

ATF におけるマルチバンチ RF Gun を用いた実験

長谷川豪志^{1,A)}、早野仁司^{B)}、栗木雅夫^{B)}、浦川順治^{B)}、照沼信浩^{B)}、高富俊和^{B)}
黒田隆之助^{C)}、柏木茂^{C)}、鷲尾方一^{C)}、廣瀬友規^{D)}、鈴木千尋^{D)}、中西彊^{D)}、奥見正治^{D)}
吉田史生^{D)}、酒井いずみ^{E)}、高野幹男^{E)}、野村昌弘^{B)}、平野耕一郎^{B)}、山崎良雄^{B)}

A) 総合研究大学院大学数物科学専攻

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

B) 高エネルギー加速器研究機構

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

C) 早稲田大学理工学総合研究センター

〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

D) 名古屋大学大学院理学研究科

〒464-8602 名古屋市千種区不老町

E) 放射線医学総合研究所

〒263-8555 千葉県千葉市稲毛区穴川 4-9-1

概要

高エネルギー加速器研究機構(KEK)にある試験加速器施設(ATF)では、昨年度からインジェクター部の改良としてフォトカソードを用いた高周波電子銃(RF Gun)を用いた実験を行っている。昨年度の銅カソードとシングルバンチレーザーを用いた実験では低エミッタンスビームの確認、ダンピングリング(DR)への100%透過、リニアックとビーム輸送路(BT)における軌道ジッターの減少など様々な点でビーム品質の改善が見られた。この実験の一貫として本年度は、マルチバンチレーザーとCs₂Te フォトカソードを用いたマルチバンチ高周波電子銃(RF Gun)の実験を計画している。本報告では、この夏行う実験の目的、セットアップなど実験の概要について報告する。

1. はじめに

KEK-ATF は、将来のリニアコライダー実現に向けた低エミッタンスビームの生成やマルチバンチビームを含めたビーム診断の R&D を行っている。現在

ATF のインジェクター部は、熱電子銃、2 台の 357MHz 定在波型サブハーモニックバンチャー(SHB)、2856MHz 進行波型バンチャーで構成されており、取り出されたビームをバンチングした後 3m S-band 加速管で約 80MeV まで加速している。しかしバンチング性能の悪さからバンチ長テールが生じ Linac での加速後にエネルギーテールが発生している。その為 BT 中のベンディングマグネット部でエネルギーテールや損失があり DR への入射効率の低下、ビーム強度、繰り返し上昇の限界となっている。これらの事はマルチバンチビームで顕著に現れる事から早急な改善が必要である。

そこでインジェクター部の安定化としてビーム生成にバンチングがなく、低エミッタンス電子源として世界中の研究所で研究されているフォトカソード型 RF Gun の研究を始めた。その最初の実験として昨年度は、シングルバンチレーザーと銅カソードを用いて実験を行った。その結果インジェクター部でのエミッタンスは、 7×10^9 個のシングルバンチ時に約 13.3 mm.mrad と通常より約一桁ほど小さく、又バンチングテールが無いため加速後のエネルギーテールが非常に小さく Gun から DR までほぼ 100%の透過

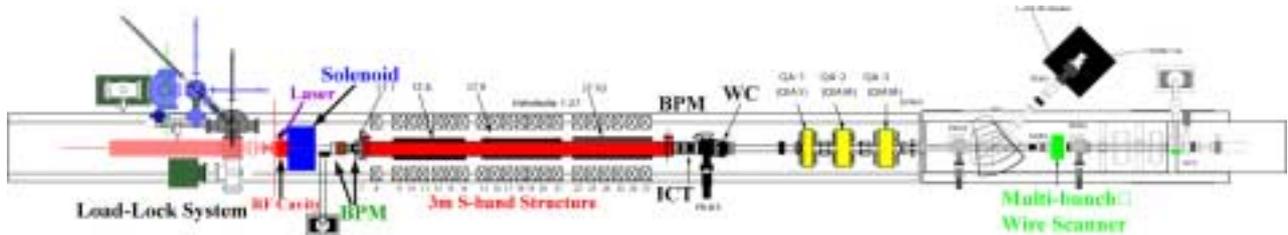


図 1: インジェクターセットアップ。左からロードロックシステム、RF Gun、ソレノイド、BPM、ファラデーカップ、加速管が配置されている。ここで約 80MeV まで加速されたビームは後方のビーム診断部にて、マルチバンチビームの強度分布、各バンチのエミッタンスなどビーム品質が測定される。

¹ E-mail: khase@post.kek.jp

を確認するなど様々な改善が見られた。シングルバンチでの性能が確かめられた事を受けて本年度はマルチバンチレーザーを用いての実験を行う。

しかし、マルチバンチビームを生成するために用いるレーザーは、バンチ当たりのパワーを大きく出来ない事から昨年までの金属カソードでは量子効率が低く使用する事が出来ない。そこで CERN の CTF や DESY の TTF で採用され、量子効率が長期間運転でも 1% 以上確保出来る Cs₂Te フォトカソードを用いることにした。Cs₂Te は、真空度への依存性が大きいことが知られており超高真空中で蒸着からカソードプレートへのセットアップが出来るロードロックシステムが必要となる。

2. 実験概要

以下に実験のセットアップとマルチバンチビームの測定について述べる。

2.1 インジェクターセットアップ

インジェクター部のビームラインセットアップを図 1 に示す。左側(上流)にカソード蒸着用チェンバーとカソード輸送系からなるロードロックシステムを設置する^[1]。まず始めに蒸着面の清浄と Cs₂Te 蒸着を行う。モリブデンのカソードプラグを左上のチェンバーに入れ、蒸着面を Ar イオン銃でスパッターしてイオンクリーニングする。このプラグを真空中で蒸着チェンバーまで移送し、Te を膜厚計で測定しながら 10nm 以上蒸着する。次に UV 光を照射し測定している電流値が飽和するまで Cs を蒸着する^[2]。Cs₂Te を蒸着した後、プラグを移送しカソードプレートに装着する。

RF Gun 空洞は Brookhaven National Laboratory(BNL)の Gun 型(1.6 セル、S-band 空洞)で今回新たに制作した(写真 1)。入射されたレーザーによって生成されたビームは高周波によって約 4MeV のエネルギーまで加速され取り出される。空洞の下流には、エミッタンス補正用ソレノイド、Beam Position Monitor(BPM)が 2 台、暗電流測定用ファラデ

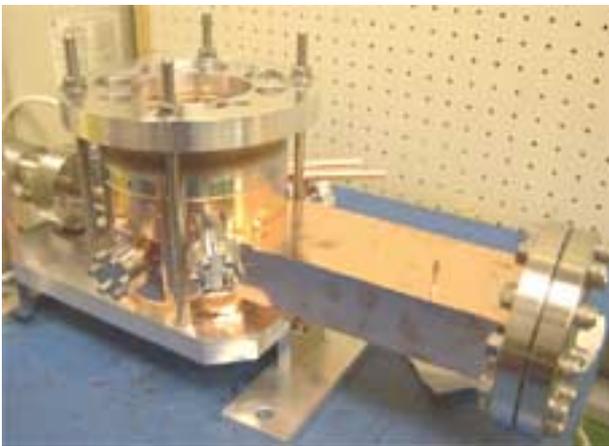


写真 1 : BNL Type GunIV(S-band, 1.6Cell)

ーカップとビームプロファイル確認用スクリーンが配置されている。そして、空洞端板から約 860mm の位置に 3m S-band 加速管が配置されておりビームを約 80MeV まで加速した後ビーム診断部に入射する

2.2 レーザー、光学系セットアップ

レーザーの配置図及び RF Gun までのレーザー光学系を図 2 に示す。レーザーは、Seed 部 (Time-Bandwidth 社製:GE-100-1064-VAN-357)と AMP 部(Continuum 社製)に分かれており Linac トンネルの横に作られたレーザー室に設置する。Seed から出たレーザー光は、レベル調整をした後 AMP に入射され約 2 万倍に増幅される^[3]。増幅されたレーザー光は、4 倍高調波(266nm)の UV 光として取り出されコンクリートシールドに穴あけられた 50 の穴と 20 の窓を通して Linac トンネル内に入射される。トンネル内では、ビーム軸とのレベル調整をした後カソード表面で 3mm 程度のスポットサイズになるようにレンズを通り RF Gun に入射される。

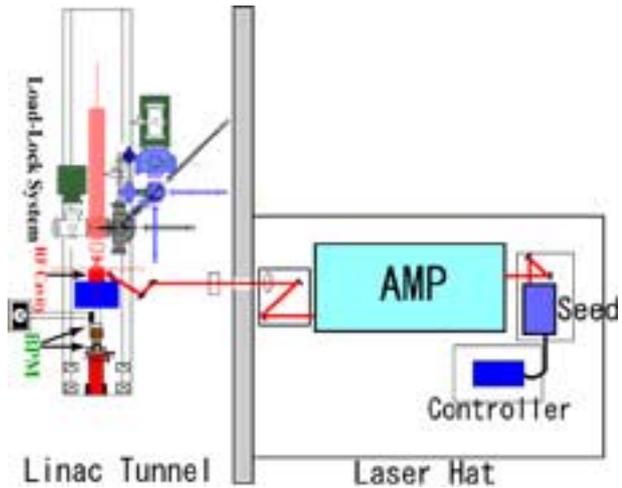


図 2 : レーザーの配置と光学系。Gun の真横のコンクリートシールド外側に作られたレーザー室に Seed と AMP を設置する。

2.3 インジェクタービーム診断部

加速管の後方には、BPM、Integrated Current Transformer(ICT)、Wall Current Monitor(WC)が設置されている。加速管上流の 2 台の BPM と組み合わせる事で加速管入射ジッターによる Linac、BT でのジッターとの相関を取ることが出来る。また ICT でマルチバンチビーム全体の積分電荷量、WC で各バンチごとの相対的な強度比が測定できる。ビームのエネルギーとエネルギー幅は、アナライザーマグネットでビームを曲げスクリーンで測定する。更にアナライザーマグネットの前に設置されているスクリーンにビームを衝突させ、境界面で発生する Optical Transition Radiation(OTR)をストリークカメラに導きバンチ長を測定する。エミッタンスは、3 台の 4 極

電磁石の一台を用い、その磁場強度を変化させた時のビームサイズをマルチバンチワイヤースキャナーで測定する Q-スキャン法を用いる。

3. ビーム診断

以下に今回の実験で取り組む主な項目とこれから行う予定の改善点について述べる。

3.1 暗電流

今回 Cs_2Te を採用したことで、ロードロックシステムが必要となり構造上カソードとカソードプラグ間に約 0.5mm の隙間が出来ることになる。低エミッタンスビーム生成には、カソード表面上での高電界化が必須であるが、この隙間が暗電流源となって放電し加速電界を上げられない可能性がある。参考までに写真 2 と図 3 は、昨年行った実験で使用していた銅カソードの表面の写真と拡大画像を示している。電場が集中する中心付近が荒れており電場によるダメージが大きいことが分かる。又外周は、溶けたようになっている。ここは、Half Cell との境界面であるが放電によると思われる。よって、印可 RF パワー、隙間と暗電流の関係などを詳細に測定する必要がある。



写真 2: 昨年実験で使用した銅カソード。中心付近が荒れているのと円周部が溶けたようになっているのが見て取れる。

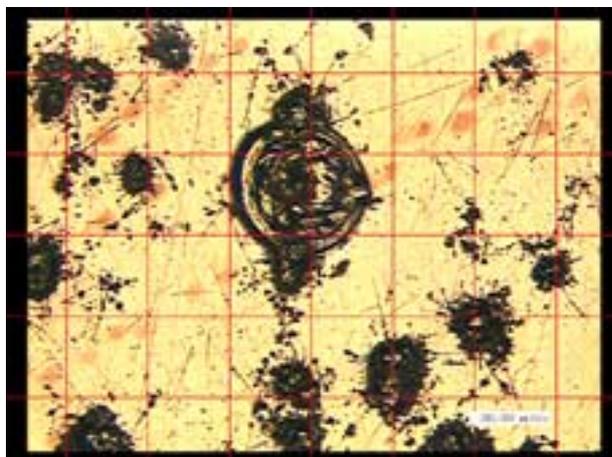


図 3: 中心部分の拡大画像(200 $\mu\text{m}/\text{div}$)。

3.2 バンチ強度の均一化

バンチ強度は、量子効率が一定と仮定するとほぼレーザー強度によって決定される。しかし、マルチバンチビームでは、この他にビームローディングの影響からカソード上での加速電場が低くなり後方バンチ強度の減少、エミッタンス増加が考えられる。よって均一なマルチバンチを生成するため次の様なことを試みる。

始めに Gun に入射するレーザーにおいて、アンプ後のマクロパルスが均一化するようにマクロパルス波形を整形する。次に Gun に印可する RF を振幅変調する。この方法は、熱電子銃で生成されたマルチバンチビームにおいて SHB 空洞に印可する RF を振幅変調する事で後方バンチのエネルギー補償が出来る事をすでに証明している^[4]。よって RF Gun においても同様の方法でのエネルギー補償が可能であると考えている。準備時間の関係上今回の実験ではこれらのテストは出来ないが、将来的にはこのシステムを導入しバンチ強度の不均一を 1% 以内に押さえる予定であり、その為の基礎データを今回の実験から収集する。

3.3 マルチバンチビームのエミッタンス

マルチバンチビームのエミッタンスは、マルチバンチワイヤースキャナーで測定する。この装置を用いることで各バンチごとのエミッタンスが測定できる^[5]。現在は ATF の取り出しラインにすでに一台設置されているが、これを Linac の下流もしくは BT の直線部に設置することで Linac で加速後のエミッタンスを測定し加速前との比較が出来るようになる。

4.今後の予定

この夏行われる実験の概要についてセットアップ、実験概要について簡単に述べてきた。現在 ATF では、2002 年 9 月の実験開始に向けて作業が進行中である。今回のマルチバンチビーム実験が成功すると、これまで熱電子銃を用いてきたインジェクター部を RF Gun に変更し秋からの運転で使用する予定である。そして LC 実現に向けた低エミッタンスマルチバンチビームが生成できるインジェクター部を確立させたいと考えている。

参考文献

- [1]照沼他、本研究会(7P-10)
- [2]古田他、第 24 回リニアック技術研究会(P7-15)
- [3]山崎他、本研究会(7P-51)
- [4] M.Kuriki, et al., HEACC2001, Tsukuba, P11c14.
<http://conference.kek.jp/heacc2001/>
- [5]早野他、"Wire Scanner for multibunch beam",
第 13 回加速器科学(OP16)