

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、加速空洞と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電子銃の加速空洞と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ピルボックス型にした。ピ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。カソード部と空洞との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

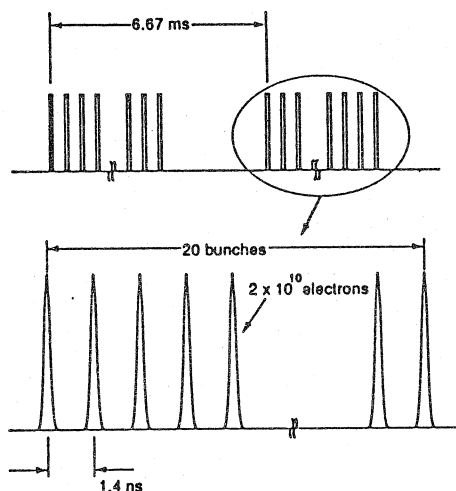


図1 JLCのビーム構造

ンタクト方式がある。本空洞ではマルチパクタの発生を考慮しコイルスプ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
空洞長	2.56 cm
空洞内径	8.126 cm
ビームホール直径	2.0 cm
Q値	12831
シャントインピーダンス	62.74 MΩ/m

現在、加速空洞は入力電力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。

空洞内のビームのダイナミクスの解析の第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は入射位相と空洞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。

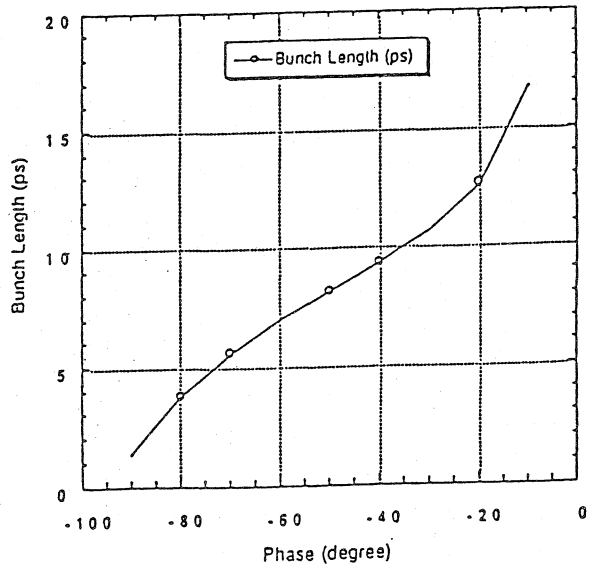


図2 レーザー入射位相とバンチ幅

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しなければならない。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レー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パルスあたり20 mJ、1パルスあたり11.2 MW、光子数にして 4.0×10^{14} 個である。フォトカソードの量子効率を0.1%とした場合、 4.0×10^{11} 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、

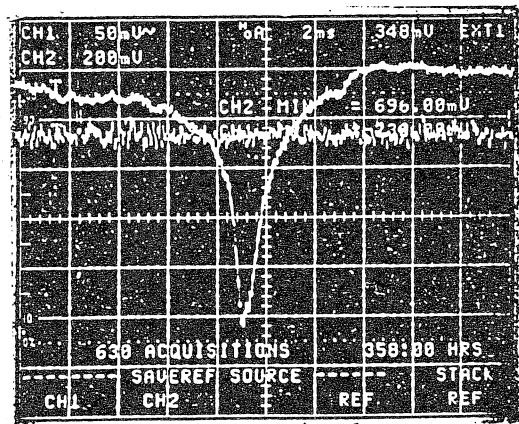


図3 オートコリレーターによるレーザー波形 (パルス幅 FWHM 10 psec)

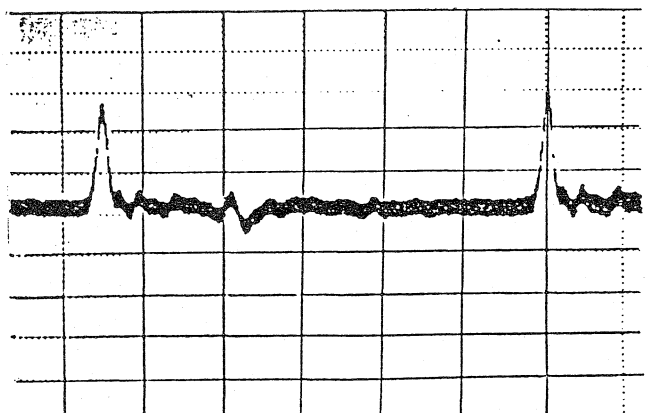


図4 レーザーパルス波形 (1 ns/div、パルス間隔5.6ns)

