

Experiment of Electron Gun with Pulse High Voltage

Katsushi Hasegawa^{*A)}, Hitoshi Hayano^{B)},

A) SOKENDAI

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

B) KEK

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

Abstract

Photocathode RFGuns are currently preferred choice for the production of a low emittance beam. Additionally, a low emittance beam is one of the most important feature for SASE-FEL, ERL and the 4-th generation light source. But it is difficult to generate lower emittance beam of less than $1\pi\text{mm.mrad}$ because of RF field effects. Hence we have designed the RF gun with the diode emitter mechanism in the front. In this report, we describe the present status, the outline of experimental apparatus and plan of the beam experiment using the tapered transmission line.

パルス高電圧を用いた電子銃の実験

1. はじめに

次世代放射光源として SASE-FEL(Self Amplification of Spontaneous Emission - Free Electron Laser) や ERL(Energy Recovery Linac)、コンプトン散乱を用いた X 線生成など多くの実験では、低エミッタンス電子源として S-band もしくは L-band フォトカソード RFGun が広く使われおり、数 $\pi\text{mm.mrad}@\sim 100\text{A}$ が達成されている。現在達成されている以上の低エミッタンス化を目指す場合、空間電荷効果低減のため最大加速電場を引き上げることが重要となる。しかし、RFGun においては高周波に起因するエミッタンスを増加させることにつながり、この相反する問題から大幅な低エミッタンス化は難しいと考えられる。

この問題は、RFGun の前段に非常に短いパルス電圧を狭い Gap 間に印可し前段加速する Diode 機構を設置することで解決できると考えた。全段部の加速は、電圧のパルス幅を 1ns 程度にすることで S-band RFGun と比較し数倍以上の加速勾配でも放電が問題にならない。よって、光電子放出直後の空間電荷効果を大幅に抑制することが可能となる。

本稿では、研究開発を行ってきた電子銃のうち、-60KV 電源と短パルス高電圧発生器、カソードとレーザー光を用いた低エネルギービーム実験についての概要及び実験装置について報告する。

2. 実験概要

以下に電子銃と今回計画している実験の概要を簡単に述べる。

2.1 電子銃概要^[1]

電子銃は、カソード、アノードからなる Diode 部と再加速する 1.6Cell RF 空洞部から構成されている。このうち Diode 部での加速電場は、印可電圧のパルス幅を～数 ns 程度にすることで 1GV/m が達成可能

で空間電荷効果を大幅に抑制できる。この短パルス高電圧を既存するモジュレーター系を用いて生成する事を考えている。これは、ATF で S-band 用に使用されているモジュレータとパルストランスで生成された～400KV のパルス電圧で短パルス発生装置の PFL を充電し 1ns パルスを整形した後、インピーダンス変換で 2MV まで昇圧して Diode 部に印可する。初期加速勾配を 1GV/m とする事からカソードとアノード間 Gap の 2mm が決定され、カソード形状と生成ビーム性質の詳細はシミュレーションコード (GPT) を用いて計算した^[2]。またカソードは、バルクで NEA 表面を持つ事から初期エミッタンス低減が期待でき、耐電圧も高い事からダイヤモンドを採用した。しかし今回の実験には、直接電子を励起できるレーザーがないことからダイヤモンドを基盤とし Cs-Te を蒸着して UV 光 (266nm) を背面から照射して励起する方法をとる。これは先に蒸着試験を行い、光電子が生成できる事と Cs-Te の寿命を確認した^[3]。よって電子銃部は、 1ns パルス電圧を整形する短パルス高電圧発生装置、 2mmGap とダイヤモンド (もしくは Cs-Te を蒸着) を用いたカソードの Diode 部、再加速する 1.6cell RF 空洞部から構成されている。

2.2 実験概要

低エネルギーでの性能確認のため、製作した短パルス高電圧発生器とダイヤモンドと Cs-Te を用いた透過型カソードを用いビーム引き出し実験を計画している。今回の計画では、-60KV 電源を用いて PFL を充電する。充電の最後における Gap 放電により生成されたパルス電圧はテーパ部で昇圧され電子ビームのエネルギーは、最大 150KeV となる予定である。電子生成には、ATF の通常運転に使用されている UV レーザー光 (～ $5\mu\text{J}$ 、約 10ps) を使用する。実験では、生成されたパルス電圧の波形、強度やスリットを用いてビームの位相空間分布、エネルギー等を測定する。

^{*}E-mail: khase@post.kek.jp

3. 実験装置概要

ここでは、実験装置の短パルス高電圧発生器とビーム測定器について紹介する。

3.1 短パルス高電圧発生器及びカソード

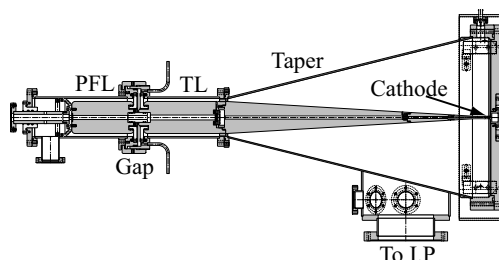


図1: 短パルス高電圧発生器の断面図。PFL、放電スイッチ、TL、テーパー部、カソードから構成されており、内軸中心部にUV光が通る孔($\phi 12 \rightarrow \phi 2.5$)が開けられている。

図1に短パルス高電圧発生器の断面図を示す。短パルス高電圧発生器は、内部が真空の同軸構造となっており1nsパルス整形用のPFL、放電スイッチ、インピーダンス変換によるパルス昇圧用テーパー部、カソードから構成されている。

内部が真空構造のPFLは、1nsパルス整形の為長さ15cmとなっている。このPFLが、Gap間距離が可変の放電スイッチに接続されている。図2は、放電スイッチGap間の断面写真である。パルスの立ち上がり（立ち下がり）を鋭くするためGap間を純水で満たし放電限界電圧を上げ、短い距離で高い電圧まで充電出来る様にし低インダクタンス化をはかった。PFLと同軸伝送線路（TL）との真空は、セラミックスと同軸間のO-リング（バイトン）でシールされている。中心部の孔も同様にシールされ、UV光が通過することが出来る。

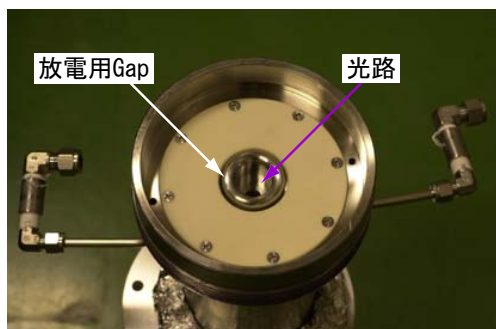


図2: 放電スイッチGap部の断面図。放電限界電圧を上昇させる為、左（右）の接続部から純水を注入しGap間を水で満たす。同軸線路の真空はO-リング（バイトン）でシールされている。

PFLで整形されたパルスは、TLを伝送しテーパー部に入射される。テーパー部は、両軸ともテーパーが付けられておりインピーダンス変換で昇圧比1:5の設

計となっている。テーパー長は、1nsパルスを仮定しそのFFTの結果から主周波数成分である0.5GHzのSパラメータが大きくなる長さを”CST MW-Studio5.1”を用いて最適化し求めた。結果、実用的な長さである0.6mとした。図3と図4は、テーパー部内軸の写真であり、 $R=39\text{mm} \rightarrow 3\text{mm}$ となっている。



図3: テーパー部の外側を接続前のTLとテーパー部内軸の後方。

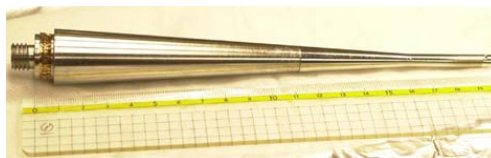


図4: テーパー部内軸の前方。

図5は、カソード先端の写真を示している。先端は $\phi 6\text{mm}$ で、中心に $\phi 1.4\text{mm}$ の孔が開いており硼素がドーブされたダイヤモンドが設置されている。紙面手前からTeとCsを蒸着してCs-Te膜を形成し、紙面後方からUVレーザー光を照射し電子を手前に引き出す。ダイヤモンド上へのCs-Te蒸着及び背面UV光入射による光電子生成の確認は、文献^{[1], [3]}を参照。

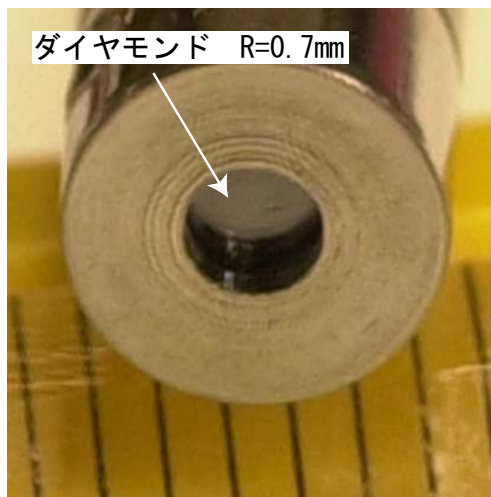


図5: テーパー部の先端のカソード部。先端は $\phi 6\text{mm}$ で、中心に $\phi 1.4\text{mm}$ の孔が開けられ硼素がドーブされたダイヤモンドが設置されている。

図6は、架台に設置された短パルス高電圧発生器である。カソードにCs-Teを使用する事から超高真空が求められる。真空排気系は、テーパー部に250L/s

のイオンポンプ 1 台と非蒸発ゲッターポンプ (NEG : St101) 2 台を設置した。架台に設置後、200 度で約 1 週間ベーキングした後、NEG の活性化、イオンポンプを立ち上げを行い封じきった。このときの到達真空度は、 $3 \times 10^{-7} \text{Pa}$ であった。

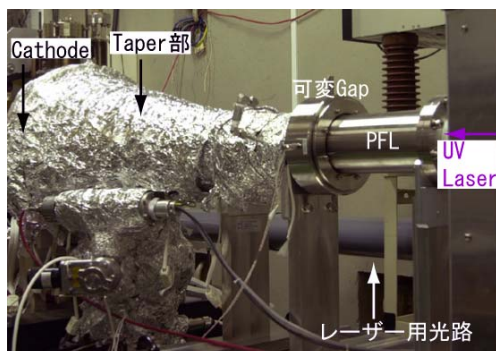


図 6: 架台に設置された短パルス高電圧発生器。排気系として 250L/s イオンポンプ 1 台と非蒸発ゲッターポンプ (NEG : St101) 2 台が設置されており、到達真空度は $3 \times 10^{-7} \text{Pa}$ である。

3.2 測定部

主なビーム測定器は、カソード直後の壁電流計、スリット、ファラデーカップとなる。壁電流計で電流プロファイルをパルス電圧波形として測定した後、スリットで位相空間分布測定を行う。図 7 にスキャナー 2 台と図 8 にファラデーカップを示す。ビーム診断は、スリットによって分割し位相空間分布を直接測定するダブルスリット法を予定している。スリットで分割されたビームは、ファラデーカップから電流として測定される。測定には、KEITHLEY エレクトロメータ 6514 を用い pA 以下の微小電流も測定できる。

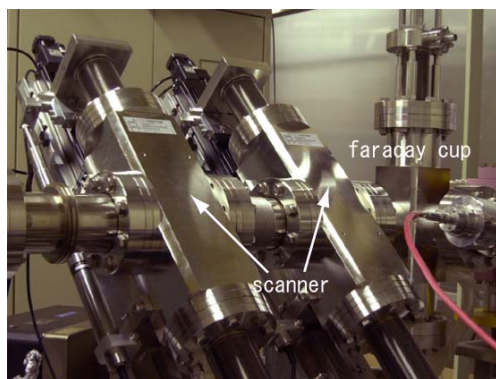


図 7: ナイフエッジ及びスリットが設置されたスキャナー 2 台と電流測定用ファラデーカップ。ビームサイズ測定及びビームを分割して位相空間プロファイルを直接測定する。

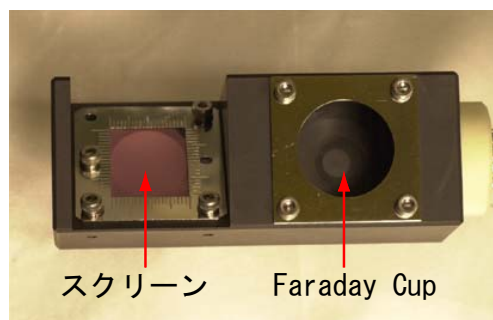


図 8: 電流測定用 Faraday cup 及びスクリーン。スクリーンは、 $100 \mu\text{m}$ デマルケストを設置してある。

4. まとめと今後の予定

RF 空洞前段 Diode 機構を持った低エミッタンス電子銃の研究開発を行い、カソードの形状、シミュレーションによる生成ビームの確認、カソード基盤にダイヤモンドを用いその上に Cs-Te を蒸着する透過型カソード、短パルス高電圧発生器の設計、製作が終了している。そこで、透過型カソードと短パルス発生器を用い、充電電源に -60KV 電源を使用する低エネルギー電子ビームの引き出し実験を計画している。

5 月までに、架台上に短パルス高電圧発生器、測定器等実験機器はすべて設置されており、現在狭い Gap 間で PFL を充電しパルス生成実験を行っている。今後は、Gap 間を広げて充電電圧を上げる事とレーザー光とパルス電圧生成のタイミング系の確認をした後、ビーム生成及び測定を予定している。

参考文献

- [1] 長谷川豪志, ‘Beam test of Electron Gun with Pulse High Voltage’” Proceedings of the 29th Linear Accelerator Meeting in Japan, Funabashi, Aug. 4-6, 2004
- [2] 長谷川豪志, ‘高電圧短パルスエミッターを用いた RF Gun の設計研究’” Proceedings of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2003
- [3] 長谷川豪志, ‘短パルスエミッターを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,