

[12P-13]

HIGH POWER TEST OF THE SPring-8 PHOTOCATHODE RF GUN

T. Taniuchi^{*)}, T. Asaka, H. Hanaki, T. Hori, T. Kobayashi, A. Mizuno, S. Suzuki and K. Yanagida

Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8)
Kouto 1-1-1, Mikazuki, Sayo-gun, Hyogo 679-5198, JAPAN

Abstract

RF cavities for photocathode RF gun were built and tested by using high power RF up to 27MW. The electric field gradient on the cathode reached 140MV/m. During the RF conditioning, dark currents were measured for cavities with different surface treatments. A laser pulse was irradiated on a copper cathode and the photo-emitted beam was accelerated up to 3.2MeV. An effective quantum efficiency of the cathode was obtained by changing laser power and field gradient.

SPring-8におけるフォトカソードRF電子銃の大電力試験

1. はじめに

SPring-8では線型加速器における短バンチ、低エミッタンスビームの生成、利用を目的としてフォトカソードRF電子銃の開発を進めている。これまでに高電界発生とビーム特性評価のためのシングルセル空洞の製作、ビーム加速試験装置の設置を完了し、1999年2月にファーストビームの加速を行った[1]。その後、クライストロンの出力調整を行いながらRFエージングを進め、4台の空洞について暗電流の評価を行った。またこれと並行してシミュレーションコードの開発[2]を行い、実験データとの比較によりその信頼性を確認した上で、実機設計に利用していく予定である。

2. 試験空洞

試験空洞はカソード面において100MV/mを越える高電界の発生、暗電流の低減を目的として空洞内表面処理の異なる3空洞及び高量子効率を目的とした単結晶カソード空洞の計4台を制作した。

表面処理としては通常処理、超純水洗浄、TiNコーティングおよび超純水洗浄の3種類である。高圧超純水洗浄が暗電流の低減に有効であることはすでに報告されてる[3]が、本空洞は半導体洗浄などで使用されてる流水による洗浄を施した。一方、TiNコーティングはTiの2次電子放出係数が1以下であることから2次電子の発生による暗電流増加を抑える効果があり、RF窓やRFカップラーなど

に利用されている。さらにこの空洞は入力RF電力の一部を外部へ取り出して空洞Q値を下げることにより、パルス幅の短いRFでの励振を可能にするとともにビームローディングの影響が小さくなることから、高電界発生に有利な構造となっている。図1に試験空洞を、表1に主なパラメータを示す。

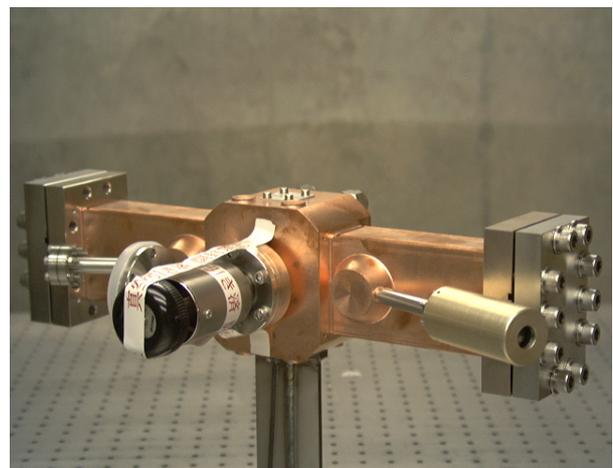
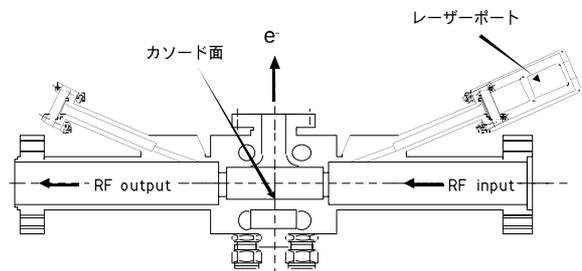


図1 試験空洞

^{*)}T. Taniuchi, 0791-58-0851, taniuchi@spring8.or.jp

表 1 試験空洞のパラメータ

Frequency	MHz	2856
Number of cells		1
Accelerating gap	mm	28
Bore diameter at cavity exit	mm	20
Intrinsic Q value		13000
External Q value for input port		3684
External Q value for output port		2786
Loaded Q value		1414
Filling time	μs	0.31
Shunt impedance	$\text{M}\Omega$	1.16
$E_{\text{max}} / E_{\text{cathode}}$		1.09
Laser injection angle	deg	24

3. 大電力試験装置

本試験装置は線型加速器棟に併設されたマシン実験棟に設置されており、35MWクライストロン（PV-3035）をRF源としている。図2に本試験で用いた大電力RF伝送系の概略を示す。

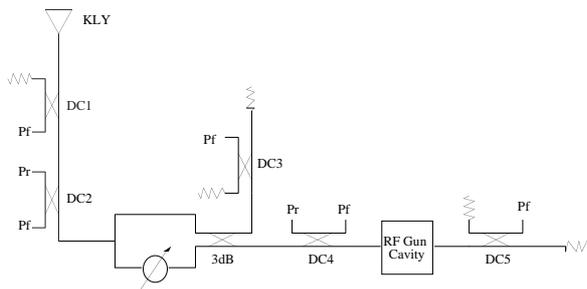


図2 大電力RF伝送系

クライストロンから出力されたマイクロ波は電力分配器により試験空洞とダミーロードへ分配される。電力分配器はT分岐、移相器および3dB方向性結合器から構成されており、任意の分岐比でマイクロ波を分配することができる。このシステムにより、空洞にマイクロ波を投入せずにクライストロンRF出力試験が可能となった。空洞と3dB方向性結合器の間にはRF窓が取り付けられており、独立した真空系となっている。空洞側の真空度は、導波管に取り付けられた排気速度100 l/sのイオンポンプ1台により 10^{-6} Pa程度に維持されている。

3. RFエージング

空洞のRFエージングは、RFパルス幅 $1\mu\text{sec}$ 、

繰り返し10ppsで真空度が 10^{-4} Paを越えないように行った。図3は導波管に取り付けられた方向性結合器によりモニタしたRFパルス波形である。空洞上流にサーキュレータを設置していないため、空洞からの反射波の影響が波形の立ち上がり（下がり）部分に見られる。本空洞では空洞からの出力波をモニタできるので、そこから空洞内の電界強度を得ることができる。

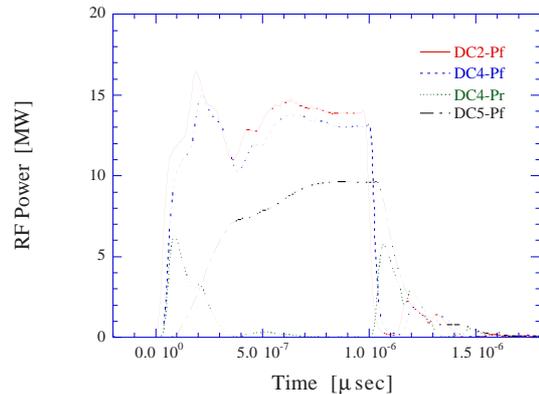


図3 RF波形の例

4. 暗電流測定

RFエージングを進めながら、空洞直下流に取り付けられたファラデイカップにより暗電流の測定を行った。図4aに、超純水洗浄を行った空洞におけるエージングに伴う暗電流の変化を示す。約6時間のRFエージングでカソード面電界で100MV/mに達しているが、さらにエージングを続け18時間後に140MV/mに達すると、暗電流量は約1桁小さくなった。また、図4bに示すようなFowler-Nordheimプロットを行うとエージング後の β (field enhancement factor) が小さくなっており、空洞表面の平滑化が進んでいることが示唆される。

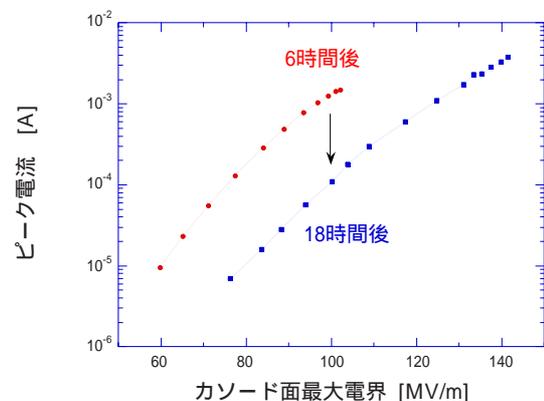


図4a RFエージングによる暗電流の減少

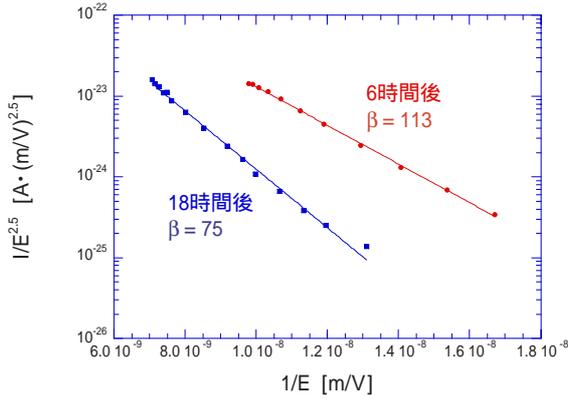


図4 b F-Nプロット

図5に示すように、4種類の空胴について暗電流を比較すると、超純水洗浄を行った空胴が最も小さかった。TiNコーティングは暗電流の低減に効果が無かったことから、この空胴において2次電子発生による暗電流増大は起こっていないと推定される。またF-Nプロットから得られる β が他の空胴より大きいことから、TiNコーティングにより表面の平滑度が悪化し、暗電流が大きくなっていると思われる。

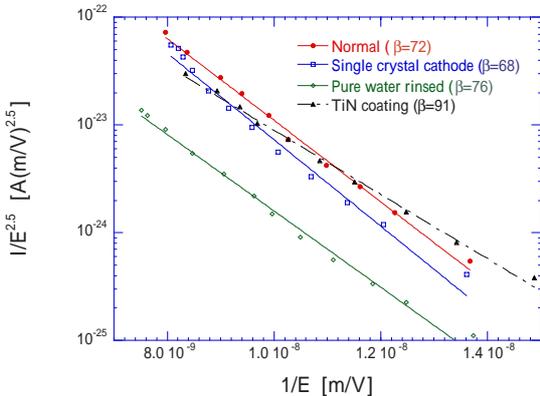


図5 F-Nプロットによる4空胴の暗電流比較

5. ビーム測定

ビーム測定ではカソード表面電界90MV/mにおいてエミッタンスの測定を行い、最小エミッタンス約 $15\pi\text{mmrad}$ を得ている。これはシミュレーション結果とほぼ一致しており[4]、現在達成しているカソード面電界140MV/mではさらにエミッタンスは小さくなるのがシミュレーション結果で得られている。一方、実験とシミュレーションを比較する上で、レーザーの安定度の改善や、実際のレーザープロファイル形状の測定など進めて精度を上げる必要がある。

カソードの量子効率については図6に示すように124MV/mで最大 3.7×10^{-5} を得ているが、他所のデータと比較すると若干低いようである。今後真空ポンプを増強するとともに、長時間のレーザー照射による効率改善が見られるかどうかを確認したい。

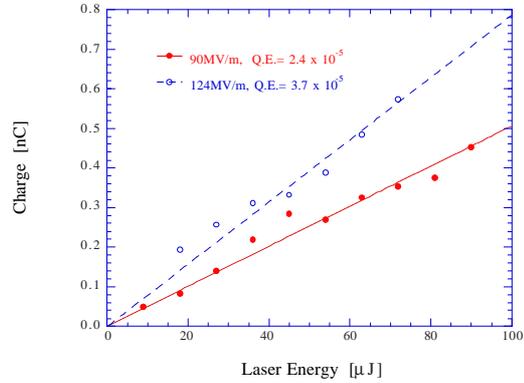


図6 電界強度と量子効率

6. 今後の予定

現在のレーザーは出力が不安定であるために測定値のエラーが大きく、エミッタンスの正確な測定が困難である。今後、高安定レーザーを導入して詳細な測定を行うとともに、開発したシミュレーションコードや試験空胴での経験をもとに、実機システムの設計を行っていく予定である。

参考文献

- [1] T. Taniuchi et al., Proc. of the 1999 Part. Acc. Conf. 2015 (1999).
- [2] A. Mizuno et al., Proc. of the 24th Linac Meeting in Japan 125 (1999).
- [3] H. Akiyama et al., Proc. of the 20th Linac Meeting in Japan 170 (1995).
- [4] A. Mizuno et al., Proc. of this meeting.