

カートリッジ式Cs₂TeカソードRF電子銃

出羽 英紀^{1,A)}、佐々部 順^{B)}、安積 隆夫^{A)}、小林 利明^{A)}、鈴木 伸介^{A)}、
谷内 努^{A)}、富澤 宏光^{A)}、水野 明彦^{A)}、柳田 謙一^{A)}、花木 博文^{A)}、上坂 充^{C)}

^{A)}財団法人高輝度光科学研究センター

〒679-5198 兵庫県佐用郡三日月町光都1-1-1

^{B)}浜松ホトニクス株式会社

〒434-8601 浜北市平口5000

^{C)} 東京大学大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設

〒319-1188 茨城県那珂郡東海村白方白根2-22

概要

カートリッジ式のCs₂TeカソードRF電子銃を開発した。交換可能なカソードはカートリッジ式であるので工場生産が可能で電子銃本体にカソード製膜装置が不要である。リボルバー式ホルダーに4個のカートリッジを収納できる。RF空洞は70時間におよぶRFエージングを経て100MV/mの電界を発生させることに成功した。カソードの量子効率¹⁾は工場測定値で8.3%であったが、28時間の長時間ビーム発生試験後1.1%まで低下してしまうことが分かった。またCs₂Teカソードの暗電流はRFエージングとともに低下したが、90MV/mの電界強度において1.3nC/pulseの電流が発生し、これは同じ交換型の銅カソードと比較して約2倍多いことが確認された。

1. はじめに

フォトカソードRF電子銃はピコ秒短パルスかつ低エミッタンスの電子ビーム発生が可能な高品質電子ビーム発生用電子銃である。このような高品質電子ビームはたとえば次世代放射光光源であるSASE FEL(Self-Amplified Spontaneous Emission Free Electron Laser)用の電子銃として不可欠なものと考えられている。それ以外にもレーザーコンプトン光発生用電子銃、短時間現象解明のためのポンプ&プローブ実験用の電子銃として有用である。

これまでSpring-8においては単空洞のRF電子銃の研究を進めてきた。この研究は主として低エミッタンス電子ビーム発生の実証を目的としており、これまで2π mmmradのエミッタンスビームをパルスあたり0.1nCの電荷量において発生することに成功している¹⁾。現在さらに低エミッタンス化を目指して開発を進めているところである。この一連の研究においてはカソード材料として銅を用いているが、実用的な観点からいえば量子効率のより高いカソード材料を用いたほうが、電子ビームの大電流発生が容易となり、また同じ電流を取り出すことを考えてもレーザーパルスのエネルギーを小さくできるので

レーザー装置が簡単となる。一方高い量子効率をもつ物質の多くは大気にさらすと劣化し量子効率が下がるので、通常電子銃本体にカソード製膜装置が必要となる。また比較的短い使用時間で量子効率が下がるので定期的にかソード膜を付け直すことが必要であり、実用上不便なことが多い。

これらのことをふまえて(財)高輝度光科学研究センター、浜松ホトニクス(株)並びに東京大学は共同でカートリッジ式カソードのRF電子銃の開発を開始した。このカートリッジ式カソードにおいてはCs₂Teを蒸着したカソードがガラス製のカートリッジ管内に真空封止されており、真空中でカソードをカートリッジ管からとり出して空洞のカソード位置に導入する仕組みとなっている。カソードカートリッジ管の製造は工場で行えるので、電子銃に製膜装置は不要である。また使用中に量子効率が低下した場合は、4本のカートリッジ管がリボルバー式カートリッジホルダー内に装填できるので大気開放無しに最大3回のカートリッジの交換が可能である。

これまでにカソード交換可能なRF空洞の試作、カートリッジ式Cs₂Teカソードの試作、カソード交換装置の試作が完了し、空洞RF試験、カソードの量子効率劣化試験をおこなったので報告する。

2. カソード交換可能なRF空洞

カートリッジ式カソードを導入するにあたり、カソード交換可能なRF空洞が必要となり、これまで研究してきた単空洞のカソード中心部に穴を開け、またカソード側端板を交換できるように設計変更しRF空洞を新たに製作した。基本的な高周波特性は同等である。製作したRF空洞の写真を図1に示す。カソードプラグが入るφ7.8の穴が端板の中央に空いている。また端板の真空止めはヘリコフレックスを用いている。空洞の切削ミスおよびヘリコフレックスの締めつけ圧による空洞の変形により共振周波数が設計値より2.6MHzずれる問題が発生したが、動作周波数をずらせて使用したので実験には支障はなかった。空洞の基本的なパラメーターを表1に示す。

¹⁾ E-mail: dewa@spring8.or.jp

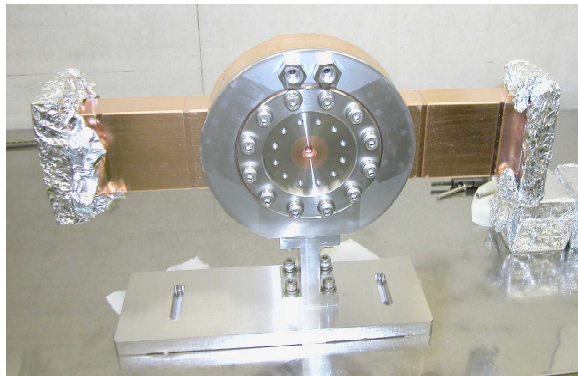


図1 カソード交換可能なRF空洞
(カソード側より撮影)

表1 RF電子銃空洞主要パラメーター

周波数 (設計値)	2856 MHz
外部Q値	2786
シャントインピーダンス	1.16 MΩ
加速長	2.6 cm
レーザー入射角度	66 degree

3. カートリッジ式Cs₂Teカソード

量子効率カソードの製造条件に大きく依存し、高い量子効率を得るために多くの条件出しが必要であった。これにはカートリッジ管の構造が複雑で工程が多いこと、またセシウムを側面から導入しないといけないことも関係していると思われる。カートリッジの構造を図2に示す。

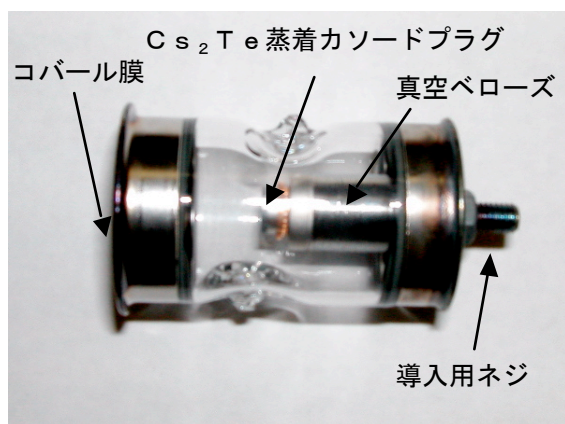


図2 カートリッジ式カソード

カソードと空洞のRFコンタクトのために、ベリリウム銅製のリング型のRFコンタクトをカソードプラグにはめ込んである。カソード導入時には後述する導入機構によりコバール膜が破れ、その後導入用ねじが右側から押されてベローズが伸びてカソードプラグが左に動き、破れたコバール窓を通過して空洞のカソード位置に挿入される。

カートリッジ式カソードの製造は浜松ホトニクス(株)豊岡製作所でおこなった。カソードプラグの基材はモリブデンでその上にクロムを300Å蒸着しさらにテルルを500ÅつけてCsと反応させてCs₂Te膜を作成する。カソード製造時に量子効率を測定したが、このときの量子効率は8.3%@260nmであった。なお現状では量子効率は安定して高い値はでていないので、製造されたもののうち量子効率の高いものを選択して試験をおこなった。

4. カートリッジ導入機構

カソードプラグを真空中でRF空洞に導入できるように図3に示すようなカソード導入機構を開発した。このカソード導入機構はRF空洞の背面側に取り付けられる。カートリッジ式カソードはリボルバー式のカートリッジホルダーに収納されているが、カソード導入時には、リボルバーを回転させて目的のカソードを選ぶ。そして回転直線導入機を回転させることにより図2の導入用ねじに回転直線導入機を結合させる。そしてカソード導入用ベローズを左に押ししていくと、カートリッジが空洞端面に近づいたところで左側に取り付けた爪が開きながらコバール膜が破れる。さらに回転直線導入機を左に押し込むとカソードプラグは破れたコバール膜及び開いた爪を抜けて空洞中心の穴に挿入される。

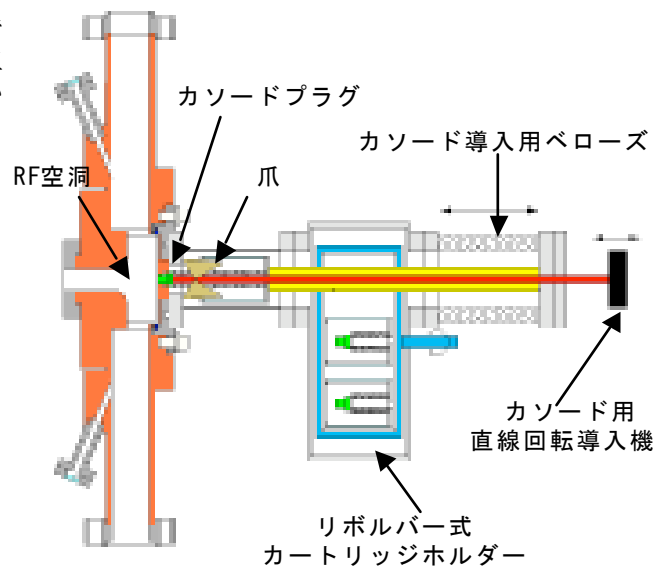


図3 カソード導入機構

5. 空洞ハイパワー試験

RF空洞へのRF源として東芝製80MWクライストロンE3712を用いた。エージングはCs₂Teを製膜していない無酸素銅製のカソードプラグをカソード部に挿入して実施した。約70時間のエージングにより約100MV/mの電界強度が得られた。

図4に暗電流の通常の単空洞との比較をしめす。

暗電流は通常の空洞と比較して約2.5倍多い。交換型カソードにおいては、カソード周囲のRFコンタクト部の形状による暗電流への悪影響が主として考えられるが、この銅カソードには輸送中にカソードのエッジ部に傷(幅 $500\mu\text{m}$, 深さ $56\mu\text{m}$)が生じていたのでその影響も含んでいる。

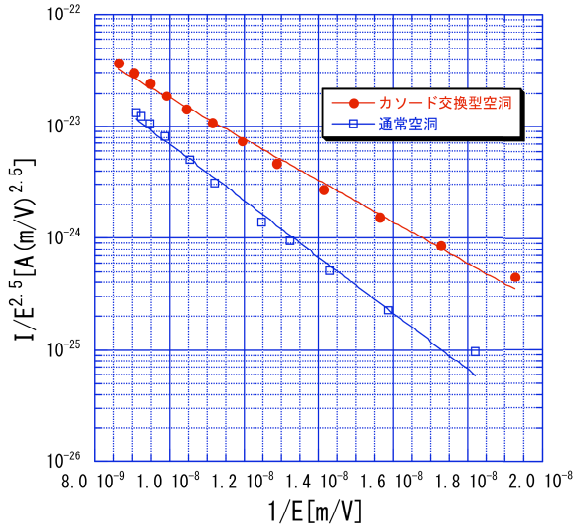


図4 通常空洞とカソード交換型空洞の暗電流比較。

6. ビーム試験

約70時間のRFエージング後、カソードを銅カソードから Cs_2Te カソードに交換し、さらに2時間のエージング後ビーム試験を開始した。光電子発生用のレーザーはTi:Sapphireレーザー(Thales Laser, Alph-10A/US)の3倍高調波(波長 263nm)を使用した。量子効率を測定するためにレーザーのパルスエネルギーをOphir社PD10を用いて測定した。またビーム電流は空洞直後にファラデーカップを配置しローパスフィルターを通して、ピコアンメーターKeithley487で測定した。このときのカソード上での電界強度は 90MV/m 、レーザーの平均的なパルスエネルギーは約 120nJ 、空洞の真空度は $1.2 \times 10^{-7}\text{Pa}$ であった。パルスの繰り返しは 10pps である。

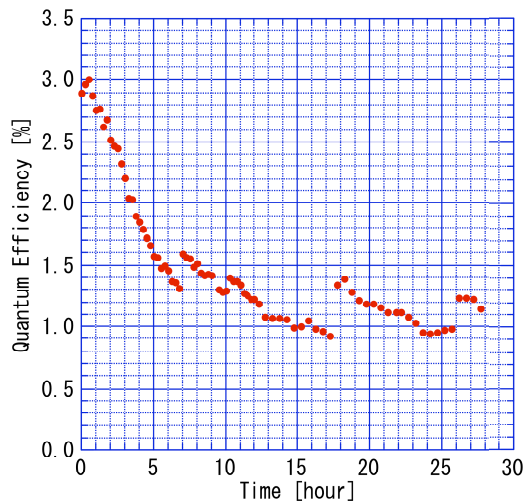


図5 量子効率の時間的な変化

図5にビーム試験開始後からの量子効率の時間的な変化を示す。ビーム試験開始後約5時間に急激に量子効率が低下した。この量子効率の低下はRFを掛けない通常環境下では起こり得ないもので、そのメカニズムは良く分かっていない。また実験開始時の量子効率は約3%であり、製造時の8.3%と比較するとずいぶん少ない。これはカソードのカートリッジ管からの開封および2時間のRFエージングでのカソード劣化を示していると考えられるが、測定条件の違いもあるので単純な比較はできない。また測定中4回の量子効率の回復が見られた。真空計のモニタリングによれば同時刻に放電がおきていたので、放電によりカソード面になんらかの変化が生じたと考えられる。この実験では約27時間の測定をおこない量子効率1%付近で劣化が止まったようにみえるが正確にはもう少し長期の検証が必要であろう。

同時に暗電流の時間的な変化も測定した。その結果を図6に示す。暗電流が時間とともに緩やかに低下していくことがわかる。 Cs_2Te カソードの暗電流は交換型の銅カソードと比較して約2倍程度多く、 90MV/m で 1.3nC/pulse 程度である。

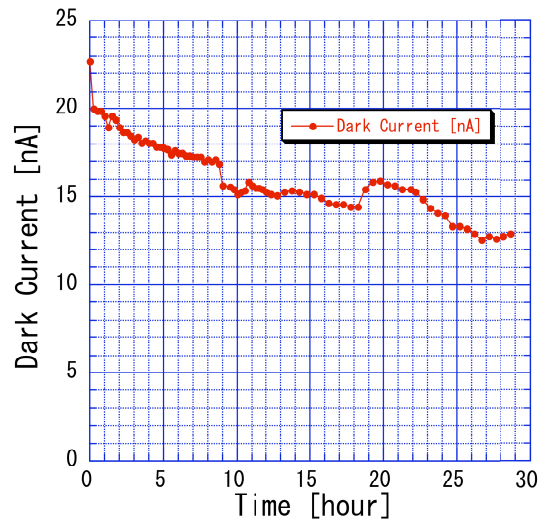


図6 暗電流の時間的な変化

7. まとめと今後の予定

カートリッジ式 Cs_2Te カソードRF電子銃を開発しRFハイパワー試験および量子効率の測定をおこなった。 100MV/m の加速電界を達成し、約1日のビーム試験後において量子効率1%が得られた。暗電流は通常の銅カソード空洞と比較すると多い。量子効率の改善および暗電流の低減に関して、カソードの構造、及びカソード材の研究をさらに進める必要がある。さらにビームエミッタンス測定などを行い総合的評価を進めていく予定である。

参考文献

- [1] H. Tomizawa et al., Proceedings of the 2002 European Particle Accelerator Conference, pp.1819, Paris, July 2002