

## L-BAND PHOTOCATHODE RF GUN AT KEK-STF

Yoshitomo Takahashi<sup>1,A)</sup>, Harue Sugiyama<sup>B)</sup>, Hitoshi Hayano<sup>B)</sup>, Junji Urakawa<sup>B)</sup>, Shigeru Kashiwagi<sup>C)</sup>, Goro Isoyama<sup>D)</sup>, Naoya Sugimoto<sup>D)</sup>, Ryukou Kato<sup>D)</sup>, Masao Kuriki<sup>E)</sup>

<sup>A)</sup>The Graduate University for Advanced Studies, <sup>B)</sup>High Energy Accelerator Research Organization, <sup>C)</sup>Tohoku University, Research Center for Electron Photon Science, <sup>D)</sup>Osaka University, The Institute of scientific and Industrial Research, <sup>E)</sup>Hiroshima University Graduate School of Advanced Sciences of Matter

### Abstract

KEK-STF Photocathode RF Gun is under development by the collaboration with FNAL and DESY. The installation of the gun system at STF started from November 2009. The RF process began on April 2010, and stopped at 1.7 MW power level on June 2010, because of conflict to S1G experiment. During RF process, the pulse width was changed from 20  $\mu$ s to 1.0 ms by keeping vacuum level under  $1 \times 10^{-4}$  Pa. The emission charge was measured by the Faraday Cup at downstream of the Gun. The enhancement factor  $\beta$  was estimated to 150.

## KEK-STFにおけるL-band Photocathode RF電子銃

### 1. はじめに

KEK-STFにおいては、量子ビーム基盤技術開発プログラムにおいて「超伝導加速による次世代小型高輝度光子ビーム源の開発」の研究を行っている。また同時に、STFのクライオモジュールへ供給する電子ビーム源の開発も行っている。そのためにL-band Photocathode RF電子銃を開発し、高品質な電子ビームの生成を行う予定である。電子銃空洞は1.3GHz常伝導空洞でパルス幅1ms、5Hzで運転され、Cs<sub>2</sub>Te PhotocathodeとUV Pulseレーザーにより162500バンチ(62pC/bunch)または2625バンチ(3.2nC/bunch)の電子ビーム列を生成する。Photocathodeにかかる電界は40MV/m以上を予定している。<sup>[1][2]</sup>

空洞製作は、DESY(独国)-FNAL(米国)との共同研究によりFNALが担当した。2009年11月にKEKに到着し、冷却水周りとフランジ部分の改造を行い、2010年2月から組み立てを開始した。4月からRFプロセスを開始した。RFプロセスはパルス幅を20 $\mu$ sから始めて徐々に幅を増やしていき最終的に1msのパルス幅、5Hzでプロセスを行った。最大入力パワーはクライストロンにかかる電圧に限界がありRF加速空洞では1.7MWに制限されている。1.7MW印加下において超高真空を保つ程度までプロセスが進んでいる。

### 2. RF電子銃システムのセットアップ

#### 2.1 RF電子銃空洞のアセンブリー

図1にRF電子銃システムのセットアップダイアグラムを示す。また図2にその写真を示す。図1の左側に示すものはカソード蒸着槽及びカソードプラグ挿入機構である。ここではカソードプラグ表面に蒸着槽内でセシウムテルル薄膜を蒸着しRF空洞へ挿入させることができる。蒸着槽とカソードプラグ挿入機

構ベローズとの間には、蒸着槽の真空を保つイオンポンプが設置されている。蒸着槽とRF空洞の間にはゲートバルブがあり、薄膜作製中は閉じて空洞に影響が及ばないようにしている。

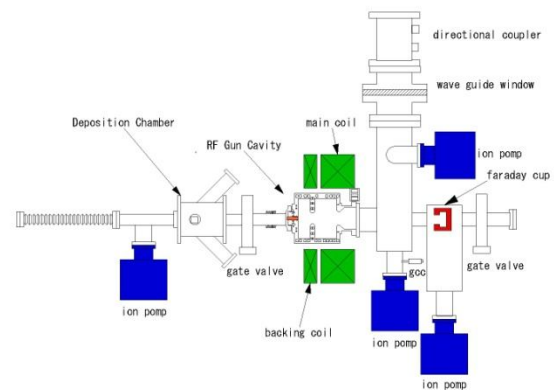


図1：RF電子銃のプロセスセットアップ

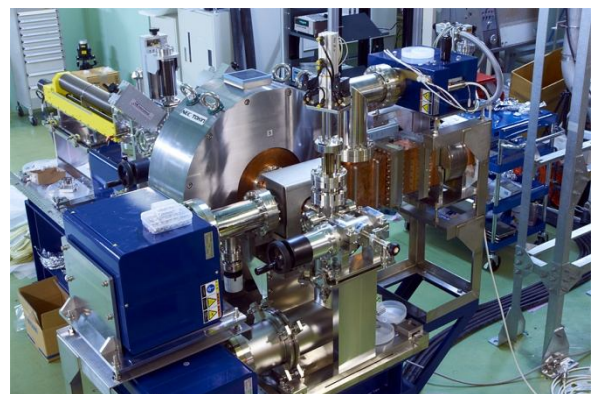


図2：KEK-STFのRF電子銃

<sup>1</sup> E-mail: yoshitom@post.kek.jp

今回のRFプロセスでは、RF空洞に薄膜蒸着をしないモリブデン製カソードプラグを装着した。RF空洞の冷却用ウォータージャケットにチラーを接続し、流量110L/minにより温度を一定に保っている。RF空洞にはメインコイルとバックリングコイルとによって電子ビーム収束用磁場をかけている。バックリングコイルは、カソード面で磁場がかからないようにするためメインコイルとは逆極性で磁場をかけている。ソレノイド電磁石の冷却水は流量が8L/minである。メインコイルに380A、バックリングコイルに144Aの電流を流している。RF空洞は同軸型入力カプラーと接続されている。同軸型入力カプラーの導波管側には、セラミック真空窓とイオンポンプ2台が接続されている。それらイオンポンプの配置は真空窓側1台とビーム軸を挟んで反対側にもう1台を設置した。またビーム軸上にファラデーカップを設置し、ファラデーカップを設置しているチェンバーにイオンポンプがもう1台接続してある。真空窓はアークセンサーで窓の発光をモニターしており、クライストロンヘインターロック接続してある。

## 2.2 ハイパワーRF 装置との接続と制御ソフトウェア

RF空洞はSTFクライストロン1号機に接続され、最大出力パワー1.7MW、最大パルス幅1.5ms、繰り返し5Hz、周波数1300MHzでのRFプロセスができる。クライストロンはRF空洞との間にサーキュレーターが接続されている。RF空洞から反射してきたRFが

クライストロンへダメージを与えることを軽減するためである。RF空洞は地下トンネルに設置されアークセンサー、方向性結合器、真空窓と接続されている。方向性結合器は結合度が60dBのものが繋がっている。これにより空洞への入力パワーと反射パワーを測定している。取得可能なデータはすべてコンピュータを介し約1秒の間隔で記録している。ソフトウェアはEpicsベースであり、JavaのGUIで制御している。

## 3. RFプロセスのプロシージャー

真空インターロックの設定は $2 \times 10^{-4}$  [Pa]とした。パルス幅を徐々に上げてプロセスを行った。20 $\mu$ sで15時間50分で1.7MW、40 $\mu$ sでは2時間で1.7MW、100 $\mu$ sでは19時間で1.7MW、200 $\mu$ sでは14時間で1.7MW、500 $\mu$ sでは9時間30分で1.7MW、1000 $\mu$ sでは21時間40分1MWに到達した。

その後ソレノイドに通電をし、20 $\mu$ s、40 $\mu$ s、100 $\mu$ s、200 $\mu$ s、400 $\mu$ s、800 $\mu$ s、500 $\mu$ s、600 $\mu$ s、700 $\mu$ s、800 $\mu$ s、1000 $\mu$ sの順で総計29時間のプロセスを行った。合計111時間であった。真空窓直前での最大入力パワーは1.7MWまでプロセスが進んでいる。1.7MWのときカソード上の電界は29.2MV/mに相当する。またプロセス中は、ファラデーカップにより暗電流もモニターしている。

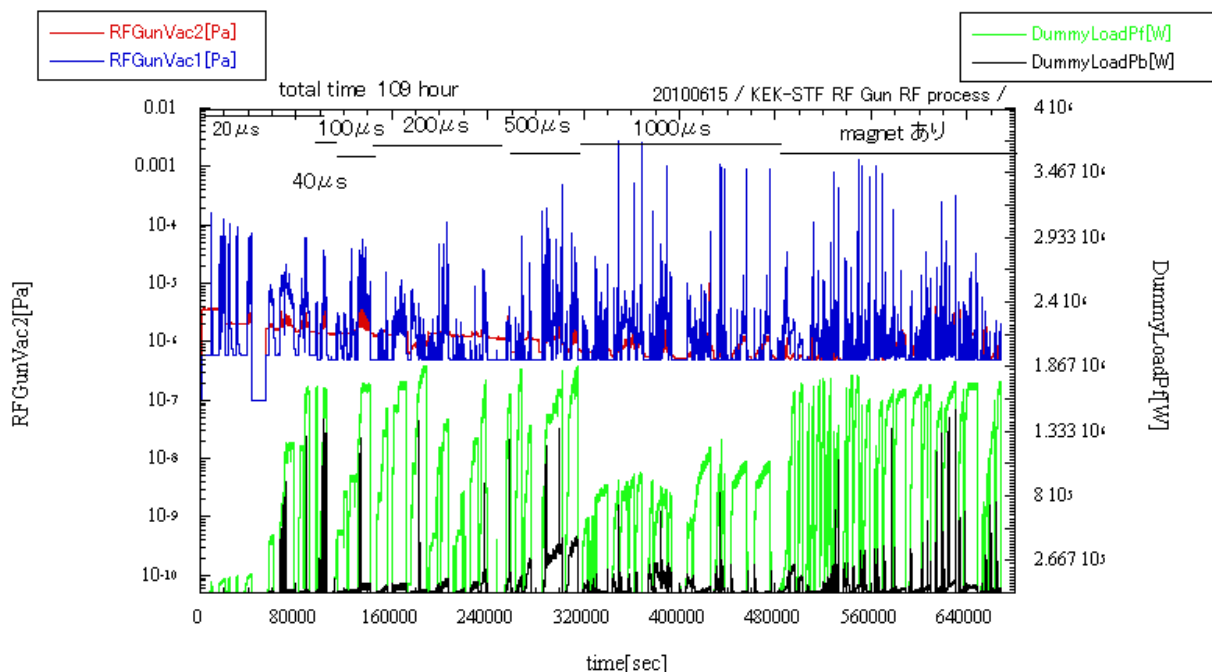


図3：RFプロセスの様子。赤線と青線は真空度の変化を表わし、緑線は入力RFパワー、黒線は反射RFパワーの変化を表わす。プロット上部にパルス幅を示した。

#### 4. RFプロセスの途中経過と結果

空洞側の真空度では400kw、800kw、1.2MW、1.5MWとほぼ400kwの倍数地点にマルチパッキングと思われる真空悪化を確認できた。蒸着槽側でもパルス幅が増えるにつれてパワーに対応した真空悪化が確認された。最終的には測定限界である $5 \times 10^{-7}$  Paまで真空は良くなった。パルス幅を500 $\mu$ sにしてから放電音がし始めたがプロセスの進行と真空窓の水冷によりおさまった。さて、銅の空洞に大電力長パルスのRFパワーを入力すると発熱する。RF空洞は無負荷時51.5 $^{\circ}$ Cでチューニングされている。チラーによりその温度を保ちたいが、冷却水パイプで制限された流量では十分冷却することができず、

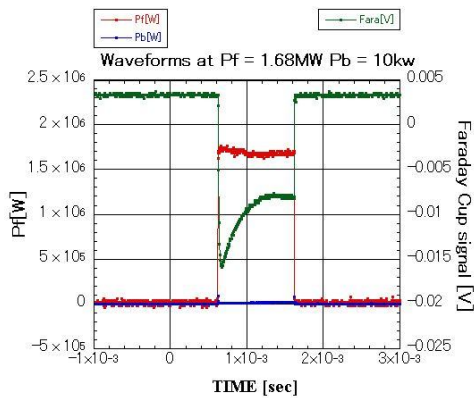


図4：入力RF パワーが1.68MW の時のRF 波形とFaraday Cup 信号波形。

チューニングがずれていく。パルス幅1000 $\mu$ sについては空洞からの反射パワーを最小にする入力パワーをxとすると、その時のチラーの設定温度yは、 $y=52-2.5*x$ の関係が認められた。図3にこのRFプロセスの全ヒストリーを示す。パルス幅が1000 $\mu$ sでは、

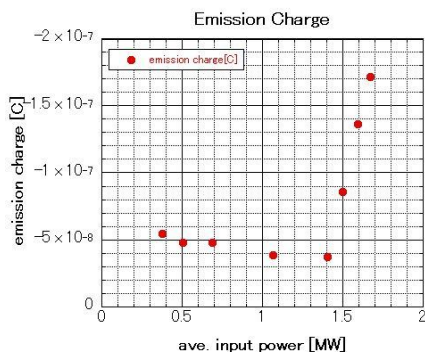


図5：Faraday Cup で測定した emission charge の変化の様子。

真空窓の水冷を行わないと1MW付近で放電が頻発、それ以上パワーを上げることができなかつた。そこで真空窓の水冷を開始した。RF窓の水冷を始めたため、クライストロンの最大出力の1.7MWまで投入することが可能となった。

オシロスコープにより測定した暗電流の波形を図4に示す。また、Emission chargeを計算し入力パワーに対してプロットしたものを図5に示す。暗電流の特性を表わすものとして、1.4MW付近以上のEmission Charge の大きな4点に対してFNプロットをつくり、エンハンスメントファクター $\beta^{[3]}$ を導出したもの図6に示す。エンハンスメントファクター $\beta$ は150であった。

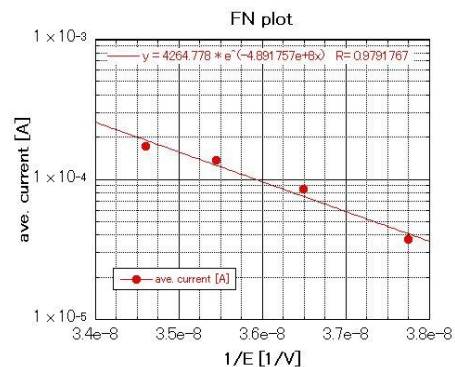


図6：入力RF パワーが1.47 MW 以上の時のFN プロット。

#### 5. Cs<sub>2</sub>Te薄膜蒸着システム

本電子銃では、フォトカソード材料としてCs<sub>2</sub>Te（セシウムテルライド）薄膜が採用されている。薄膜蒸着槽は、RF電子銃空洞に直結している。カソード移送のストロークは500mmである。薄膜蒸着、除膜、量子効率測定はin-situで行うことができる。作製された薄膜は大気に取り出すことなくRF電子銃空洞ヘインストールできる。

カソードプラグはMo（モリブデン）製である。カソード先端部は、量子効率測定時にバイアス電圧印加を可能にするためアルミナセラミックで絶縁されている。またカソードプラグ内には加熱除膜のためのヒーターが内蔵されている。除膜温度が550 $^{\circ}$ C以上に上るため通常よく使用するベリリウム銅製のRFコンタクトは使用できない。そのためRFコンタクトは高温耐性が高いインコネル750xを採用している。

Te源とCs源は同じ軸上に配置されている1方向マニピレータに接続されている。蒸着の際は高さ調整によってTe、Csを選択することができる。Te蒸着中は水晶振動式膜厚計により蒸着量をモニターすることができる。これらの蒸着システムは構築されており、各部分の試験をしている最中である。

#### 6. サマリー

KEK-STF で構築中のL-band Photocathode RF電子銃のRFプロセスについての報告を行った。空洞の製作は、DESY(独国)-FNAL(米国)との共同研究により

FNALが担当し、2009年11月にKEKに到着し、冷却水周りとフランジ部分の改造を行い、2010年2月から組み立てを開始した。そして2010年4月からRFプロセスを開始した。RFプロセスはパルス幅を20 $\mu$ sから始めて徐々に幅を増やしていき最終的に1000 $\mu$ sのパルス幅、5Hzでプロセスを行った。最大入力パワーはクライストロンにかける電圧に限界があり1.7MWに制限された。1.7MW印加下において超高真空を保つ程度までプロセスが進んでいる。ここまでの総時間は111時間を要した。測定された暗電流をもちいてFN plotをつくり、エンハンスメントファクター $\beta$ を推定すると150であった。同時にCs<sub>2</sub>Te薄膜蒸着システムの試験も進行中である。

### 参考文献

- [1] 柏木茂他. “LバンドフォトカソードRF電子銃の開発 (Ⅲ)” 第7回日本加速器学会年会プロシーディングス
- [2] 栗木雅夫他. “KEK-STFにおけるILC形式ビーム生成のための高平均出力レーザーの開発” 第7回日本加速器学会年会プロシーディングス
- [3] 高田耕治. “高周波電場下のFowler-Nordheim放出電の振舞い” [http://research.kek.jp/people/takata/Memos/RF\\_Field\\_Fowler-Nordheim\\_Emission.pdf](http://research.kek.jp/people/takata/Memos/RF_Field_Fowler-Nordheim_Emission.pdf)