小型高輝度硬 X 線源開発

- (1) マルチバンチフォトカソード RF ガン -

山崎 良雄^{1,A)}、平野 耕一郎^{A)}、野村 昌弘^{A)}、高野 幹男^{B)}、酒井 いずみ^{B)}、

長谷川 豪志^{C)}、栗木 雅夫^{A)}、高富 俊和^{A)}、照沼 信浩^{A)}、早野 仁司^{A)}、浦川 順治^{A)}、 黒田 隆之助^{D)}、柏木 茂^{D)}、鷲尾 方一^{D)}、鈴木 千尋^{E)}、廣瀬 友規^{E)}、奥見 正治^{E)}、中西 彊^{E)}

- ^{A)} 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
- ^{B)} 放射線医学総合研究所 〒263-8555 千葉県稲毛区穴川 4-9-1
- ^{C)}総合研究大学院大学数物科学研究科 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1
- ^{D)} 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
- E) 名古屋大学大学院理学研究科 〒464-8602 愛知県名古屋市千種区不老町

概要

放医研が取りまとめて進めている文部科学省先進 小型加速器開発プロジェクト^[1]の中の1つで、光蓄積 装置と電子蓄積リングを用いた逆コンプトン散乱に よる高輝度硬 X 線生成装置の開発研究が行なわれて いる^{[2][3]}。その電子ビーム源として、マルチバンチ電 子ビーム生成用フォトカソード RF ガンの開発を行 っている。 RF空洞は KEK での実績もある BNL RF ガンタイプを用い、フォトカソード材質としては、 十分な寿命(>60日)を持ち量子効率が高い(~1.5%) Cs₂Teを採用した。カソードは真空チャンバー中で蒸 着し、パージせずロードロックシステムを使って RF 空洞に導入する^[4]。ビームは、2.8nsec ごとの 20 パル スを1トレインとしてマクロバンチを形成するが、 特に、マルチバンチ励起用レーザーの安定性等が問 題となる。現在、この RF ガンを実証するための開発 を、KEK が中心となって複数の研究機関が共同で進 めており、本年の夏に KEK - ATF でビーム試験が予 定されている^[5]。本報告では、主に本計画の RF ガン システムで問題となるマルチバンチレーザーについ て報告する。

1.はじめに

本計画は、大電流の小型蓄積リングと光蓄積装置 との組み合わせで、逆コンプトン散乱による高輝度 硬 X 線を発生させ、アンジオグラフィー等の医療利 用に供することが目的である。全体の加速器を小型 化し、極限的にビーム損失無く、蓄積リングの入射 をリニアックから行うために、コンパクトで、運転 が簡易な体系を検討している。蓄積リングは 200MeV で設計が進行中で、マルチバンチビームの蓄積が考 えられている。リニアックのビームラインは、S バン ドの RF ガンと 3 m加速管 2 本のシンプルな体系で、 リングへの入射に合わせて 200MeVの加速ができる。 図 1 にリニアックのビームラインの概略を示す。RF ガンでは、フォトカソードを用いて、励起レーザー の変調によって、レーザーに同期したマルチバンチ ビームを発生させる。各バンチ幅は加速管の加速位 相に損失無く輸送可能なように当面は、バンチ幅 10psec 程度を目指す。カソードに Cs₂Te を用いて光 電子を生成するためには、紫外光を発生できるマル チバンチレーザーが必要になる。また、安定した電 子ビームを供給するためには、レーザーの時間的空 間的な安定性が要求される。本計画で予定されてい る RF ガンの開発目標を表 1 に示す。

2.RF ガンシステムの構成と課題

2.1 RF 空洞

RF ガンに用いる空洞は、BNL で開発されたタイプ と呼ばれているSバンド(2856MHz)の1.6 セル空 洞で、国内でも住友重機、東大、早大、KEK等で実績 がある。これらの例では、フォトカソードとして Cu や Mg などの金属カソードを用い、シングルバンチの 発生を行っている。入力 RF パワー8MW で、空洞内の 電界強度約100MV/m、出口での加速エネルギーは5MeV が得られると報告されている^[6]。ただし、5MW 以上の RF パワーを投入すると、空洞表面から発生する暗電 流が急激に上昇し、8MW 付近で1nC(~幅1µsec)に及 ぶことが、昨年の KEK での RF ガン試験で報告されて いる^[7]。さらに今回は、金属カソード端板部に、ロー ドロックシステムによる Cs₂Te カソードユニットを 導入する改造を行うための部分を含め、いかに暗電 流を低減させるかが課題となる^[5]。

2.2 カソード準備系

今回の開発では、TTFや CTFなどで実績のあるCs₂Te を採用する。このカソードは、特に CTF で詳細に研 究され、量子効率が高く(>1.5%)、寿命が長い(> 60 日)と報告されている^[8]。TTF では、バンチ間隔 444nsec のマルチバンチビーム発生(4nC/bunch)も実 績がある^[9]。このカソードは、真空中で Mo 基盤に Te、

¹ E-mail: yyama@post.kek.jp

Csの蒸着(~10nm)と、カソードを真空中で RF 空洞 に移送するためのロードロックシステムが必要とさ れている。したがって、BNL タイプのRF空洞のカ ソード端板をロードロックと整合させ、かつ RF コン タクトを考慮したカソード導入機構が課題である^[4]。

レーザー 2.3

Cs,Teカソードから光電子放出させるためには、そ の仕事関数(3.6eV)から紫外光による励起を要し、 Nd:YAGであれば、4倍高調波発生が必要となる。フォ トカソードから引出される電子の電荷量Qは、

eW /hc Q =

という関係があり(:量子効率、 :レーザー波 長、W:レーザー出力、他は省略)、この関係式に 定数を代入した上で実用的な単位で表現すると、

 $Q[nC] = 8.07 \times 10^{-3} \times [\%] W [\mu J] [nm]$ となる。使用に耐える寿命を考慮した Cs₂Te の量子 効率は1.5%と仮定する。使用するレーザーは Nd: YAG の4倍高調波(266nm)を予定しているので、必要電 荷量を 2nC とすると、この式から必要なレーザー出 力(4)は 620nJ/バンチとなる。後段加速部のエネ ルギー分散を 1%以下に抑えるためには、バンチ幅 (半値幅)は 10psec 以下が必要と考える。さらに、 1 トレインを 2.8nsec 間隔で 20 バンチのマルチバン チ列として形成し、6.25Hz の繰り返しで電子ビーム を発生させる。以下の章で今回の試験で使用する予 定のマルチバンチレーザーの詳細を述べる。

3.マルチバンチレーザーの概要

本計画で使用予定のフォトカソード励起用マルチ バンチレーザーシステムのブロック図を図 2 に示す。 以下に主なコンポーネントの詳細を述べる。

3.1 発振器

レーザーの発振器には、Time-Bandwidth 社製の CW モードロックレーザーModel: GE-100-1064-VAN-357 (Nd:YVO₄)を用いている。仕様は発振波長 1064nm 周波数 357MHz (2.8nsec 間隔)、平均出力 600mW、 パルス幅 7.2psec(FWHM)、タイミングジッタ 1psec 以下、M²x,y 1.2以下、拡がり角 0.9mrad、ビームポイ ンティング安定性 25 µ rad 以下(1時間)である。

3.2 高速パルス切出、切出パルス波形最適化

要求されているマルチバンチは、2.8nsecのバンチ 間隔であり、最大 20 バンチであるから、56nsec のパ ルス切出しが必要となる。この目的のために、高速 ポッケルスセルである LASERMETRICS 社製の 5046Eを採用した。これは、KD*P結晶を用いたポッ ケルスセルで、最大印加可能電圧 11kV、切り出しパ ルス幅は 4nsec から 1µ sec まで、パルスの立上り、 立下りはともに 3nsec 程度、繰り返し 1Hz から 5kHz である。

20 パルスのマルチバンチビームは、それぞれの各 パルスの出力が一定であることが望ましい。そのた めには、アンプ後段での散乱光をフォトダイオード で測定し、マクロパルスの波形がフラットでない場 合にはフラットになるように、ポッケルスセルへの 高電圧印加に対して、フィードバックをかけること が考えられる。この方法は、TTF のレーザーシステ ムでも採用された^[10]。本試験の中で、フィードバッ クの具体策、実際に使用するフィードバック源など を検討していく。

3.3 増幅器および高調波発生

レーザーの増幅部は、フラッシュランプ励起の 4 段のアンプ(Nd:YAG ロッド)で構成されている (Continuum社製)。初段のアンプが2パスで、その他 はシングルパスである。増幅部全体でのゲインは、2 ×10⁴程度が得られると仮定する。4倍高調波を発生 させるために、 - BBO 結晶を 2 段用いる。変換効 率は概算で、1 4 で 10% 程度である。以上の仮 定から、266nmの高調波は、3.4 µ J/バンチが得られ ることになり、Cs,Teカソードから、光電子を2nC引 出すために十分な出力が得られる。

4.まとめ

BNL の RF 空洞、Cs, Te カソード導入のためのロ - ドロックシステムを用いたマルチバンチフォトカ ソードの開発が進行中である。それに必要なマルチ バンチレーザーも同時に準備が進んでおり、Nd:YAG の 4 倍波 (266nm)で 3.4 µ J/バンチの出力が見込まれ る。2002年9月より、KEK - ATF で総合試験が予定さ れている。

謝辞

この研究開発は、先進小型加速器開発事業の中で 進められているもので、平尾泰男先生をはじめ、先 進小型加速器推進委員会メンバーの先生方のご理解、 サポートに感謝いたします。また、放医研先進小型 加速器事業推進室の方々のご協力に感謝いたします。

参考文献

- [1] 上坂他、第 26 回 LINAC 研究会(1D-2)
- [2] 平野他、本研究会(7P-5)
- [3] 野村他、本研究会(7P-6) [4] 照沼他、本研究会(7P-10)
- [5] 長谷川他、本研究会(7P-14) [6] S.G.Biedron, et al., Proc. PAC99, pp.2024
- [7] 長谷川、東理大、修士論文(2002) [8] E. Chevally, et al., CTF3 Note020 (Tech.), 2001 [9] S.Schreiber, et al., NIM A, 445(2000) pp.427
- [10] A.R.Fry, et al., Proc. PAC97, pp.2867

	目標
カソード	Cs ₂ Te
レーザー	Nd:YAG (4 266nm)
RF空洞	1.6cell BNL
周波数	2856MHz
電荷量	2 nC/bunch
バンチ幅	10 psec
バンチ間隔	2.8 nsec
バンチ数	20 bunches
規格化 エミッタンス	10 mm∙mrad
加速エネルギー	5 MeV







図2:レーザーシステムブロック図