

SPring-8線型加速器の新型電子銃カソードの試作試験 R&D OF THE GUN CATHODE FOR THE SPring-8 LINAC

鈴木伸介[#], 出羽英紀, 小林利明, 谷内努, 花本博文

Shinsuke Suzuki[#], Hideki Dewa, Toshiaki Kobayashi, Tsutomu Taniuchi and Hirofumi Hanaki
Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8)

Abstract

The SPring-8 linac has used Y-845 cathodes (Eimac/CPI) as an electron gun cathode. However, its cathode emission current is not sufficient in some cases. We therefore started the development of a new type cathode for reinforcement of the emission current and for reduction of the grid emission current which increases along with the heater-on time. The target in terms of the cathode emission is to double that of Y-845. To produce a solid and reliable cathode, a thin metal plate with honeycomb etched holes was adopted as a grid mesh instead of a traditional wire mesh. Because the aperture ratio of such an etched plate is lower than that of a wire mesh, we decided to employ the cathode disk which has honeycomb micro dimples on its surface forming focused multi electron beams with the aligned grid plate to result in a very high beam transmission rate. The first test of the cathode assembly, whose cathode disk has the micro-dimple array structure, presented that the emission of 13 A was obtained. The detail of the development and the first test will be reported in this paper.

1. はじめに

2004年5月にはSPring-8での蓄積リングのTop-up運転が、2004年9月には、SPring-8とNewSUBARUの両方同時のTop-up運転が始まり、現在も継続されている。近年のTop-up運転では短寿命のフィリングパターンが増え、入射の頻度が増加している。その対応としてSy/NSの2Hz高速切替えを2013年度から実施している¹⁾が、入射電流の調整代として電子銃のエミッション電流を調整するのが容易であることから1shot当たりの電流の増強も要求されている。

SPring-8の線型加速器では電子銃用カソードとしてY-845カソード(Eimac/CPI社製)を使用してきたが、これまでの使用経験から品質のばらつきが大きいことが指摘されている。そこで品質の安定化に加え、現状やや不足気味であるビーム電流の増強及びヒータ通電時間の経過とともに増加するグリッドエミッションの低減などに対する改良を目的として新型カソードの開発を開始した。

開発の目標はY845カソードの2倍の引き出し電流である。このとき現行の電子銃碍子、コネクター形状の改造は行わないものとし、カソードの面積を拡げる事で、より大きなカソード電流を得る事とした。また、現行カソードで、運転中にカソードとグリッドが接触し、引き出し電流が制御出来なくなるという事象が起こった事があるため、構造的に強固な構造を持たせる事も目標となった。強固な構造を持たせるためにグリッドの構造をY845のメッシュタイプからプレートにエッチング加工を施した多孔板に変更した。そのためメッシュに比べ開口率が下がるため、カソード表面にマイクロディンプル加工を施し、エッチング孔とディンプルのアライメントをする事により電子を収束し、引き出し電流をあげる構造をとった。この構造をマイクロディンプルア

レイ構造とする。

2. シミュレーション

CST PARTICLE STUDIOにより電場及びビームトラッキングを行い、エミッタンス及びビーム透過率の評価を行った。

Fig.1左図にメッシュタイプのカソードエミッション、右図にマイクロディンプルアレイ構造のシミュレーションを示す。このシミュレーションから分かるようにメッシュではカソードにかかる電界にねじれがあるため、局所的にねじれたビームが出ているが、マイクロディンプルアレイ構造では各ディンプル毎にきれいなビームが出ていることが分かる。また、ディンプルの曲率半径が700 μ mより大きくなるとグリッドの透過率が100%を下回り、出力電流の減少を引き起こす。

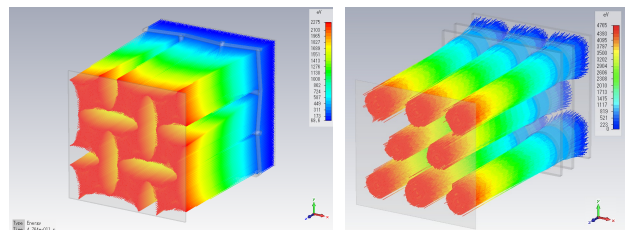


Fig. 1 Simulation of the cathode emission
Left figure: cathode emission of old mesh type grid
Right figure: cathode emission of micro dimple array structure

また、Y845はほぼ1年で交換を行ってきた。これを決定するのは我々の場合、カソードのエミッション減ではなく、暗電流の増加である。これはカソード表面から蒸散したバリウムがグリッドに付着することによりグリッドエミッションが増加し、暗電流が増加すると思われる。これを低減するためにダブルグリッド構造としてアノード側のグリッド面の温度が下がり、暗電流が減ることを期待した。

[#] shin@spring8.or.jp

この新型カソードではビーム電流増強のためカソード径を 8mm から 10mm へ変更する。また、グリッド孔に対応させた微小凹面をカソード表面にハニカム状に形成することにより、電子ビームのグリッド透過効率を現カソードの 75%から約 100%に改善する。さらに同電位ダブルグリッド方式を採用しアノード側の第2グリッドへの Ba 付着の低減を図る。その際グリッドをワイヤ編込メッシュから孔空き金属プレートに変更することで、ワイヤの編込形状による電界のゆがみが無くなり、ビームのエミッタンスも向上することが期待される。

分かった。しかし、次工程のカソードアセンブリについては試験工程の関係上、ここで製作されたディンプルカソードを用いた。

3. カソードアセンブリの製作

3.1 カソード面のディンプル構造

あまり大きく深いディンプルはグリッド-カソード間の距離を離す必要があるため、深さは径の 1 割程度となるようにし、設計を行った。Fig. 2 に決定したカソード表面上のディンプル構造の図面を示す。

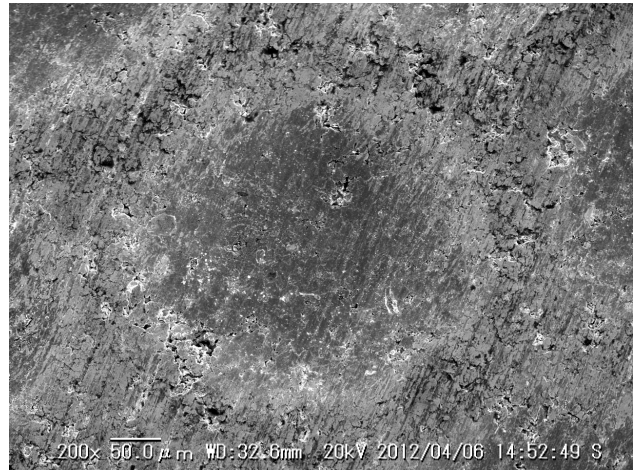


Fig. 3 The electron microscopic picture of the cathode

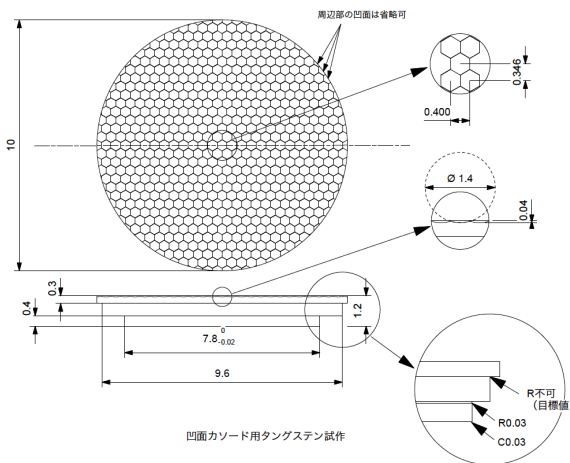


Fig. 2 Micro dimple structure on cathode surface

ディンプルの間隔は 0.4mm、深さは 0.04mm である。ポラス構造でバリウムを含浸させたタングステンのカソードは金型プレスによりディンプル構造に成形した。

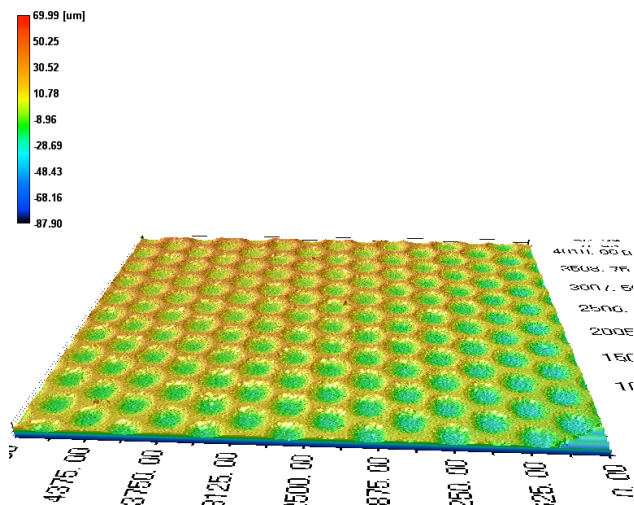


Fig. 4 The laser beam microscope photograph of the cathode surface

3.2 ディンプル加工

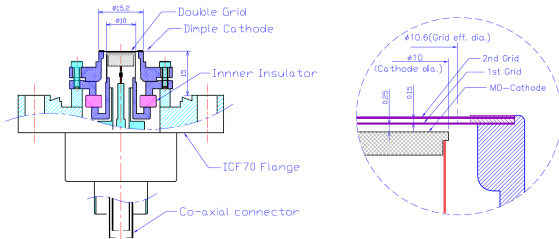
タングステンカソードのディンプル構造は銅粉末とタングステン粉末を焼結した平板タングステンに金型を押し付ける事により(株)東芝マテリアルにおいて製作された。タングステンの間に点在する銅はエッチング等により除去され、バリウムが含浸させられる。製作されたカソード表面(バリウム含浸前)の電子顕微鏡写真を Fig. 3 に、レーザー顕微鏡による 3D 測定結果を Fig. 4 に示す。これらの測定からディンプルの大きさ、深さ共に設計値に比べて小さく、加工には更なる工夫が必要であることが

3.3 カソードアセンブリ

出来上がったマイクロディンプルアレイ構造のカソードは(株)東芝電子管デバイスにおいてアセンブリされた。その形状を Fig. 5 に示す。

グリッドは 2 枚構造となっており、電気的に接触しており、同電位である。カソード面上のディンプルとグリッド孔のアライメントは顕微鏡下で行い、その設置精度は 20μm 以下である。また、カソード面とグリッド面の平行度も 10μm 以下に抑えられて

いる。グリッドカソード間の距離は Y845 の $125\mu\text{m}$ よりも広い間隔の $250\mu\text{m}$ とし、現在用いているグリッドパルサーの 300V よりも大きな 1kV のグリッドパルサーを用いることとした。



E42126 for SP-8 Linac

Fig. 5 The sectional view of a cathode assembly

4. テストベンチでの試験

出来上がったカソードアセンブリは SPring-8 サイト内マシン実験棟にある電子銃テストベンチにおいて試験を行った^[2]。電子銃の高圧は -85kV でアノード直後に磁気レンズ 1 台を介してファラデーカップで電流測定を行う。テストベンチの概念図を Fig. 6 に示す。

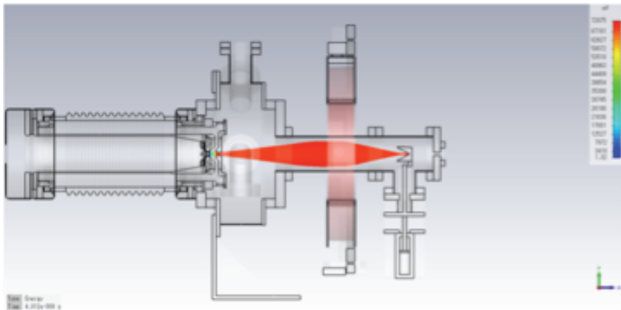


Fig. 6 Outline of gun test bench

テストベンチに取り付け後ヒータ電圧 9.5V までフラッシングを行った後、エミッション試験を行った。その様子を Fig. 7 に示す。Fig. 7 において赤線のデータは 9.1V までフラッシングを行った時のエミッションの値で、青線は 9.5V までフラッシングを行ったあとのエミッションのデータである。フラッシングを行うことにより低いヒータ電圧でも安定した電流がエミッションできるようになることが分かる。

ヒータ電圧を 9.5V まであげた時にエミッション電流が減少するのはビームが拡がり、アノードに一部当たって削れているためだと思われる。

5. 今後の予定

カソードの押しつけ加工に改良の余地が見られたため、金型の製作方法から見直してディンプルカソードの再製

作を行った。その際、ポーラスタンダステンに直接切削を行う試験ピースの製作も行った。その電子顕微鏡写真を Fig. 8(金型押しつけ加工)及び Fig. 9(直接切削)に示す。これらの写真からも分かるように、直接切削したものはきれいなディンプル構造となっているが、金型押しつけによるものはディンプルの大きさが少し小さいことが分かる。

今後はこれらのピース及ディンプル加工していないピースのアセンブリ加工を行い、ビーム電流の透過率やエミッタンスなどの計測を行い、現行カソードの更新の工程を詰めていく予定である。

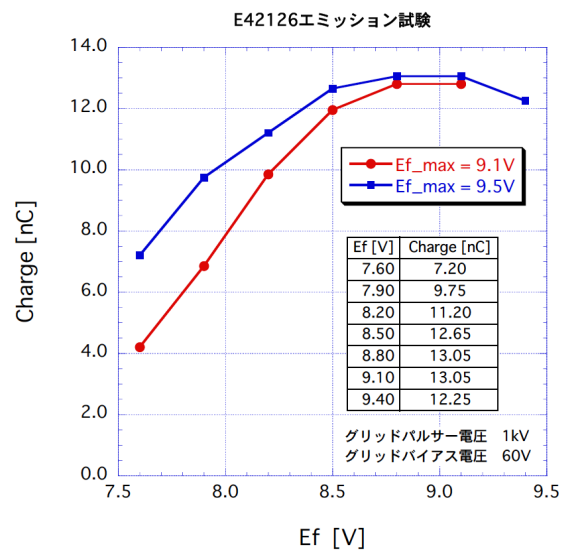


Fig. 7 Emission currents of dimple cathode
Red line: before 9.5V cathode flushing
Blue line: after 9.5V cathode flushing

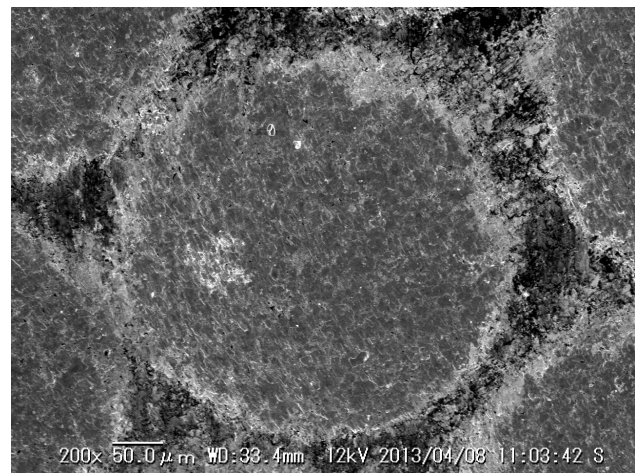


Fig. 8 The electron microscopic picture of the improved press-forming cathode

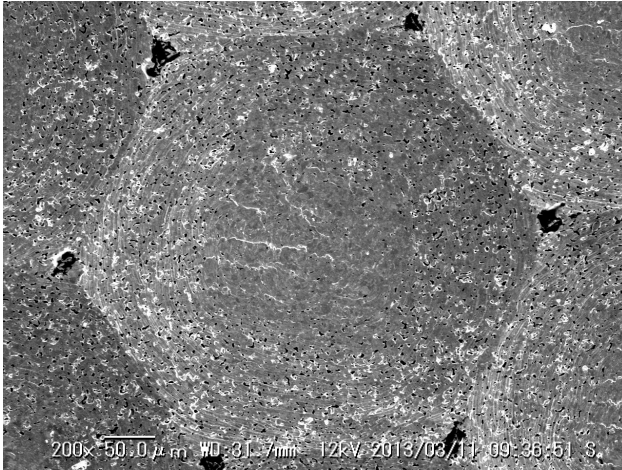


Fig. 9 The electron microscopic picture of the direct cut-forming cathode

6. 謝辞

カソードの加工を試行錯誤して頂いた(株)東芝マテリアル様、菅原精機様、カソードのアセンブリの詳細な検討製作を行って頂いた(株)東芝電子管デバイス様に多大なる謝意を表します。

参考文献

- [1] 出羽英樹, その他, “SPring-8線型加速器における高速切り替え入射”, 本学会論文集
- [2] 小林利明, その他, “SPring-8 1GeV 線型加速器モジュレータと電子銃テストベンチの現状”, Proceedings of the 10th PASJ, Osaka, Aug. 8-11, 2012, p. 1127