

Beam test of Electron Gun With Pulse High Voltage

K.Hasegawa^{*A)}, H.Hayano^{B)}

A) Graduate University for Advanced studies
1-1 Oho, Tsukuba-shi, 305-0801

B) High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tsukuba-shi, 305-0801

Abstract

High electric field acceleration which is an advantage of RF gun generates the rf emittance because of the rf acceleration. For this emittance component, it is difficult to generate the lower emittance beam of less than $1\pi\text{mm.mrad}$. Hence we have designed the RF gun with the diode mechanism whose distance between cathode and anode is 2mm. Pulsed-high voltage(1ns, 2MV) is applied to the diode. Consequently, the field gradient becomes up to 1GV/m. Presently we manufacture the short and high pulsed-voltage generator and are planning beam test. In this report, we will describe the present status and plan of the beam test.

パルス高電圧を用いた電子銃のビームテスト

1. はじめに

Photo-cathode RFGun は、高周波空洞内のカソードにレーザーを照射し引き出した電子を素早く高周波で加速することによって空間電荷による発散効果を最小限に押さえることが出来、短パルスレーザーを用いることでインジェクター部の簡素化が可能となる。また、様々な低エミッタンスへの研究から KEK-ATF においても数 $\pi\text{mm.mrad}$ のエミッタンスが得られるまでになっておりビームの低エミッタンス化に一定の成果を上げている^[1]。ここで、RF gun の空間電荷エミッタンス ($\varepsilon_{s.c}$) と rf エミッタンス (ε_{rf}) はカソード表面での最大電場 (E_0) に関して以下のように表される。

$$\varepsilon_{s.c} = \frac{\pi}{4\alpha k} \frac{I}{I_A} \frac{\sigma_z}{3\sigma_x + 5\sigma_z} \propto E_0$$
$$\varepsilon_{rf} = \alpha k^3 \frac{\sigma_x^3 \sigma_z^2}{\sqrt{2}} \propto 1/E_0$$

よって上式の相反する効果から $1\pi\text{mm.mrad}$ 以下を求めた場合、その妨げになり大幅な低エミッタンス化は難しいと考えられる。

そこで我々は、1ns, 2MV パルス電圧を diode に印可し初期加速する機構を RF 空洞の全段に設置することでビームの低エミッタンス化をはかることを考えた。この方式は、初段において RF 効果によるエミッタンス増加がなく、非常に短いパルス電圧のため放電限界電圧が引き上げられ初期加速勾配が非常に高くなり空間電荷効果によるエミッタンス増加を更に抑制する事ができる。シミュレーションから RFGun での最小エミッタンスは、ハーフセルでほぼ決まっております。この方法はビームの低エミッタンス化に非常に有効である。またこの電子銃の実用化を考えた場合、ATF においては RFGun 部分の製作、調整、実機の運

用は過去 2 年間で経験しておりエミッター部分及び高電圧短パルス発生器の開発を重点的に行うことが出来る。

今回は、高電圧短パルス発生器の開発現状及び 2004 年夏に予定しているビームテストについて報告する。

2. 電子銃の概要

電子銃の概略を図 1 に示す。Diode 機構の詳細な形状、概要及び生成されるビームの simulation は参考文献^[2, 3]を参照の事。

0~400KV のパルス電圧は、50KV 電源でパルス整形回路 (PFN) を充電し生成した 25KV パルス電圧をパルストランス (1:16) で昇圧し 400KV パルス電圧を生成する。これは、ATF で使用されている既存のモジュレータ系を流用する。ここで生成されたパルス電圧で、パルス発生装置のパルス整形線路 (PFL) を充電し、1ns パルスを生成した後テーパ部のインピーダンス変換で昇圧し 2MV パルス電圧をカソードに印可する。詳しくは 4. で述べる。Diode 部のカソードアノード間は、2mm の間隔であるため加速勾配は 1GV/m となる。またアノード直後には、1.6cell RF 空洞を設置しビームのパンチング及び再加速した後、ソレノイド磁場によるエミッタンス補償を行う。カソードは、基板にダイヤモンドを用い Cs-Te を蒸着し後方からレーザーを照射して電子を引き出す透過型となっている。Diode 機構の直後に RF 空洞を設置するためアノード孔を小さくしなくてはならないが、透過型により解決される。よって電子銃の開発は、ダイヤモンド上への Cs-Te 蒸着の確認、測定及び 1ns, 2MV パルス発生器設計、製作となる。

以下に、ダイヤモンド上に Cs-Te を蒸着し紫外光を背面から入射して行ったカソード試験、高電圧短パルス発生器の概要及びビームテストの概要について述べる。

* E-mail: khase@post.kek.jp

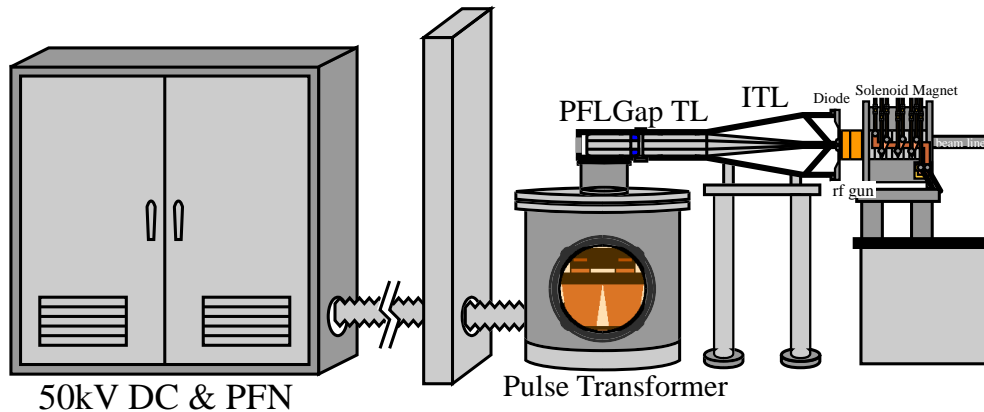


図 1: 短パルス高電圧を用いた電子銃の概念図。ATF で使用しているクライストロン用モジュレータとパルストランスを用い 400KV パルス電圧を生成し、短パルス高電圧発生装置を充電する。Diode で初期加速されたビームは RF 空洞で再加速される。

3. ダイヤモンド 基板への Cs-Te 蒸着試験

透過型カソードの実現性を調べる為、ダイヤモンド基板に Cs-Te を蒸着し量子効率、寿命測定を行った。基板として使用したダイヤモンドは、Cs-Te の感度がある紫外線領域 ($\lambda = 266\text{nm}$ 近傍) で十分な透過率がある IIb タイプ ($2.5 \times 2.5 \times 0.5\text{mm}$) であり表面はスカイフ研磨されている。この基板を $\phi 2.4$ の孔がつけられたホルダーに挟んで固定し、始め大気中で光を当て透過率測定を行った。この際、ダイヤモンドの波長に対する透過率も測定しバンドギャップ (間接遷移: 5.3eV) 近傍での吸収も既知データと同じであることを確認した。次にホルダーを蒸着チェンバー内に周囲と絶縁した状態で設置し、W-バスケットに通電し Te を膜厚計で測定しながら 10nm 蒸着した。図 2 に、配置の概略図を示す。

その後、ホルダーに -100V を印可し後方から紫外光を照射してフォトカレントを測定しながら Cs-ディスペンサーに通電し量子効率が最大値から下がり始めるまで蒸着した。蒸着中の真空度は、 $\sim 2 \times 10^{-6}\text{Pa}$ である。蒸着終了後、 $5 \times 10^{-7}\text{Pa}$ 以下の真空度中に保管し、約 2 週間量子効率を測定した。蒸着後、1 日目からの量子効率の変化を図 3 に示す。ATF で RFGun カソード用に Mo に蒸着したとき通常初期量子効率が、10% を越えるのに対し今回のダイヤモンド基板透過光測定では、2% 程度と大幅に低い傾向にあった。

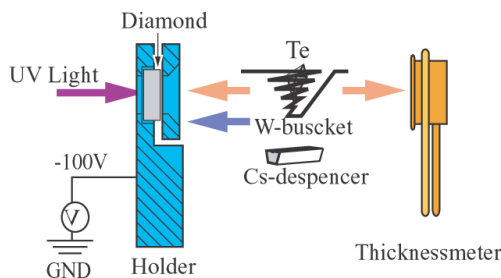


図 2: 蒸着源、ダイヤモンドの配置概略図

このとき測定から得られた寿命は、約 30 日である。

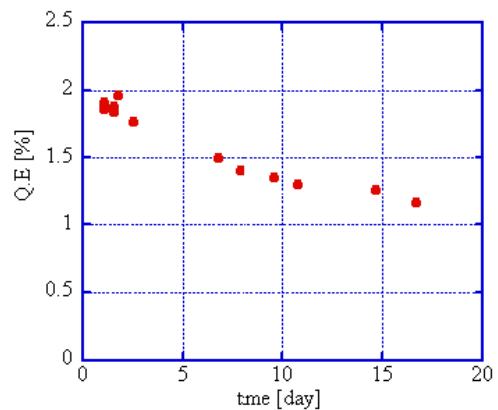


図 3: ダイヤモンド基板に Cs-Te を蒸着した時の量子効率の変化。基板は超高真空中 ($< 5 \times 10^{-7}\text{Pa}$) に保管し、量子効率測定には透過光を使用した。

4. 短パルス高電圧発生器

図 4 に、高電圧短パルス発生器の断面図を示す。高電圧短パルス発生器は、同軸構造で内部は真空とし 1ns パルス整形の為の PFL、自己放電型スイッチ、伝送ライン、インピーダンス変換によるパルス昇圧用テーパ部、負荷から構成されている。

始めに、パルストランスで生成された 400KV パルス電圧で PFL を充電する。同軸構造で内部が真空より 1ns パルス整形のため PFL の長さは 15cm となっている。自己放電型スイッチは、ギャップ間が可変構造となっており PFL で整形されるパルス電圧をコントロールすることが出来る。また PFL 及び伝送ラインと真真空的に切り離されており、中に水を入れ耐圧を上げることでギャップ間距離を短くし低インダクタンス化をはかっている。これを PFL が共振充電により 800KV 充電された時にスイッチが動作するようにギャップ間を調整する。放電が起こると 1ns 、 400KV

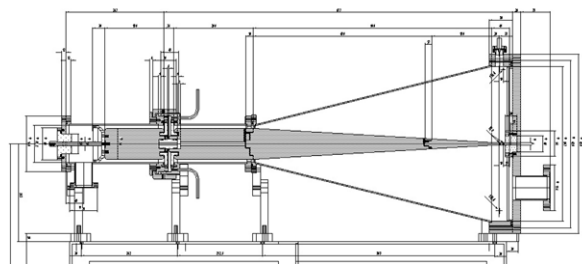


図 4: 短パルス高電圧発生器の断面図。ビームテストでは、内軸中心部に紫外光が通る孔 ($\phi 2.5 \sim \phi 12$) があけられている。

パルスが伝送ラインを伝搬しテーパー部に到達する。テーパー部は、内径及び外径を直線的に変化させる事でインピーダンスを変化させパルス電圧を昇圧する。無損失の場合、パルスはテーパー部で約 5 倍に昇圧されるよう設計している。図 5 は、実際に製作した高電圧短パルス発生器の外観である。

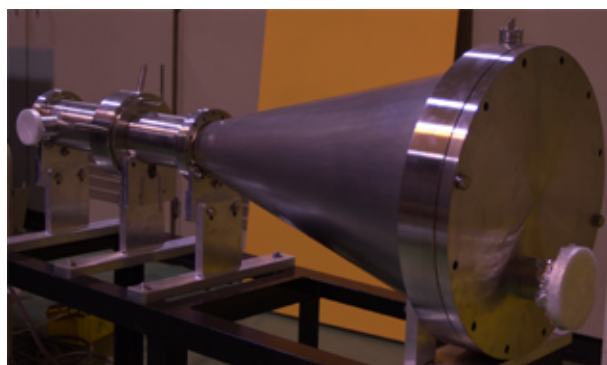


図 5: 高電圧短パルス発生器の外観。同軸構造になっており、左側が PFL、自己放電水スイッチ、伝送ライン、テーパー部となっている。

5. ビームテスト

先に述べた透過型カソード及び高電圧短パルス発生器を用いてビームテストを計画している。今回のテストでは、150KV 電源を用いて PFL を充電し 1MeV 以下のビームを生成してエミッタンス等の測定を計画している。以下に概要を述べる。

5.1 ビームライン

高電圧短パルス発生器の PFL を 150KV 電源で充電する。放電によって、1ns、75KV パルス電圧が生成されテーパーで 375KV まで昇圧されカソードに印可される。紫外光は、中心軸内を通して連続光を照射するため電圧が印可された時のみビームとして加速される。よってビームの長さは、電圧のパルス幅の約 1ns となる。

直後に Cs-Te 蒸着源を設置しアノード孔を通して蒸着を行う。その後に壁電流計 (W.C) を設置する。ここでの電流プロファイルがパルス電圧波形となる。次

に 4 極電磁石を設置し Q-scan 法でエミッタンスを測定する。その際のビームサイズは、X-Y それぞれのプロファイル測定用 slit を設置し、Faraday cup の電流からビームサイズを測定する。最後にビームを曲げエネルギー、エネルギー幅を測定する。

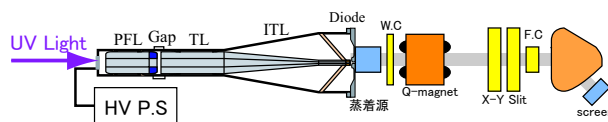


図 6: ビームテストの概略図。

6. まとめと今後の予定

1ns、2MV パルス電圧を Diode 機構に印可し RF gun の全段に設置する電子銃の開発を行っている。400KV パルス電圧は、ATF で使用している現存のモジュレータ及びパルストランス (1:16) を用いて生成する。このパルス電圧を整形、昇圧する高電圧短パルス発生器を設計、製作した。これは、PFL 及び水ギャップの自己放電型スイッチを用いて 1ns パルスを整形しテーパー部のインピーダンス変換で 2MV まで昇圧する。カソードは、ダイヤモンド基板上に Cs-Te を蒸着して透過型カソードを作り対面から紫外光を照射してビームを生成する。蒸着試験の結果、寿命約 30 日で 1% 程度の量子効率を確認した。

現在、150KV 電源を用いたパルス発生器単体でのビームテストを計画し、測定計の整備を行っている。実験は、2004 年 8 月を予定している。

参考文献

- [1] 栗木他、ATF コラボレーション、“Multi-bunch beam generation by Photo-cathode RF gun”, 第 28 回リニアック技術研究会 p194-p196
- [2] 長谷川豪志、早野仁司、“高電圧短パルスエミッターを用いた RFGun の設計研究”、第 28 回リニアック技術研究会 p189-p191
- [3] 長谷川豪志、早野仁司、“短パルスエミッター用いた透過型低エミッタンス電子銃の開発”、第 14 回加速器科学研究発表 p158-p160