

OBSERVATION OF BACKBOMBARDMENT ON DC ELECTRON GUN*

Toshinari Tanaka^{1,A)}, Ken Hayakawa^{A)}, Yasushi Hayakawa^{A)}, Kyoko Nogami^{A)}, Keisuke Nakao^{A)},
Isamu Sato^{B)}, Takeshi Sakai^{B)}, Manabu Inagaki^{B)}

^{A)} Institute of Quantum Science, Nihon University

7-24-1 Narashinodai, Funabashi, Chiba, 274-8501

^{B)} Advanced Research Institute for the Sciences and Humanities, Nihon University

7-24-1 Narashinodai, Funabashi, Chiba, 274-8501

Abstract

The emission current of the dc electron gun was found to be enhanced synchronously with the rf pulse of the 125 MeV linac at Nihon University. The behaviour of the emission current in terms of the magnetic focusing in the injector system showed the existence of backbombardment of the EIMAC Y646B cathode assembly by the electrons decelerated in the buncher accelerating tube. The cathode heater power had been supplied over approximately 23000 hr during use in the gun, and then the cathode assembly was removed. Significant accumulation of the cathode impregnants on the grid mesh wires of the assembly suggests that the emission current enhancement resulted from the growth of grid emission caused by the backbombarding electrons. So far the beam current enhancement has not been reproduced on newly installed cathode assembly, although approximately 0.5 % of the emitted electrons have been found to come back toward the gun.

DC電子銃におけるバックボンバードメントの観測

1. はじめに

日大125MeV電子リニアックでは100kV熱陰極DC電子銃にEIMACのY646Bカソードアセンブリを用いている^[1]。自由電子レーザー (FEL) の発振にはパルス幅20 μ sの加速ビームを利用する。このとき、RFパルス内でビーム電流値が一定であることが重要であるが、電子銃からのビーム引き出し電流波形は、グリッドパルサー回路の特性が原因でパルス幅全体に渡って十分平坦とはなっていない。従って電子銃引き出しビームパルス幅がRFと同じ20 μ sでは平坦なビームが得られないため、電子銃引き出しビームパルスのうち20 μ sの平坦部を選択して加速できるよう、グリッドパルサーのパルス幅を約50 μ sと広げてビーム引き出しを行っている。

カソードヒーターは常時通電し、カソードが空間電荷制限領域で動作する条件となるヒーター電力約10Wを維持している。この状態で、2004年5月から2006年12月までの間、1個のカソードを交換することなく安定に使用し続け、最終的には2007年1月に別のカソードに交換した。このカソードのヒーター通電時間はおよそ23000時間となり、それまでの同種カソードに比べ2倍以上の使用時間となった。

2005年後半になって、電子銃の引き出し電流をモニターしているCT波形に、50 μ sの引き出しビームパルスと重畳してRFパルスに同期した変化が観測されるようになった。その後CT波形を詳細に調べたところ、バンチャー側から逆行する電子ビームの

存在と、それによる引き出し電流の増加を示唆する結果が得られた。電流の増加は顕著ではないが、これは熱陰極RF電子銃におけるバックボンバードメントと類似の現象と考えられる。以下において、交換後の新たなカソードアセンブリについて得られた結果も含め、その詳細を報告する。

2. パルス内ビーム電流増加の観測

図1に日大125MeV電子リニアック入射部の概略を示す。左端にある100kVのDC電子銃から引き出されたビームは磁気レンズML1、ML2で集束され、プリバンチャー通過後にさらに磁気レンズML3で集束を受けてバンチャーに入射する。バンチャー通過後に集束系を通過して加速管に導かれる。電子銃引き出し後最初のビーム電流モニターCT1がプリバンチャー直前にある。2年半に渡って使用したY646Bカソードアセンブリのパルス内引き出し電流増加は、加速

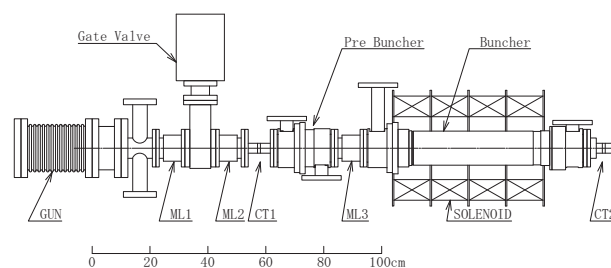


図1. 125MeVリニアック入射部の概略図。

*文部科学省学術フロンティア推進事業 (継続) (平成17~19年度)

¹ E-mail: tanaka@lebra.nihon-u.ac.jp

器運転時に常時監視しているCT1の電流波形の変化から分かった。

CT1で観測した電子銃引き出し電流波形の全体を図2に示す。引き出し電流のパルス幅は48 μ s、通常の使用ビーム電流はピーク値で約200mAである。RFとのタイミング比較のためにクライストロン1号機出力RF波形、加速時との比較にクライストロントリガを切りRF出力をOFFしたときの電流波形を同時に示してある。電流波形にはCTの有限なインダクタンスによる、約3%/20 μ sのドループがある。図2では電流波形の変化が目立たないため、RFがONとOFFでの電流の差をとって図3に示した。

図3において、電流の差をとった波形の14 μ sと62 μ s付近に見られる細いピークは、ビームパルスの開始と終了に対応する。電流は負の値で表示されているため縦軸の正の側で電流が減少となる。図からRFパルス開始のタイミングで一旦階段状に電流が約0.8mA (約0.4%) 減少し、その後RFパルス終了までに指数関数的に約2.2mA (約1%) 増加、さらに

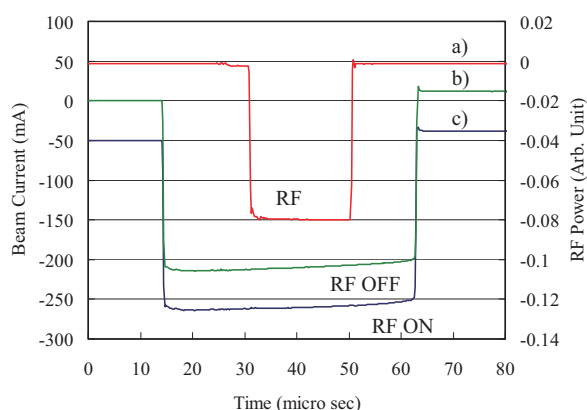


図2. CT1での電子銃引き出し電流波形の比較。a) タイミングの参考にクライストロン1号機出力RF波形、b)RFがOFFの時の電流波形 (-50mAオフセット表示)、c)RFがONで加速時の電流波形。

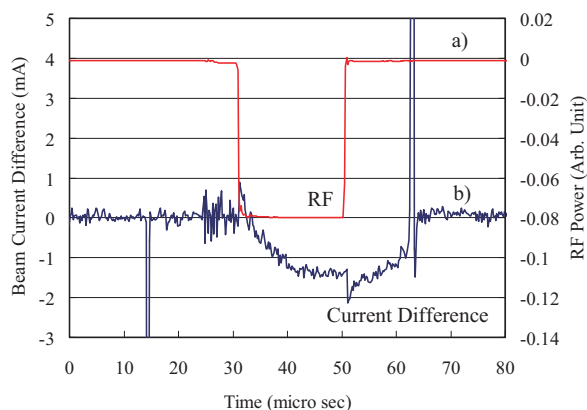


図3. RFのタイミングと、RFがONとOFFとの間の電子銃引き出し電流の差。a)クライストロン1号機出力RF波形、b)図2のRFがONの電流波形からOFFの電流波形を差し引いた結果。

RFパルス終了時に階段状に増加、そしてRFパルス終了後は減衰し、ビームパルス終了時に電流がなくなっていることが分かる。

RFパルスの開始時と終了時に生じている階段状の電流波形変化は、RFがONの間に下流で逆加速され逆行してきた電子ビームによる矩形のパルスが存在し、それが重畳しているため電流値が減少していると考えられる。さらに、RFパルス開始から指数関数的に電流が増加し、約12 μ sで2.2mA増加して飽和している様子が見られるのは、バックボンバードメントによる電子銃引き出し電流の実際の増加と考えられる。その後カソード交換までの1年間で徐々に飽和値が増加し、8mA (4%) にまで達した。

CT1はプリバンチャーの上流にあるため、RFで逆加速されたビームによって電子銃引き出し電流増加が生ずるなら、そのビームはプリバンチャー、バンチャー、あるいはその後の加速管に由来する。そこで、電流増加の振る舞いがバンチャー直前のML3の励磁電流に依存するかを調べた。ML3の下流から戻るビームが影響するなら、ML3の集束力の変化によりバンチャーを通過するビーム電流とともに、バンチャーから戻るビーム電流も変化し、電流増加の振る舞いが変化すると考えられた。ML3の励磁電流を0.35Aから1.4Aまで1.4倍ずつ変化させた結果を図4に示す。正規の使用励磁電流は0.7Aである。0.35Aでは増加が少なく、矩形パルス成分も小さい。0.7~1.0Aで電流増加が最大となり、1.4Aではほぼ増加がなくなり矩形パルス成分も目立たなくなっている。この結果から、少なくともバンチャーから後の部分で逆加速されて戻ってくるビームが存在すること、またそのビームによる電子銃引き出し電流の増加が起きていること、が明らかであると言える。

3. バックボンバードメントの効果

熱陰極DC電子銃においては、通常はカソードを

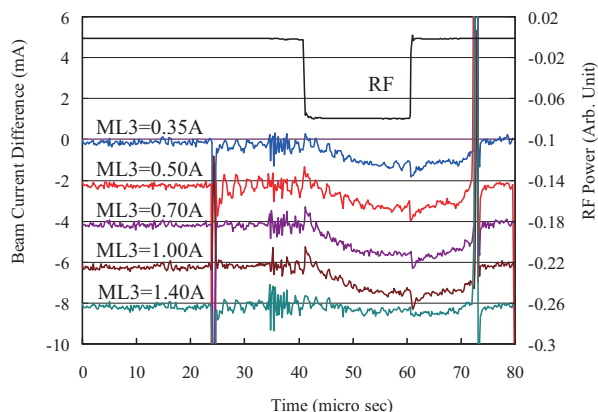


図4. ML3励磁電流による電子銃引き出し電流増加の変化。励磁電流を0.35Aから1.4倍ずつ変更し、RFがOFFの時の電流との差を得た。1.4Aではほぼ電流増加がなくなった。通常の電流値は0.7A。

温度制限領域ではなく空間電荷制限領域で動作させ使用する。この条件ではカソード温度が十分高く、その温度が多少変化しても動作への影響は無視でき、カソード表面付近の電界で引き出し電流が決まる。日大リニアックでもカソードはこの条件で使用している。

引き出された電子ビームのうちバンチャーまたは後段の加速管で逆加速され、ビーム集束系を逆行しCT1まで到達した電子ビームは、エネルギーは不明だが電流値では0.4~0.5%程度となることが分かった。しかしこれが実際に電子銃カソードまで到達しても、カソードはほぼ空間電荷制限領域で動作しているため、理想的にはカソード過熱による引き出し電流の増加は起こり難いと考えられる。従って次に電流増加の原因として考え易いのは、グリッド衝撃によるグリッド放出電流の発生である。

日大125MeVリニアックの電子銃引き出し電流波形に現れた変化は、バックボンバードメントがグリッド放出電流を発生させた結果と考えることもできる。RFパルス終了後の増加電流の減衰は、電子衝突による過熱領域が元の温度に戻る際の現象と考えられる。しかし、図3からも明らかのように、減衰途中でグリッドパルス終了と同時にこの電流もなくなっている。この振る舞いはどちらかと言えばカソードのバックボンバードメントに起因すると考える方が理解し易い。

このカソードアセンブリを2006年12月に交換のため取り外した際に、カソード表面を撮影した写真を図5に示す。カソード直径は7mmある。カソード中央部のグリッドメッシュにはカソード含浸物質であるBaO等の無色透明の物質が、電線に付着した雪のように大量に蓄積していた^[2]。周辺部ではその量が極めて少なく、使用初期のグリッドメッシュの状態

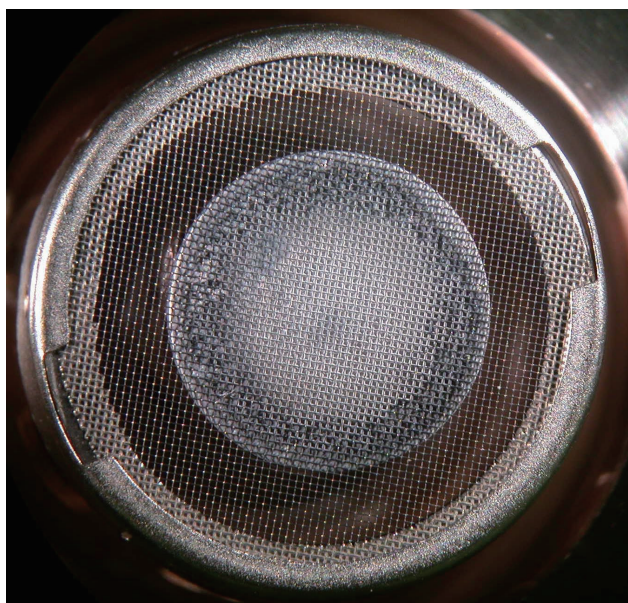


図5. 取り出したカソードアセンブリの写真。カソード面の中央部と周辺部の状態が異なって見えるのは、グリッドメッシュ中央部に主に蓄積したカソード含浸物質が寄与している。

をほぼ維持していた。このように長期使用の間にグリッドメッシュの状態が大きく変化しているが、バックボンバードメントの効果がどこに現れていたのかはまだ明確ではない。

2年半使ったカソードを新しいものに交換してからは図3、図4のような電子銃引き出し電流の増加は生じていない。しかしCT1における電子銃引き出し電流のML3励磁電流依存性を調べると、図6のようにやはり最大約1mA (0.5%) の逆行電子ビームの存在が明らかとなった。従って、使用時間の長期化により再び電流増加が生ずる可能性が考えられる。

4. まとめ

熱陰極DC電子銃の引き出し電流に観測された1~4%のパルス内電流増加は、バンチャー以後で逆加速されたビームの存在が確認されたことから、バックボンバードメントが原因と考えられる。この電流増加は約12μsでほぼ飽和したが、FELの発振には必ずしも無視できない変化である。しかし、それが具体的にどこを過熱した結果であるのか、これまでの測定結果からは定かでない。交換後の新しいカソードでは電流増加が観測されていないが、明らかにバンチャー側からの逆行ビームがやはり同程度存在することが確認された。この結果から、電流増加の有無はカソードとグリッドの状態に依存する可能性が示唆されるが、使用による状態変化の寄与が考えられ今後長期間での変化を追跡する必要がある。また、これに関連しビームパルス全体の波形について、その平坦度の長期的変化を調べることも課題である。

参考文献

- [1] K.Kanno et al., Proceedings of the 26th Linear Accelerator Meeting in Japan (Tsukuba, Aug. 1-3, 2001) 73.
- [2] J.L.Cronin, IEE PROC. Vol. 128 (1981) 19.

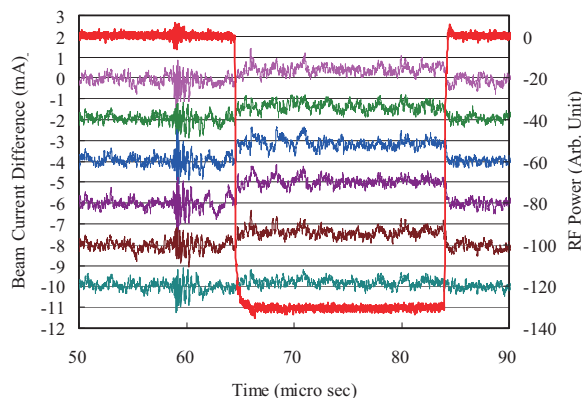


図6. 交換後のカソードでの、図4と同様CT1におけるビーム電流のML3励磁電流依存性の測定結果。矩形波形はRFパルス。上から励磁電流0~1.5Aまで0.3A毎 (2mAずつオフセット表示) の、RFがONとOFFとの間のビーム電流の差。