

DEVELOPMENT OF RF GUN USING LASER-TRIGGERED PHOTOCATHODE

* H. Akiyama

*Energy Research Laboratory, Hitachi, Ltd.
1168, Moriyama, Hitachi, Ibaraki, #316, Japan

T. Naito, Y. Otake, T. Shintake, Y. Takeuchi, J. Urakawa and M. Yoshioka
KEK, National Laboratory for High Energy Physics,
1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, #305, Japan

Abstract

A high-current low-emittance beam is required for the Japan Linear Collider (JLC). An RF gun using laser-triggered photocathode is being vigorously developed to generate the beam of the JLC. We have fabricated an RF gun system at S-band and succeeded the generation of the beam. The beam current was measured with a wall current monitor, whose time response was less than 100 ps. The pulse spacing of the electron beam was 5.6 ns, which was the same as a laser pulse spacing. The number of electrons generated from RF gun were 2.3×10^{10} . The beam energy was measured with an energy analyzer system; comprising a bending magnet, a screen monitor and a CCD camera with a fast gate (Image Intensifier). The maximum beam energy was 900 keV at an accelerating gradient of 40 MV/m. This report describes experimental results of the RF gun.

フォトカソードを用いたRF電子銃の開発

1. 緒言

JLCでは図1のような大電流、短パルス、低エミッタンスのビームが要求される [1]。フォトカソードを用いたRF電子銃は高電界加速、フォトカソードの使用の2つの特徴によりJLCの電子源の候補となっている。すなわち、高電界加速は低エミッタンス、大電流に対して有利であり、また、フォトカソードの使用は大電流、短パルス発生に有利である。また、フォトカソードは熱陰極と違いサテライトパルスが原理的に発生しないという利点をもつ。最近、特にこのサテライトパルスが原理的に発生しないという特徴が注目され、フォトカソード型RF電子銃はJLCの電子源の有力な候補に挙げられている。前回の研究会ではフォトカソード型RF電子銃について、加速空洞、レーザーシステム、レーザーパルスと加速高周波との同期システムなどについて述べた [2]。生の成功同期シ本研究会改進をを行うのまた、これらの各コンポーネントを組み合わせた動作試験を行い、ビーム発経過について報告する。

2. レーザーパルスと加速高周波との同期システムの改造

前回の報告ではレーザーパルスと加速高周波の同期の方法について、2つのシンセサイザーを用いておこなう方法を示した。すなわち、一方をレーザ

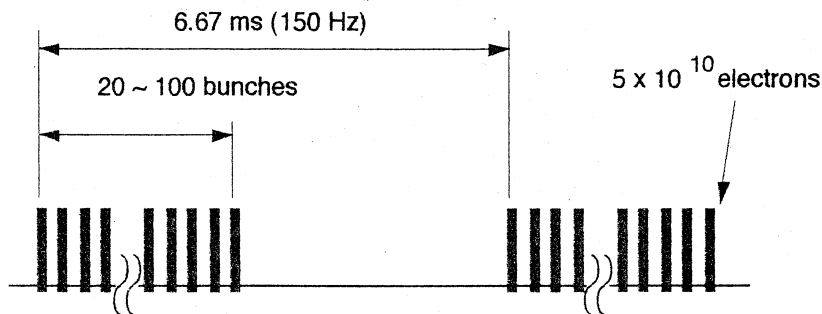


図1 JLCのビーム構造の概念図

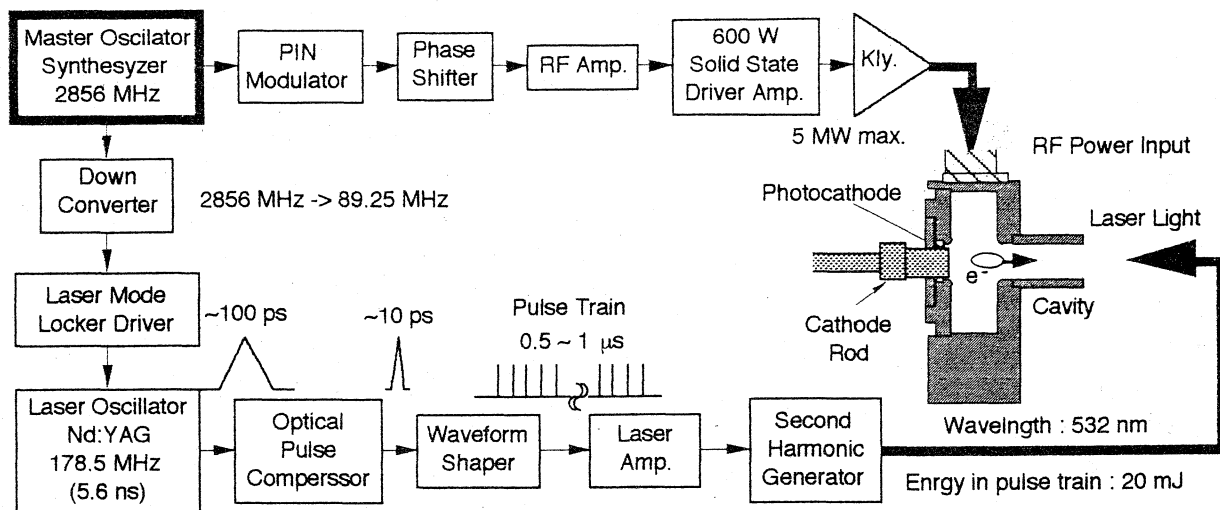


図1 フォトカソード型 RF 電子銃の概念図

一のモード同期用の 89.25 MHz の信号発生器として使用し、もう一方を高周波の 2856 MHz の入力用として使い、両シンセサイザーは、89.25 MHz 側の基準信号である 10 MHz をリファレンス信号として 2856 MHz 側に入力することにより同期させようとした。しかし、この方式は周波数の通倍を用いており、低い周波数での位相のジッターが高周波になるにしたがって拡大し最終的には同期がとれない。そのため、上記の方法を改良し図1のように、加速高周波用 2856 MHz 信号用シンセサイザーを主発振器とし、2856 MHz の信号を分周器により 32 分周し、レーザーのモード同期用 89.25 MHz 信号は発生させる方式をとった。この方式を採用することによりモード同期ドライバーの出口において加速高周波信号とレーザーモード同期用信号との間のジッターを 20 ps 以内にまで抑えることができた。ただし、レーザー発振器でジッターが発生しレーザーパルスのジッターは 100 ps 程度ある。加速高周波の周期は 350 ps、このうち加速位相は 175 ps で、レーザーパルスは各繰り返し毎に加速位相内をランダムに動く。この原因は次の理由による。レーザー発振器は励起光にフラッシュランプを使用している。フラッシュランプはスペクトルが広くエネルギー効率が悪いために多量の冷却水を流す必要がある。その冷却水が発振器内の AOモジュレータ、レーザーロッドに振動を引き起こしジッターを発生させていると考えられる。

3. ビーム測定及び結果

加速高周波とレーザーパルスの同期システムの改造を上記のように行い、レーザー、加速空洞、クライストロンなどのシステムを組み合わせた総合的な動作試験を行った。また、フォトカソードは Cs₃Sb を使用し、最大量子効率 4×10^{-4} 、寿命 2.5 時間を得ている。図2は動作試験のための実験装置を示している。フォトカソード

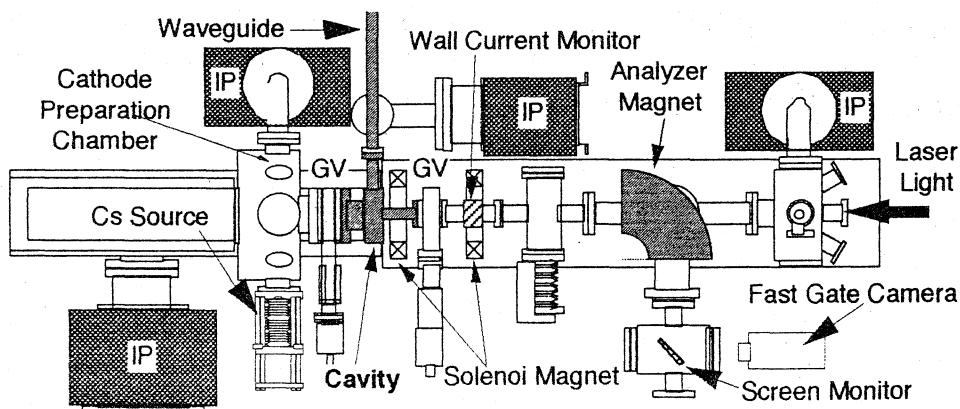


図2 RF 電子銃動作試験のための実験装置

IP: イオンポンプ GV: ゲートバルブ

はカソード活性化チェンバー内で活性化された後に加速空洞内に挿入される。レーザーは電子銃下流より入射し空洞内のフォトカソードを照射し光電子を発生させる。空洞内には導波管を

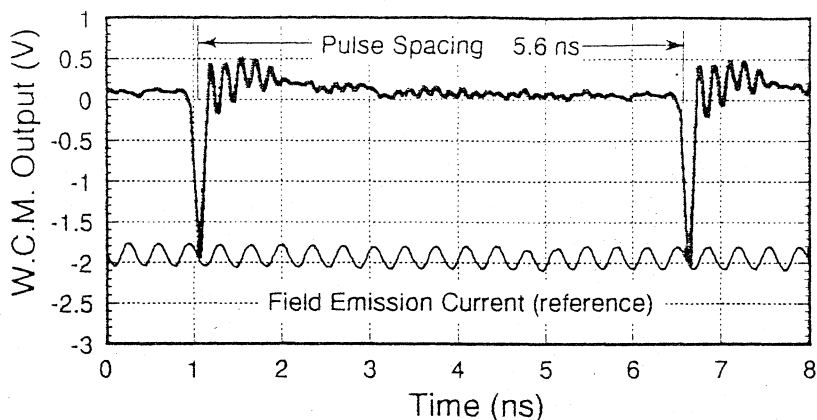


図3 壁電流モニターにより測定したビーム波形

通じて送られた高周波電力により強電場がたっており、光電子を加速する。電子銃の下流にはパルス構造を観測したビーム電流を測定するために、周波数応答が数 10 GHz の高速の壁電流モニター[3]を配置している。図3は壁電流モニターの信号を帯域 4.5 GHz のオシロスコープで測定したビーム波形を示す。電子ビームのパルス間隔は 5.6 ns になっており、これはレーザーパルスの間隔に等しい。この結果よりレーザーパルスと加速高周波に同期した電子ビームを発生させることに成功したことがわかる。さらに壁電流モニターの校正値より、発生させた電子数は 2.3×10^{10} 個であることがわかった。また、1パルストレインには約 180 個のパルスが含まれており 1パルストレイン内の全電子数は 4×10^{12} である。

図2のように、壁電流モニターの下流には最大エネルギーを測定するために偏向電磁石、スクリーンモニター、高速ゲートカメラを配置した。偏向電磁石の磁場を変化させスクリーンモニターの発光を観測することによりビームの最大エネルギーを測定した。この測定により加速勾配 40 MV/m においてビーム最大エネルギーが約 900 keV であることを確認した。この値は前回の研究会で報告した1次元モデルでのビーム解析の結果と一致する。

4. 結言

これまでの研究経過により初期の動作試験の目標であるレーザーに同期した電子ビームの発生に成功した。この結果により JLC において必要とされる大電流でかつマルチバンチのビーム発生の見通しが得られた。特に、これまでの直流またはパルスの高電圧電子銃では発生が困難であったマルチバンチビームの発生に成功した点はフォトカソード型 RF 電子銃の優位性を示している。現在、JLC 用試験加速器、ATF の建設に伴い実験システムをシールド内に移設している。この移設が完了したのちにより高加速勾配でのビーム実験を行う予定である。今後、実用化のために開発すべき項目として主にはレーザーパルスと加速高周波との同期の安定化、フォトカソードの長寿命化がある。同期の安定化については現在のレーザーの励起をエネルギー効率のよい半導体レーザー励起に変えるなどのレーザーシステムを変更を行えば十分実現可能である。したがって、今後はフォトカソードの長寿命化が最も優先すべき開発課題である。

謝辞

本研究は JLC Study Group のサポートにより行われました。また、(株) A.T.C. の西谷 数春氏にご援助をいただきました。

参考文献

- [1] 竹田 誠之、HEACC'92 Proceedings, Desy, July, 1992
- [2] 秋山 浩、大竹 雄次、内藤 孝、竹内 康紀、吉岡 正和、第 16 回ライナック技術研究会、p. 208
- [3] 内藤 孝、秋山 浩、浦川 順治、新竹 積、吉岡 正和、第 8 会加速器科学研究会資料、p.301