RF-GUN USING LASER-TRIGGERED PHOTOCATHODE

* H. Akiyama, Y. Otake, T. Naito, Y. Takeuchi and M. Yoshioka

KEK, National Laboratory for High Energy Physics, 1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, #305, Japan
* The Graduate University for Advanced Studies 1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, #305, Japan

Abstract

The high current and low emittance beam is required for JLC (Japan Linear Collider). An RF-gun using laser-triggered photocathode is being developed to generate the beam of JLC. We fabricated a pillbox type half cell cavity at 2856 MHz and have processed it up to the accelerating voltage of 40 MV/m. An RF-gun is triggered by laser pulses with short pulse width of less than 10 psec, which is consisted of a Nd:YAG mode-locked laser and a pulse compressor system using optical fiber and gratings. A phase-lock system of the mode-locked laser and a klystron is also developed. This report describes about the RF system, the laser system and the beam dynamics.

レーザーとフォトカソードを用いたRF電子銃

1. 緒言

JLCでは図1に示すような構造の短パルス、 低エミッタンスのビームが要求される。レーザ ーとフォトカソードを用いたRF電子銃はこの ようなビーム構造を実現する可能性をもつ電子 源である。ここでは、加速空胴と1次元モデル による解析、レーザーシステム、モード同期レ ーザーとRFソースとの同期について報告する。

2. RF電子銃の加速空胴と1次元モデルによる解析 RF電子銃はRF空洞内にカソードを配置し高 電界の高周波電場により加速する電子銃である。 一般によく知られているように放電限界となる 電界は直流電場よりも交流電場の方が高くなる。 従ってRF電子銃ではDC電子銃より高い電界強 度で加速することが可能となる。このときビー ムを短時間で光速まで加速するので、低エネル ギー部でのビームの拡がりを小さく押さえかつ デバンチング効果を押さえることができる。加



図1 JLCのビーム構造

えて大電流を取り出す点からも有利である。DC電子銃から取り出される電流は一般には印加電圧の3/2乗に比例する。RF電子銃ではDC電子銃と違いカソードから直接バンチ化したビームが放出されるため、DC電子銃と同じ扱いはできないが、電界強度が高ければ加速できる電荷量は大きくなる。 逆に、同じ電荷量を加速しようとした場合には、加速電界を高くすれば空間電荷による影響を小さくすることができる。

今回設計した加速空洞は、RF電子銃の基本特性を測定することを目的としている。RF電子銃のビ ームの性質を決定するのはエネルギーが低く、空間電荷の影響が大きい領域である。従って大電流、 低エミッタンスのビームを発生させるためには初段となる低エネルギー部の空洞内の現象を理解し なければならない。この考えにもとづき、今回設計した加速空洞は初段の1/2セルの空洞である。空 洞の形状はもっとも単純なビルボックス型にした。ビルボックス型は電磁場分布がわかりやすく、 計算モデルにおいて外部入力場の設定が容易であり、解析が容易である。この空洞を用いて、出力 ビームのエネルギー、エネルギー幅、バンチ長などの様々なパラメーターを測定し、解析モデルと の比較をすることによりRF電子銃の基本特性を押さえることができる。加速電場が高ければ加速す る電子数が多くても空間電荷効果の影響を少なくすることができる。しかし、電場が高くなると放 電を起しやすくなる。この加速空洞では加速電場が40 MV/m の場合、電子銃の出口でビームのエネ ルギーは約 860 keV となる。このエネルギーは初期実験としては十分高いと考えるが、空洞のプロ セッシングの進行状態及びカソードの寿命の状況によってはより高い加速電場、例えば 100MV/mで の実験もありうる。カソード部と空胴とのRF接触方法にはチョーク構造とスプリングなどによるコ ンタクト方式がある。本空胴ではマルチパクタの発生を考慮しコイルスブリングを用いた構造を採 用した。 空洞の設計にあたっては、SUPERFISH を使用して形状を決めた。以下に、SUPERFISH による空

洞の主なパラメーターの計算結果を示す。

| 表1 RF電子銃の加速空洞の |)パラメータ |
|----------------|------------|
| 共振周波数 | 2856 MHz |
| 空胴長 | 2.56 cm |
| 空胴内径 | 8.126 cm |
| ビームホール直径 | 2.0 cm |
| Q值 | 12831 |
| シャントインピーダンス | 62.74 MΩ/m |

現在、加速空胴は入力電力600kW、加速電 界40MV/mまでプロセッシングが終了した段階 である。

空胴内のビームのダイナミックスの解析の 第1段階として1次元シートビームモデルによ る計算をおこなった。この解析によればレー ザーの入射位相によってはビームはレーザー のパルス幅より圧縮される、つまり、バンチ 圧縮の効果があることがわかった。図2は入射 位相と空胴出口でのバンチ長の関係を示して いる。この計算では加速電界は40MV/m、入射 レーザーのパルス幅は10psである。

3. レーザーシステム

フォトカソードとレーザーを用いたRF電子銃 では、レーザーパルスがフォトカソードを照射 したときのみ電子が発生する。したがって、電 子銃部で極めて短いパルスビームを発生できる。 また、加速マイクロ波の周波数は 2856 MHz、 周期 350psである。出力ビームのエネルギー 幅を極力小さくするためにレーザーのパルス幅 はできるかぎり狭くなければならない。レーザ ーは、CW Nd:YAGモード同期レーザーで波長 は1064 nm、パルス間隔は 5.6ns である。レー ザーのパルス幅はレーザーオシレーター出口で は60-100 psでこれをファイバーとグーレティ ングを用いたレーザーパルス圧縮装置(Spectra Physics社製)により 10 psまで圧縮する。図2は オートコリレーターにより観測されたパルス圧 縮後のパルス波形である。 CW レー ザーパル ス列をポッケルスセルにより1 µs程度のパル ス列に切りだし増幅した後に SHG(2次高調波 発生)により波長を 532nmに変換する。図3は バイプラナ光電管(立ち上がり 60ps) と4.5GHz のオシロスコープで測定したレーザーパルス波 形である。このようにして得られたレーザーの 出力は1パルス列あたり20 mJ 、 1パルスあ たり11.2 MW、光子数にして 4.0×10¹⁴個であ る。フォトカソードの量子効率を 0.1%とした 場合、4.0×10¹¹個の電子が得られることにな る。

レーザーのパルス間隔はモード同期の周波数 の変更、および反射鏡などを用い光路差を変 更することで容易に調節可能である。従って、



図2 レーザー入射位相とバンチ幅

| | | | | | | | | - | Transferret and |
|------------|------|---------------|---------|---------|--------------|--|--------|--|--|
| GUG | . 50 | 1022 | | | 2 | D. | 500 | 5U - | 121 |
| | | 40 | 6.9 | | 1000 | | | | |
| | | | | | 33486 | DET. | alles! | E- | |
| 1 | | | | 開設 | | 1.2 | | | |
| | | Marine Street | 7996 | Jil's | LUL. | | 0.0 | A COLOR | |
| THUN. | 7.71 | JUAN | The set | ALL ALL | J.C | J 3 | The la | J.L. | YMES |
| | | | | | <i>3.220</i> | | | | |
| | | | | I TOTAL | 1 | | | | |
| | | | | | | | | | |
| (MASA) | | | | | | | POST N | 1999-199 R.R.B.S.S. | |
| | | | | | | 2 T. | 1.0 | | |
| | | | | | | | | E | |
| | 0 | | | | | | | | Carlos and |
| | | | | 國和自 | | | 4 | | |
| | | | | | | | | Contraction of the local division of the loc | |
| | | | | 開始 | | Sec. 2 | | | |
| | CE. | Of the | PUL | 1000 | | | STI-H | | |
| CLCC | TT | SIL | EFE | SEU | JELS. | | 200 | B | IC S |
| | | | 5 | | 22 | | 3 | 0 | T |
| | | | | | | and the second s | | 國際國際設定 | STREET, STREET |

図3 オートコリレーターによるレーザー波形 (パルス幅 FWHM 10 psec)



(1 ns/div、パルス間隔5.6ns)

レーザーバルスを調節すれば原理的には任意のパルス間隔の電子ビームを容易に発生させることができる。このためにJLCのビーム構造のような複雑なパルス構造にも対応できるし、2バンチのビームによるウェークフィールドの実験などの用途にも対応可能である。

4. 加速高周波とモードロックレーザーの同期

図5はRF電子銃のレーザー部とRF部のブロックダイアグラムを示している。RF電子銃ではビーム を安定に供給するためにレーザーの入射位相と高周波の位相を高精度で同期させなければならない。 初期実験ではこの同期は2つのシンセサイザーを用いておこなう。一方をレーザーのモードロック用 の89.25MHzの信号発生器として使用し、もう一方を高周波の2856MHzの入力用として使う。両シ ンセサイザーは、89.25MHz側の基準信号である 10MHzをリファレンス信号として2856MHz 側に 入力することにより同期させている。この方法では短期間での位相のジッターが20ps程度であった。 今後は、実機に向けて安定なビームを発生させるためにジッターを数ps内に押さえることが可能な システムを構築する予定である。

各トリガー系は Line Sync. 及び遅延回路によりタイミングを調整している。ただし、これらについてはジッターは数ns程度で十分であり実現されている。



図5 レーザー部とRF部のブロックダイアグラム

5. 結言

現在実験システムは完成し,加速空胴のプロセッシングが初期目標の40MV/mに達し、レーザー、フォトカソード等の調整をおこなっている。

今後はビームの加速試験を行い動作を確認したのち、ビームの各パラメータ、ビーム電流、エネ ルギー及びエネルギースペクトル、バンチ長、エミッタンスなどを測定する。また空胴内のビーム の振舞いについては横方向の運動についての考察をすすめていく。