

Commissioning of Alkali-antimonide photocathode at U-tokyo RF gun

作美明¹、上田徹¹、富沢宏光²、三好邦博¹、神戸浩多¹、上坂充¹

¹東京大学大学院原子力専攻,²高輝度光科学研究センター

Abstract

We have been developing a compact-sized cartridge-type cathode exchanging system installed in BNL-type IV photocathode RF gun. We can replace a cathode without breaking the vacuum of RF gun, so that a high quantum efficiency photocathode is not surrounded by oxygen or moisture. We've already tested Cs₂Te cathode and obtain high intensity current beam of 7nC after RF gun, 4nC after 18 MeV accelerator respectively. The quantum efficiency of the cathode is 3.7%. We propose the Na₂KSb cathode, which has the possibility to drive by visible light of 400 nm (violet range). The work function of Na₂KSb is 2.4 eV, which is lower than the photon energy of 400 nm. We tested the cathode and obtained the quantum efficiency of 1% at the wavelength of 266nm. The lifetime of T1/2 is more than 100 hours surrounded at the vacuum pressure of 2×10^{-8} Torr.

東京大学フォトカソードRF電子銃の可視光カソード試運転

1. 本研究の背景

フォトカソード高周波(RF)電子銃は、サブピコ秒からフェムト秒の超短パルスかつ低エミッタンスの電子ビーム発生が可能である。このビームを用いて、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利用している。これはポンプである電子ビーム発生用のレーザーとプローブのレーザーで同じ光源を用いることにより、高精度の同期が可能となるからである。

東京大学原子力専攻のライナック施設に設置されているS-bandの18MeV Linac (18L)では、サブピコ秒からフェムト秒時間領域の現象、特に放射線誘起反応初期過程の解明を目的としたポンプ&プローブ方式の高時間分解能パルスラジオリシスシステムが構築されており、フォトカソードRF電子銃が使用されている[1], [2]。

フォトカソードRF電子銃は、駆動レーザーを共振空洞内のカソード面に入射して光電子を発生させ、それを高周波電場(RF)で加速して電子ビームを発生させる。

フォトカソードRF電子銃を用いたパルスラジオリシス用の18Lの体系図を図1に示す。18Lは主に、フォトカソードRF電子銃(1.6 cell BNL-GUN)、加速管、Qマグネット、シケイン型磁気パルス圧縮器からなる。また、フォトカソード励起用レーザー及びプローブ用レーザーの光源は、0.3TWのTi:Sapphireフェムト秒レーザーを使用しており、途中スプリッターで2つに分けている。RF電子銃には三倍高調波(266nm)に変換して入射している。18Lの

主要パラメータを表1に示す。パルスラジオリシス実験では、超短パルス電子ビーム、高精度同期システム、大電荷量ビームの3つが高時間分解能のため要求される。現在、それぞれの課題について研究が行われている[4]。

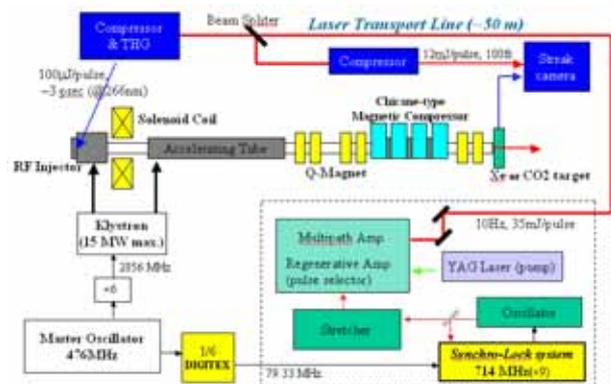


図1. パルスラジオリシス用の18L体系図

Cs₂Teなどの高QEカソードは、カソード生成時から電子銃へのインストール時まで一貫して超高真空に保つ必要がある。今回18Lに導入するカートリッジ式のシステム(SPring-8、浜松ホトニクス、東大)は、工場で生産されたカートリッジ管内にカソードが真空封じされているため、製膜装置なしで高QEカソードの使用が可能であり、コンパクトである。SPring-8でこのシステムによる単セルRF電子銃でのビーム試験が行われており、Cs₂TeのQE測定が行われた [5], [6]。

今回の導入では、RF電子銃の後ろのスペースが十分ではないため、Spring-8で使用されているものよりさらに小型(50-80cm程度)のシステムが要求される。図2に今回導入するカートリッジ式カソード交換システムの概略図を示す[7]。このシステムは、カソード交換可能なRF電子銃端板、カソード交換装置、及びカートリッジ管から成る。Spring-8との違いはカートリッジ管を保管しておくリポルバーがない点である。カソード交換可能なRF電子銃端板とは、通常の端板にプラグ挿入用の孔を開けたものである。カソード交換装置、及びカートリッジ管の写真を図2に示す。カソード交換機構はカートリッジ管をフィードスルー後方にセットしベッキングの後、ゲートバルブを開け、カートリッジ管をフィードスルーで移動させてカソード端板近傍までインストールする。その際カソードを真空中に保護しているコバルト膜を破る。カソード近傍にセットした後、内側のフィードスルーを動かすことによってカソードを端板の位置まで移動させる。カソードの真空度を確認するため端板後方に真空計を設置している。カートリッジ式カソード交換システムの概略図を図3に示す。

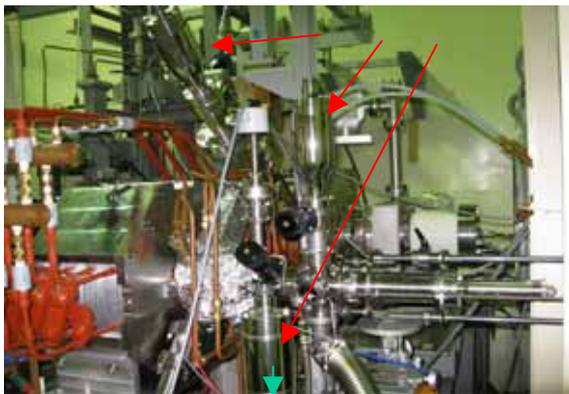


図2 カートリッジ式交換システム

2. Na₂KSbカソード

3倍高調波の変換効率は本施設では2%程度であり、装置の大型化、それに伴う不安定化を招いている。装置を小型・安定化するために2倍高調波

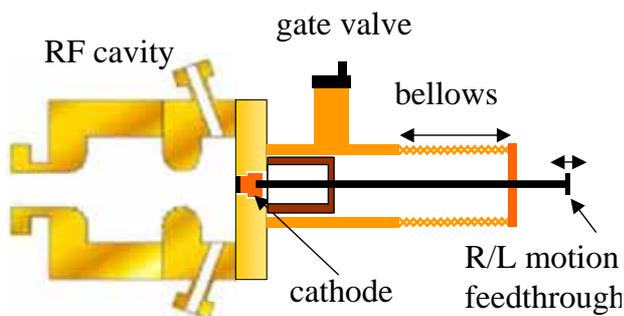


図3 カートリッジ式カソード交換システム概略図

(400nm)で動作可能なカソードの試験が望まれる。

Na₂KSbは光電子増倍管で使われているカソードであり、400nmで最大の量子効率を誇る。取り出すために必要なエネルギーは2.0eVで、Cs₂Teの3.5eVよりも大分小さく、Cs₂Sbの仕事関数2.4eVより低く(2.0eV)、そのため量子効率を更に稼ぐことが可能となる。またCsをフリーにすることにより、Cs蒸発による量子効率劣化が少なくなり、超寿命化が期待できる。図4にカソードの量子効率の波長依存性を示す。カソードのこのカソード材質をモリブデンベース上に生成し、フォトカソードRF電子銃にインストールし試験を行った。試験では266nmの波長で寿命テストまで行った。

RFのパルス幅は2msで10Hz運転した。カソードは最初低いワット数からエージングを開始し、序々に印加電圧を上げて最終的に7.5MWをRF電子銃に印加する。カソードのエージングには約半日を要した。

エージングのち量子効率が1%であった。結果を図5に示す。このカソードの寿命特性は、周りの真空度に強く依存し、通常イオンポンプにおいて2~4*10⁻⁹Torrの真空度で行ったが、RFガンの放電で真空度がたびたび3*10⁻⁸Torr以下になることもしばしばあった。初期のオフラインにおけるカソード量子効率試験4%よりも小さかったが、これはこの量子効率ですでに1.8nCも出ており、空間電荷制限を受けてしまったからであると推測される。最大電荷は4.5nCであり、大電流においても使用できることがわかった。

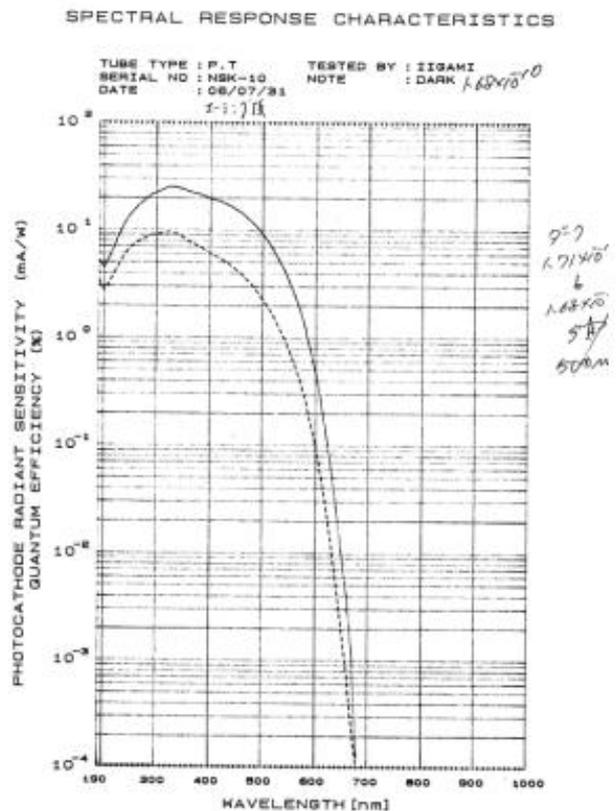


図4 Na₂KSbの量子効率の波長依存性

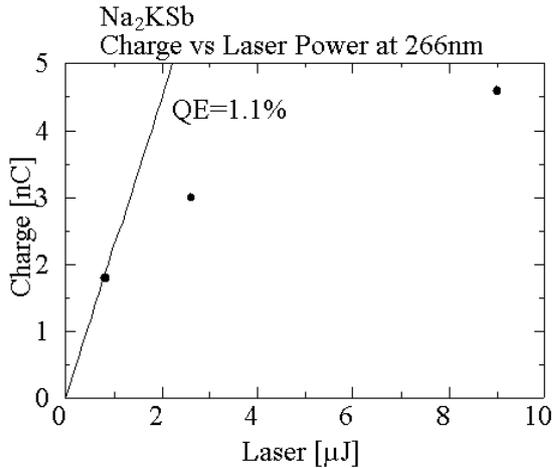


図5 266nm における RF 電子銃で加速した電子ビームの電荷量

続いて寿命特性試験を行った。加速器の電子源として使用していく場合、カソードの寿命が問題となってくる。寿命が短いカソードでは電流量の不安定性、メンテナンス回数の増大が見込まれ、使用に不都合が生じる。

我々の装置の真空度は真空ポンプ付近で 2×10^{-9} Torr、端板後方のカソード挿入口で 2×10^{-8} Torrであった。RFガンキャビティは奥まった構造をしており、それより真空度が悪いのが見込まれる。カソードプラグ挿入後多数の放電が観測され、イオンポンプにおいて 4×10^{-8} Torr以下に落ちることも多数あった。そのような真空度における Na_2KSb カソードの寿命特性を図6に示す。カソードの寿命が24時間以内で急激におち0.5%まで減衰する時間は100時間であった。その後量子効率の落ちが減速し、280時間後に当初の1/5の量子効率(T(1/5))に到達、その後安定した。図6にRFの印加時を示す。劣化が加速器を止めた3日間での劣化が特に激しく、RF印加によるものだけではないことがわかる。図7にRF印加後の Na_2KSb カソード表面を示す。カソード全面に放電痕が観測され、特にエッジ付近に多い。中

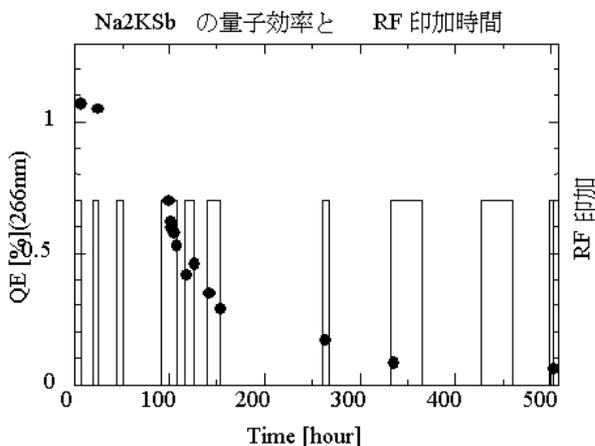


図6 Na_2KSb 寿命試験。四角はRF印加を示す。

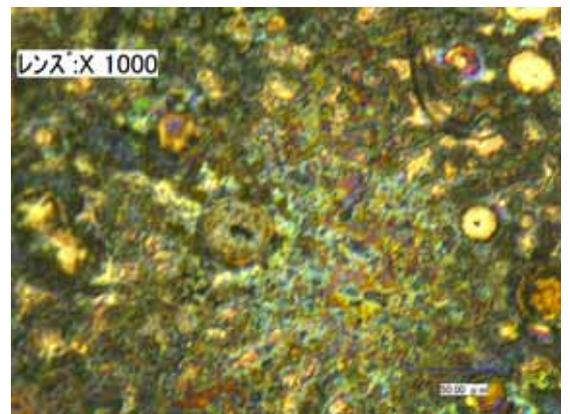
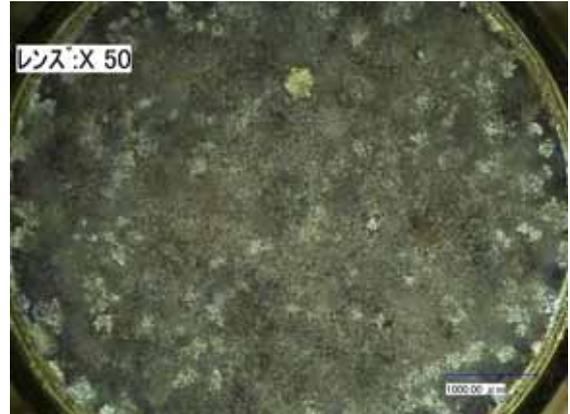


図7 RF印加後の Na_2KSb カソード表面の顕微鏡写真

心付近の拡大図でも多数の放電痕が見られる。長寿命のカソード開発にはRF放電にも耐えられるぐらい積層する必要があると考えられる。今秋にも400nm帯試験を行い、可視光でも駆動できることを示す予定である。

参考文献

- [1] M. Uesaka et al., Radi. Phys. Chem, **60** (2001)
- [2] Y. Muroya et al., Nucl. Instr. Meth. A, **489** (2002)
- [3] H. Iijima, et al., Proc. 2002 EPAC 1771-1773
- [4] A. Sakumi, et al., Proc. 2005 PAC 3079-3081
- [5] J. Sasabe et al., Nucl. Instr. Meth. A, **528** (2004)
- [6] H. Dewa et al., Proc. of the 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, 2003
- [7] A. Sakumi, et al., Particle Accelerator Conference(PAC) 2007, proceedings, 2787 (2007).