

ATFにおけるCs-Te フォトカソードによる電子ビーム生成

照沼信浩^{1,A)}、長谷川豪志^{B)}、栗木雅夫^{A)}、早野仁司^{A)}、浦川順治^{A)}、中西彊^{C)}、奥見正治^{C)}、
酒井いずみ^{D)}、高野幹男^{D)}、野村昌弘^{A)}、平野耕一郎^{A)}、山崎良雄^{A)}、黒田隆之助^{E)}、鷺尾方一^{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)} 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

^{C)} 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

^{D)} 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

^{E)} 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

概要

KEKにある試験加速器施設(ATF)ではCs-Te フォトカソードを用いたRF電子銃の試験を昨年9月から始め、現在通常のビーム実験に使用するまでに至った^[1]。昨年の本研究会ではフォトカソードの生成に関するロードロック装置の設計制作状況を報告した。今回はその後の基礎試験や実際に加速器ビーム運転を通して得られた結果を報告する。カソードの量子効率の劣化や暗電流の量は当初懸念したほどではなく、量子効率に至っては5週間の運転において1%以上を保つことを確認した。

1. はじめに

入射ビームの質の改善をねらい昨年夏の停止期間にATFではRFGunを導入した。ATFの運転で必要とされる電子ビームは、パルスあたり最大20個のマルチバンチビームで、バンチ間隔2.8ns、強度 $1.0 \sim 2.0$ (最大) $\times 10^{10}$ electrons/bunchである。このマルチバンチはRFGunに使用するレーザーパルスをマルチバンチ状にすることで生成する。レーザーの強度は1J/bunch程度とするとカソードの量子効率は1%以上あることが要求される。そのため、Cs-Teをカソードに採用することになり、ロードロック装置を開発した^[2]。

RFGunによるビーム試験は昨年9月から開始された。はじめは無酸素銅のカソードプラグ上にCs-Teを生成して試験を行った。この間、RFGunの調整やカソード生成を繰り返した結果、ATFの各種開発実験へのビーム供給に耐えうると判断し、以後ATFではRFGunをビーム源に使用することに決定した。

11月からはカソードプラグを無酸素銅からモリブデンに変更し、より安定なビーム供給が可能になった。その後もカソード生成試験やレーザー系の改善を進めており、より質の良いマルチバンチビーム生成を目指している。

RFGun導入の目的の一つに熱電子銃の時に問題であったビームのenergy tailやenergy jitterを改善し、beam lossを低減させ、放射線レベルを下げるがあった。RFGunに変えた現在では、以前と同じ条件で運転しても放射線レベルが問題になるこ

とは無く、ATFで本来必要なビーム強度で開発研究が進められる状態に改善された。

ATFフォトカソードシステムの特徴はカソード生成から装着までが同じ真空システム中で行うことである。外部からカソードを導入する場合に不可欠な真空立ち上げによる時間ロスをなくし、加速器運転中のわずかな停止時間で新規カソードの生成から装着が可能である。この利点により、フォトカソードの試験とともにATFの各種開発実験がスムーズに遂行できた。また、ユーザーの要請などで、短時間ではあるが非常に高い量子効率の状態中に強度の高いビームを生成することも可能である。

2. フォトカソード生成

2.1 〇〇プラグ表面の処理

カソードプラグはカソード面をダイヤモンド切削で可能な限り滑らかにしたもの(無酸素銅およびモリブデン)と研磨により鏡面に仕上げたもの(モリブデンのみ)を用意した。これらをさらに清浄な表面にするために5keVのArイオン銃を使用しカソード面をスパッターしている。スパッター量は50nm程度である。この処理以後、カソードプラグは真空中で取り扱われる。

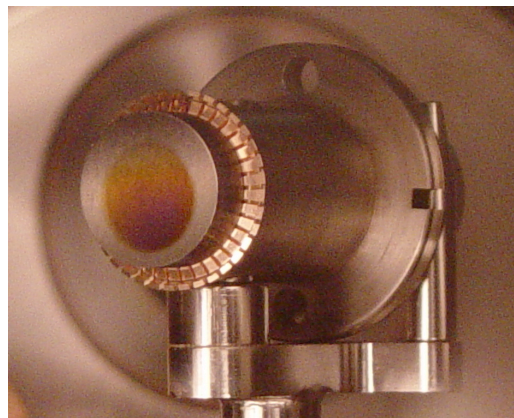


写真1 : Cs-Teを蒸着したモリブデンプラグ。

¹ E-mail: nobuhiro.terunuma@kek.jp

2.2 Cs-Te 生成時の量子効率

Cs-Te は始めに Te、その上に Cs の蒸着を行うことで形成される^{[3][4]}。Te の蒸着量は膜厚計でモニターしながら調整する。Cs の蒸着は量子効率を測定しながら行う。量子効率の測定は、回折格子で単色化された Xe ランプ光を照射し引き出される電流を測定することで行う。図 1 に Cs 蒸着中の量子効率の変化を示す。最終的に到達した量子効率は無酸素銅サンプルで 5%程度、モリブデンサンプルでは 15%程度で最大では 16.5%にも達した。モリブデンプラグについては、表面加工を切削だけと研磨までしたものの両者があるが、生成された Cs-Te の量子効率に違いは確認できなかった。しかしながら、暗電流および高周波中の放電対策として、ビーム運転に使用するモリブデンプラグは研磨により鏡面に加工したものだけになっている（写真 1）。

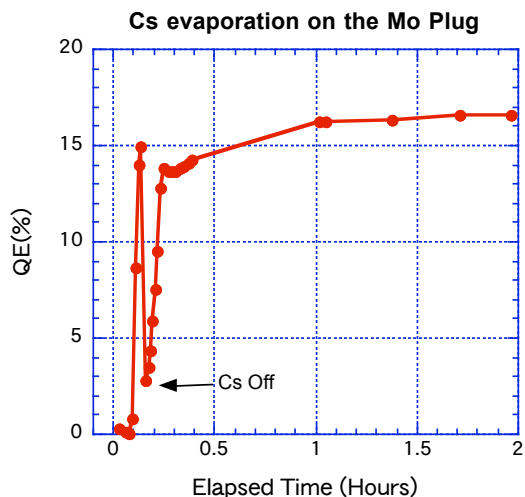


図 1 : Cs 蒸着による量子効率の増加 (モリブデン)。Cs の蒸着速度が速すぎて一時的に量子効率が低下。

2. ビーム運転

2.1 RF 印可による量子効率の変化

Cs-Te カソードは最大で 15%もの高い量子効率を示したが、RFGun に装着し、RF を立ち上げていく段階からすでに量子効率の低下が始まってしまう。しかし、しばらくすると一定の値に落ち着き安定する。再現性は良い。図 2 に無酸素銅の場合、図 3 にモリブデンの場合を示す。サンプルによって安定する値はばらつくが、無酸素銅の場合は数時間で約 0.4%、モリブデンの場合は 1 日ほどかかって 1%程度になる。真空度に大きな変化は見られない。立ち上げ中に RF がトリップするような放電が何度か起こっている事実があり、蒸着された Cs-Te の吸着が弱いものが飛ばされているのかもしれないが確認は難しい。RF のトリップは量子効率が安定しても幾度となく起こっている。しかしながら、蒸着条件など改善する

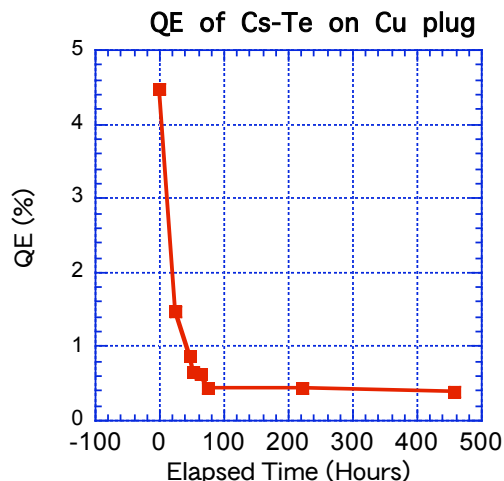


図 2 : RF 印可による量子効率の低下 (無酸素銅)。急激に低下後 0.4%で安定した。

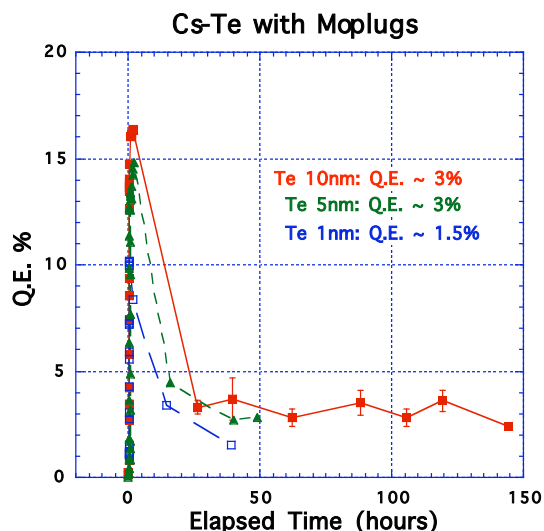


図 3 : RF 印可の影響 (モリブデン)。急激に量子効率が減少後、1~3%で安定。

余地はあり、安定値の上昇には可能性があると考えられる。

2.2 暗電流

我々の RFGun の Half cell endplate には Cs-Te カソードを取り付けるために直径 16mm の穴が開いている。カソードはガイドブロックにより機械加工の精度で位置決めされるが、カソードプラグと endplate の間には 0.5mm ほどの隙間ができる。コンタクトスプリングによりお互いの電気的接触は取るが、この部分からの暗電流が問題になるのではないかと心配していた。

図 4 に測定結果を示す。カソードのエージングおよびビーム運転時間とともに暗電流は減少し、合計 100 時間を超える頃にはほぼ現時点と変わらないレベルに達した。これは ATF の運転には問題ないレベ

ルであり、また一昨年試験した RFGun に比べて 1/10 の低い値である。懸念した隙間の影響は今のところ問題なさそうだと言える。この改善の主要因は現在使用している RFGun が昨年 KEK 工作センターにおいて X バンド空洞の超精密加工技術で製作されたことにある。

Cs-Te の暗電流に対する影響をカソードプラグへの蒸着の有無で調べたが、特に差は無いようである。

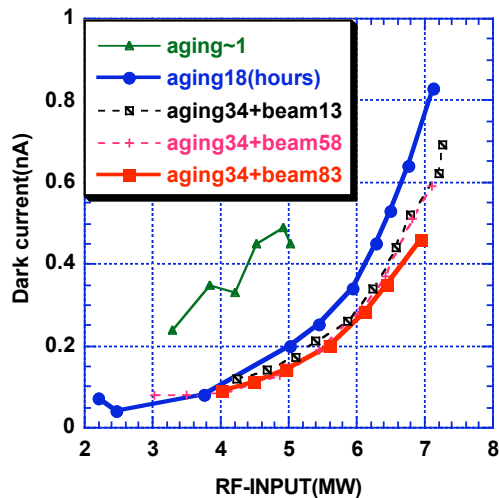


図4：暗電流の推移。RF 12.5Hz, 1.6[s.タイトルに書かれた数字はエージングおよびビーム運転に使用した時間。

2.3 波長依存性

回折格子の設定を変えて量子効率測定の波長を変えた結果を図5に示す。ビーム運転時間の経過とともに全波長で量子効率の低下が確認できる。また、量子効率最大の波長が時間とともに短波長側に多少シフトしていることが確認できる。これは Cs-Te の組成が変化しているためと考えられる。

2.4 長期試験

平成15年1月からのビーム運転ではカソードを週ごとに生成し差し替えるのではなく、できる限り長く使用し量子効率の安定度を調べることにした。ビームユーザーとの調整で連続3週間のサンプルと連続5週間のサンプルが得られたが、共に初期に安定レベルに落ち着いてからは量子効率に変化が見られないと言うものである。

RFGun の真空は 5×10^{-7} Pa である。Cs-Te カソードを採用するにあたっては経験者から 10^{-8} Pa 台の超高真空でないとう寿命が短く使い物にならないと助言をもらい、また我々もそう考えていたが現状は一桁悪い状態でも十分に使えている。これは RFGun が数ヶ月に渡って真空封じされており、Cs-Te を劣化させ

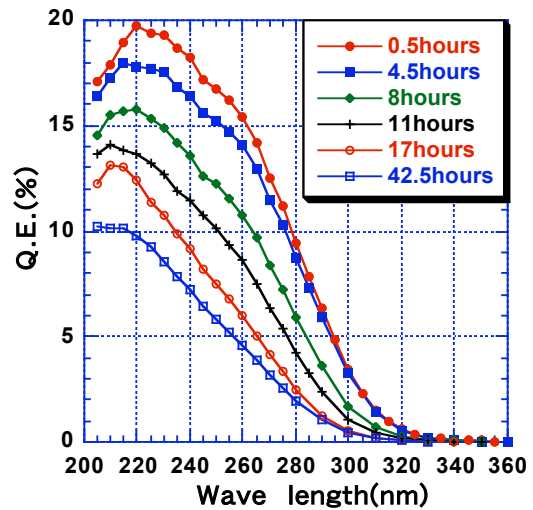


図5：Cs-Te 波長依存性（モリブデン）。量子効率の低下は全波長領域に渡る。時間経過と共にピーク的位置が短波長側にシフトしていく様子が見られる。

る酸素などの不純物のレベルが十分に低い状態にあること、我々のカソードシステムでは蒸着から装着までを一貫して同じ真空システム内で行うため限りなく酸素の混入を排除できているためであろう。

まとめ

昨年9月から Cs-Te フォトカソードを用いた RF 電子銃の試験を始め、現在では ATF 加速器の電子源として運用するに至った。Cs-Te フォトカソードは生成直後は 15%もの高い量子効率を示すが、RF 印可により低下し、その後、安定することが判明した。同一サンプルによる連続したビーム試験では、5週間におよびビームを供給し続けても、量子効率は安定で1%程度あることを確認した。

参考文献

- [1] 栗木他、“Multi-bunch beam generation by Photo-cathode RF gun”、本研究会 (WP-22).
- [2] 照沼他、“フォトカソード RF 電子銃カソードロードロックシステム”、第27回リニアック研究会、p145-147
- [3] A. Di Bona, et al., J. Appl. Phys., 80 (5) (1996), p3024.
- [4] 古田他、“スピン偏極 RF-gun に向けた基礎研究”、第24回リニアック研究会、p192-194.