

PULSE SHAPE MEASUREMENT OF ULTRA LOW INTENSITY ELECTRON BEAMS

Ryoichi Taniguchi, Yukio Tanaka, Takao Kojima and Shuichi Okuda
 Radiation Research Center, Osaka Prefecture University
 1-2 gakuen-cho, Sakai, Osaka 599-8570, Japan

Abstract

Energy spectrum and pulse shape of ultra low intensity electron pulsed beams were measured by the use of high sensitivity NaI(Tl) scintillation beam monitors developed for this purpose. The pulse shape of sub pC beams, which were generated from low temperature cathode of the electron gun, were observed to split into two pulses. The pulse height of later pulse did not change by the temperature control of the cathode and the energy spectrum was found to be broad extremely. The later pulse of the double pulse was considered to be a main part of dark current of the electron linear accelerator.

超微弱電子線パルスの波形測定

1. はじめに

電子線形加速器から出力される電子線パルスは、通常 1 パルスあたり 10^{13} コ程度の電子を含む。本研究ではこれを微弱化し、最終的には単一電子を取り出すことをめざしている¹⁾。

このようにして取り出された高エネルギー電子は、RI等からの線とは異なり、

- ・ 方向が揃い、
- ・ エネルギーが単色であり、
- ・ 明確な時間原点を持っている。

このため、検出器、特に放射線画像検出器の感度校正、方向依存性の評価、半導体集積回路のソフトウェアの評価等に大きな威力を発揮すると考えられる。また、いわゆる精密放射線生物影響の研究にも寄与するものと考えられる。

加速器からの電子ビームを微弱化するには、図 1 に示すように

- A)カソードのヒータ電流を絞って温度を下げる。
- B)グリッドパルサーのパルス幅を狭くする。
- C)加速管に入る RF パルス幅を短くする。
- D)狭いスリットを挿入する

という大きく分けて 4 種類の方法が考えられるが、本研究では、これらを併用することで、1 パルスあたり数 aC という微弱パルスが得られている¹⁾。しかし、余りに細いスリットを用いた場合、小角散乱成分、2 次線の比率が高まり、取り出したビームの単色性、指向性、S/N を著しく悪化することが懸念される。そのため電子銃の段階で微弱化されていることが最も望ましいが、単純にカソードの温度を下げることでビームの微弱化を図った場合、数十 fC/pulse 近辺で微弱化の限界に

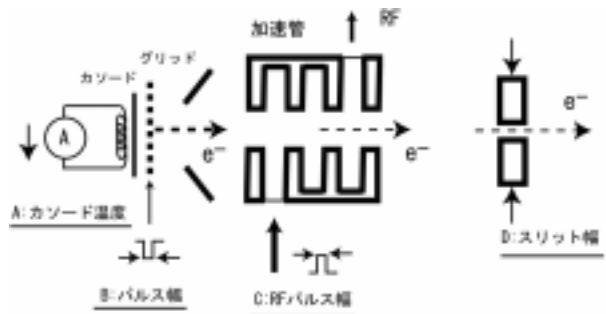


図 1 電子線形加速器ビームの微弱化法

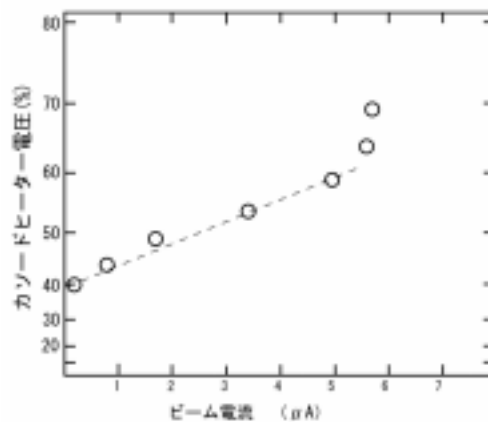


図 2 電子銃のカソードヒータ電圧とビーム電流の関係

達した。これは、カソードから出力される電子以外の、起源が不明の低エネルギー電子がパルス中で多数となったためであると推測された²⁾。図2にヒータ電圧とビーム電流の関係を示す。図のように通常の強度のビームでは、ビーム電流はヒータ電圧と2次の関係を持っている。このため図の縦軸で40%以下では、ゼロに近い電流であると予想されるが、現実には、数十fC/pulseのビームが、ほぼコンスタントに流れている。この暗電流の起源を調べるために、微弱ビームのエネルギースペクトルとパルス波形を観測することを試みた。ただし、pC/pulse以下のレベルの超微弱ビームでは電荷量の測定すら困難であり、エネルギースペクトル、パルス波形を測定することは、さらに困難となる。そこで本研究では、放射線パルス計測に用いるNaI(Tl)シンチレータに直接電子線を照射することでビーム波形とエネルギースペクトルを測定することを試みた。

2. エネルギースペクトル

図3にエネルギースペクトルの測定体系を示す。微弱化した電子ビームをマグネットで偏向した後のビームのプロフィールをNaI(Tl)シンチレータ板(50 × 1 mm)と高感度の冷却型CCDカメラを組み合わせて測定した。このプロフィールモニターは十分な測定時間をとればfC/pulse以下の超微弱ビームの測定も可能であった³⁾。

マグネットの電流を変化させ、得られた数枚のビーム画像をつなぎ合わせ、輝度分布を数値化することでエネルギースペクトルを得た(図4)。

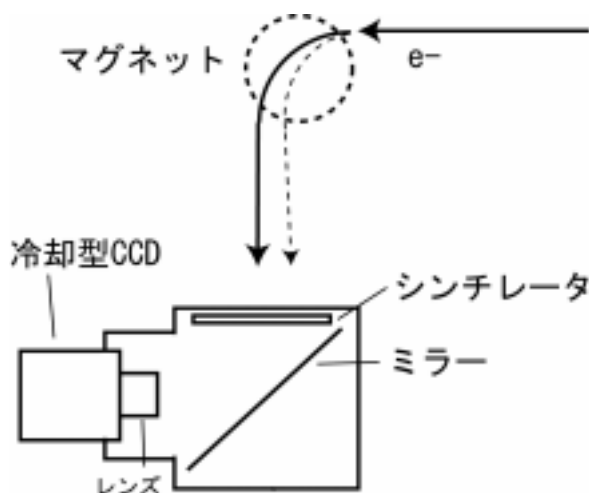


図3 NaI(Tl)シンチレーションスクリーンと冷却型CCDカメラを用いた高感度ビームプロフィールモニターを用いた微弱ビームのエネルギー

エネルギースペクトル測定装置

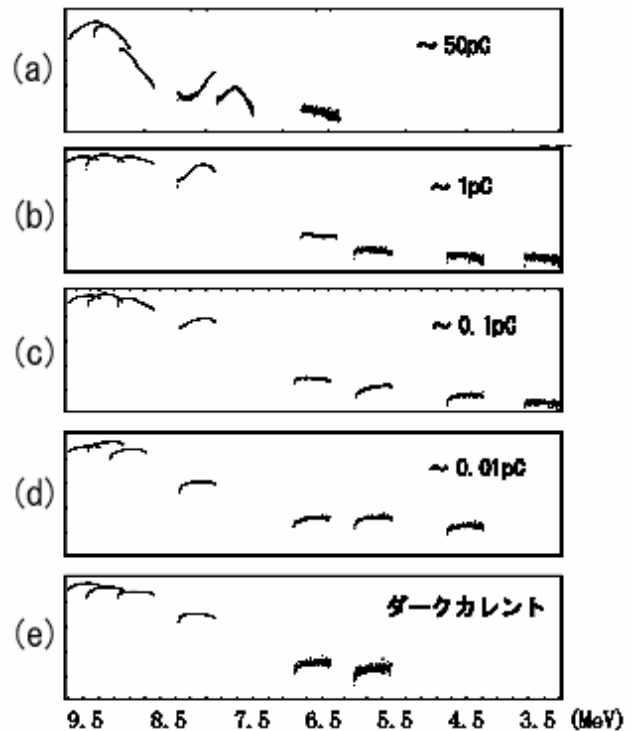


図4 ビーム電流の変化とそれに伴うエネルギースペクトルの変化

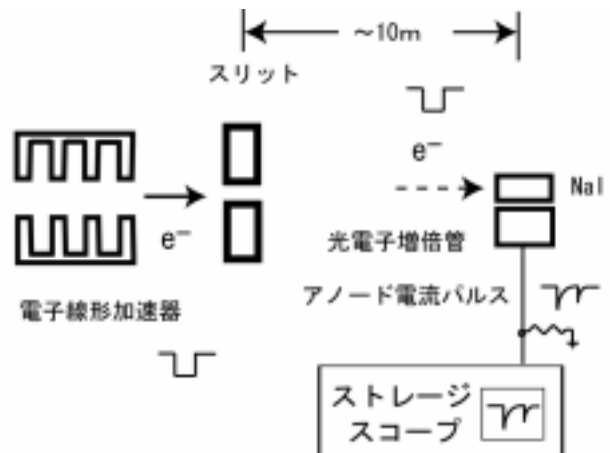


図5 NaI(Tl)シンチレーション検出器を用いた微弱電子ビームのパルス波形計測体系

図の横軸はエネルギー、縦軸は輝度(電流値)を対数で示している。実験では、電子銃のヒータ電流を絞ってビームを微弱化し測定した。ここではスリットによる微弱化は行っていない。図のように数十pC/pulse程度のビーム(図4a)に比べて、pCオーダーのビームではエネルギーの広がりが

大きくなることが観測された。ところが、さらにビームを絞っても、それほどエネルギーの広がりには変化しない。また0.01pC/pulseよりも微弱化した場合、図4(e)に示すダークカレントのスペクトルと同じ分布となり、電荷量もそれ以上微弱化することはできなかった。

3. パルス波形

一方、パルス波形の測定は、図5に示すような測定体系で行った。ここでは、通常の放射線パルス計測に用いる5cm × 4cmのNaI(Tl)シンチレータに、スリットで微弱化した微弱ビームを直接照射し、そのときの光電子増倍管のアノード電流波形をストレージスコープで観測した。図6にその結果を示す。各波形の測定においては光電子増倍管の高圧電源の値をそれぞれ変化させている。図のように微弱化に伴い電流パルスは、パルス前面の立ち下がり部分と後端の立ち上がり部分に別れる傾向が見られる。前半部分は、電子銃のエミッションを絞ることで小さくなるが、後半部分は、それほど変化しないことが注目される。

4. 考察

次に、この微弱化したビームに加えて、加速管に加えるRFパルスを短くしてビームを微弱化した結果を図7に示す。図7(a)は0.1pCのビームを示すが、波形は2つのパルスに分かれている上に、エネルギースペクトルは5MeV近くの幅で広がっていることが分かる。この状態から、さらにRFパルスのパルス幅を短くし、電子パルスの後半部分を削った結果、微弱ビームの後半部分の鋭いパルスが消えると同時にエネルギースペクトルの広がりが大幅に改善した。このことは、微弱ビームにおけるエネルギースペクトルの広がり、パルス波形で見られる後半部分のパルスが原因であることを意味している。同時に、2重化したパルスの後半部分が暗電流の主たる成分であると考えられるが、図7の結果は、この暗電流の起源を示す大きなヒントでもある。

- (1) この部分がRFパルスの短縮によって消去可能ということは、この暗電流がRFパルス由来ではないことを示している。すなわち、加速管あるいはバンチャー内面からの、RF電場による電界放出ではあり得ないということである。
- (2) 暗電流の発生場所としては、電子銃が最も可能性が高いと考えられる。

本加速器では電子銃にパルス高圧を印加しており、2重化したパルスの後半部分はその立ち下がり

り部分に相当する。このことから、現時点では暗電流はアノードの先端部分から逆電圧によって放出された電界放出電流である可能性が最も高いと考えられる。

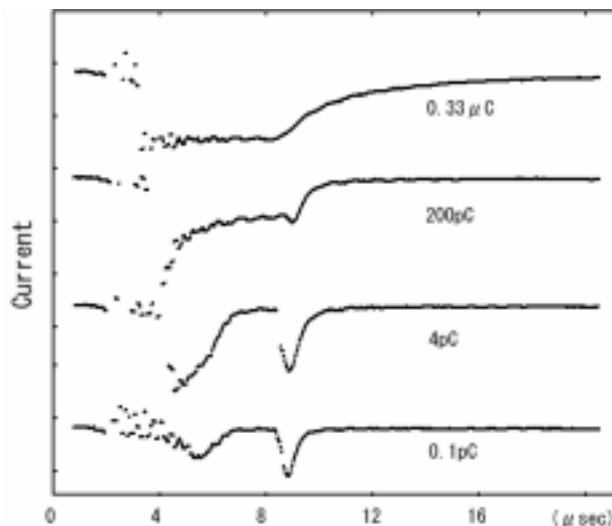


図6 微弱化に伴うパルス波形の変化

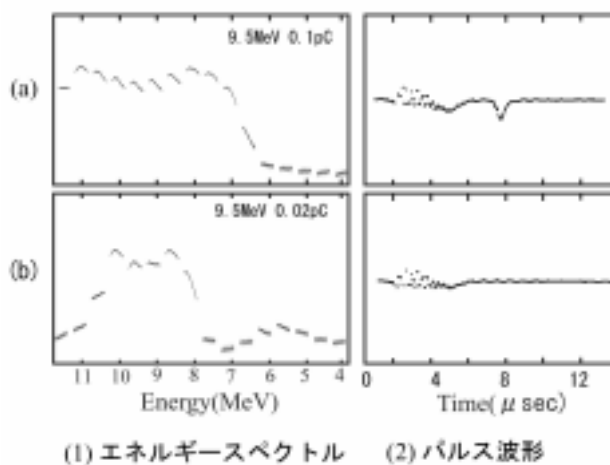


図7 RFパルス幅を変化させた時の、微弱ビームの波形とエネルギーの変化
(a)RFパルス短縮前 (b)RFパルス短縮後

[参考文献]

- [1] 「超微弱ライナック電子線の計測」、谷口他、第2回日本加速器学会予稿(2005) pp 474-476
- [2] 「超微弱パルス電子ビームの電荷計測」、谷口他、第43回原子力学会年会予稿(2005) B45
- [3] 「電子線ライナックの超微弱ビーム特性」、谷口他、原子力学会秋の大会予稿(2005)