup>B)</sup>, Ryukou Kato<sup>A)</sup>, Yoshikazu Terasawa<sup>A)</sup>, Shen Jie<sup>A)</sup>, Sho Hirata<sup>A)</sup>, Masaki Fujimoto<sup>A)</sup>, Akira Tokuchi<sup>A)</sup>, Shoji Suemine<sup>A)</sup>, Goro Isoyama<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University  
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

<sup>B)</sup> Research Center for Electron Photon Science, Tohoku University  
1-2-1 Mikamine, Taihaku-ku, Sendai, 982-0826

### Abstract

We are conducting FEL experiments with the L band electron linac at Osaka University. The linac is equipped with a thermionic electron gun and the three-stage sub-harmonic buncher (SHB) system. In FEL experiments an 8 $\mu$ s long electron pulse is injected from the gun and the SHB system is turned on for generating a multi-bunch electron beam of an 8 $\mu$ s duration with 2nC charge per bunch and 9.2 ns intervals between bunches. It repeatedly amplifies light pulses stored in the optical resonator of the FEL. The roundtrip time of the light pulses is 37 ns, so that four light pulses are stored in the resonator.

The FEL gain becomes higher at least in proportion to the peak current in the bunch or charge per bunch. The present charge value is limited by the high beam loading in the acceleration tube of the linac, exceeding a half of the input RF power. If the bunch intervals can be extended to 37 ns, the charge per bunch can be made four times higher for the same beam loading, resulting in significant increase of the FEL gain.

To generate such an electron beam, we are developing the electron gun system with a high-repetition-rate grid-pulsar. We will report the outline of the study.

## 高繰り返しグリッドパルサーを用いた熱電子銃の開発

### 1. はじめに

大阪大学産業科学研究所では L 電子バンドライナックを用いて遠赤外領域の自由電子レーザー (FEL) の開発研究に取り組んでいる。L バンド電子ライナックは、三極管構造のピアース型熱電子銃を持ち、グリッドに 5 ns から 8  $\mu$ s の単一パルス電圧を印加して様々なパルス長を持つ電子ビームを発生する。FEL の実験では、電子銃からパルス幅 8  $\mu$ s の電子ビームを入射し、108 MHz の RF 空洞 2 台と 216 MHz の RF 空洞 1 台からなるサブハーモニックバンチャーシステムを用いて電荷量が 2 nC のバンチが 9.2 ns 間隔で 8  $\mu$ s 繰り返す電子ビームを発生する。このマルチバンチ電子ビームが光共振器を往復する光パルスをアンジュレーター内で増幅して FEL 発振をおこす。光共振器を光パルスが往復する時間は 37 ns であるので、光共振器には 4 個の光パルスが存在する。

FEL の増幅率は、電子ビームのピーク電流、あるいはバンチの電荷量に比例して増大するので、電子ビームのバンチ間隔を 4 倍の 37 ns に拡大できれば、加速管に対する平均ビーム負荷が同一でも 4 倍の電荷量を持つバンチを加速することができ、FEL の増幅率を格段に高めることが可能である<sup>1)</sup>。

このような電子ビームを発生するために、パルス幅 5 ns でパルス間隔 37 ns のパルス列を 8  $\mu$ s 以上連続して発生できるグリッドパルサーと電子銃が必要である。しかし現在 L バンド電子ライナックで使用

しているグリッドパルサーではパルス間隔 37 ns、つまり繰り返し 27MHz での動作は不可能である。そこで電界効果トランジスタ(FET)を利用して高繰り返し動作を可能とするグリッドパルサーを製作し、それを用いて目的のパルス列を発生する電子銃を開発中である。本学会において、この高繰り返しグリッドパルサーを用いた熱電子銃の開発の現状について報告する。

### 2. 電子銃テストベンチの立ち上げ

電子銃における電子ビーム発生試験を行うために電子銃テストベンチを立ち上げた。図 1 はその全体構成図である。

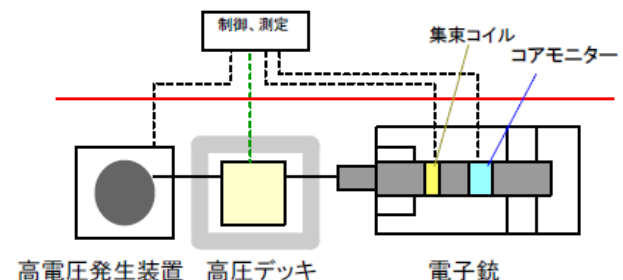


図 1 電子銃テストベンチ構成図

高電圧電源はコッククロフト・ウォルトン回路を用いたもので、250kV まで印加する事が可能である。そして高電圧デッキ内には、グリッドパルサー、バ

<sup>#</sup> sugi25@sanken.osaka-u.ac.jp

イアス電源、ヒーター電源があり、カソードからの電子放出を制御する。またグリッドパルサーにトリガー信号を入力するために、RF スイッチ(ZASWA-2-50DR)、光/電気変換器(AM-12-RD)、任意波形発生器、変圧器も高電圧デッキ内に収めている。そしてカソードは2009年10月までLバンド電子ライナックでの運転に使用されていたもの(EIMAC 製 YU-156)を用いており、交換前には電子放出能の低下はなかった。

また、このテストベンチの状況として真空度は  $6.7 \times 10^{-7}$  [Pa]であった。また電極のコンディショニングを進めているが、現段階では 85kVまで到達している状況である。最終的には 100kVの加速電圧にて実験を行なうので今後もコンディショニングを継続していく予定である。

### 3. グリッドパルサー

本回路において FET のスイッチングを利用して極性が負のパルスを出力する。この出力パルスハイトは FET ドレインに印加する直流電圧により決まり、本回路では 100~150V で可変である。そして出力パルスの立ち下がり時間は FET ゲートへの入力パルスハイトに依存するので、立ち下がり時間短縮のためにトリガー信号を増幅してゲートに入力している。また本回路では FET ゲートを FET 動作開始から一定遅延時間で短絡しており、これにより立ち上がり時間の短縮をしている。また、この遅延時間が出力パルス幅を決める最大の要因となっている。この遅延時間は信号の伝送距離の差により生じるものであり、ケーブルの長さを変えることで調整することが可能である。ゆえに出力パルス幅はこの調整をもって可変である。

FET は日立製の型名 2SK408 を採用した。この FET はスイッチング用ではなく、主な用途として VHF 帯のパワーアンプに用いられるものがあるが、動作が速く最大定格電圧が高いことが採用した理由である。ドレインに印加できる最大定格電圧は 180V である。

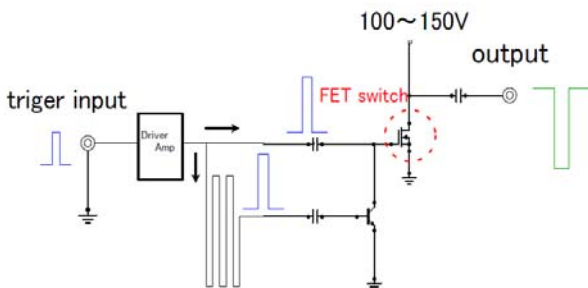


図2 FETを用いたグリッドパルサー動作原理図

次にグリッドパルサーを動作させるトリガー信号について説明する。そのシステムブロックは図3に示すようになり、まずシンセサイズドシグナルジェネレーター(SSG)から取り出された 1.3GHzの信号を分周器にて 27MHzのクロック信号 (NIMレベル) に変換し、その信号をファストライズタイムアンプで増幅する<sup>2</sup>。そしてこの信号を電気/光変換器と光/電気変換器を用いて地上側から高電圧デッキ上に信号を伝送する。高電圧デッキ上に伝送された 27MHzのクロック信号をRFスイッチを用いてゲートをかけて出力する。ゲートをかける際には、RFスイッチに任意波形発生器によりTTLレベルのトリガー信号を入力する。この時点での信号のパルスは負極性であるが、グリッドパルサーの設計上、トリガー信号には正極性のパルスが必要である。そのため変圧器を用いて極性を反転させてトリガー信号を作り出している。

このとき 27MHz のクロック信号の立ち上がりと RF スイッチでゲートをかけるタイミングは合わせていない。

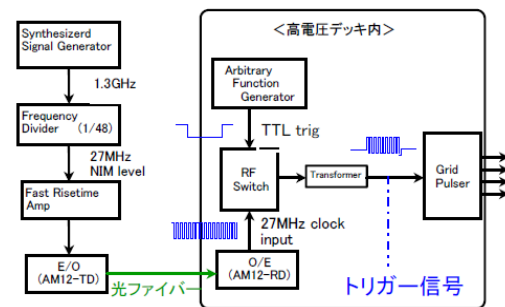


図3 トリガー信号システムブロック図

続いてこのトリガー信号を用いてグリッドパルサーの動作試験を行なった。このときグリッドパルサーには 8us の幅でゲートをかけたトリガー信号を入力している。その結果を図4に示す。トリガー信号のタイミングに合わせグリッドパルサーが動作している。そのパルス間隔 37ns、パルス幅 10ns、立ち下がり 4.5ns、立ち上がり 4ns であった。このときドレインへの印加直流電圧が 110V であったのに対して出力パルスハイトは約 95V であった。(500 ns~8us) ただ最初のトリガー信号の入力から 500ns 間は、出力パルスハイトは低くなる。これに関して回路基盤静電容量の影響の可能性が考えられる。

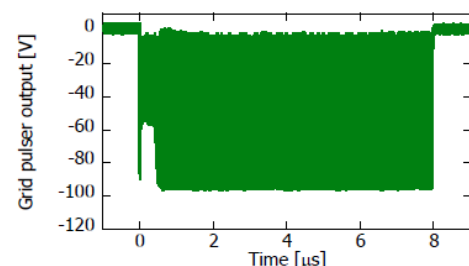


図4(a) グリッドパルサーの動作結果

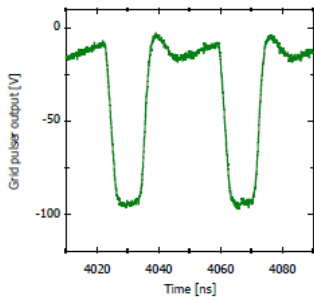


図 4 (b) グリッドパルサーの動作結果(拡大)

#### 4. マルチバンチエミッション試験

パルス列継続時間  $2\mu\text{s}$  でグリッドパルサーを動作させて、マルチバンチエミッション試験を行った。実施した状況としては、カソードに印加したヒーター電圧  $6\text{V}$ 、加速電圧  $50\text{kV}$ 、バイアス電圧  $50\text{V}$  であり、その結果を図 5 に示す。

この結果からグリッドパルサーの動作タイミングと同期してビームエミッションが起こっていると判断でき、その電子ビームのバンチ幅は  $11\text{ns}$ 、バンチ間隔は  $37\text{ns}$  であり、グリッドパルサーと同程度であった。また電子ビームのピーク電流は、グリッドパルサーが安定に動作している領域で  $880\text{mA}$  であった。

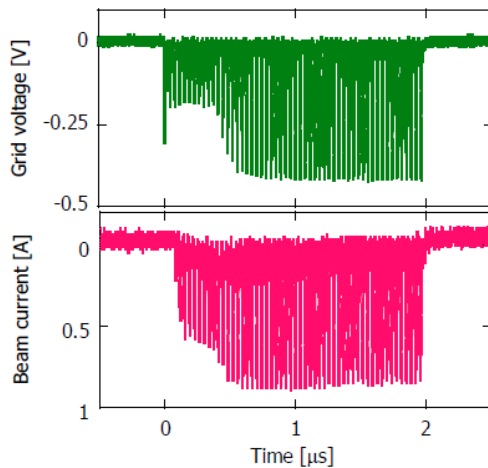


図 4 (a) マルチバンチエミッション試験結果

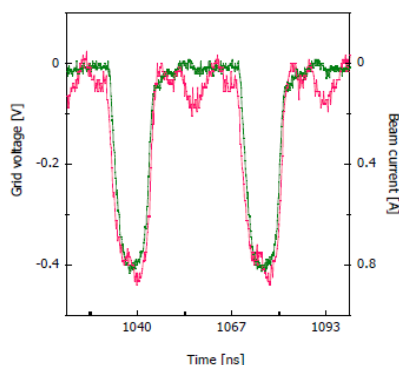


図 4 (b) マルチバンチエミッション (重ね合わせ)

#### 5. まとめ

電界効果トランジスタ(FET)を利用して、パルス間隔  $37\text{ns}$  (繰り返し周波数  $27\text{MHz}$ ) で動作するグリッドパルサーを開発した。また、立ち上げた電子銃テストベンチにて開発したグリッドパルサーを用いたビームエミッション試験を行い、そのパルサーの動作タイミングと同期したビームエミッションを確認した。

#### 参考文献

- [1] 電気学会 自由電子レーザーとその応用 コロナ社
- [2] <http://www-linac.kek.jp/mirror/lam28.tokai.jaeri.go.jp/proceedings/TP-53.pdf>