

PULSE PROFILE MEASUREMENT OF ULTRA LOW INTENSITY ELECTRON BEAMS BY USING A TWO-DIMENSIONAL TLD

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

Abstract

A high sensitivity thermo-luminescence (TL) imaging system has been developed for the application to the measurement of electron beam profiles. This system consists of a two-dimensional photon counter, a programmable heater and TL dosimeter (TLD) sheets. The system has been successfully applied to the measurement of the profile of ultra low intensity pulsed electron beams. The position of the single photon of TL emitted from the sheet can be detected.

2次元TLDによる超微弱電子線パルスの空間分布測定

1. 緒言

加速器により人工的に作り出される電子線は、放射性同位元素から発生するものに比べエネルギーや方向を精密に制御できる。そのため物質の電子線照射効果を様々な照射条件において調べることができる。しかし、一般に加速器からの電子線は強すぎる場合が多い。例えば1 μ Aのビームには、1秒間に 6.25×10^{12} 個の電子が含まれる。加速器で微弱な電子線を発生させることができれば、低い線量での照射が可能になり、放射線検出器の応答解析や生物細胞の照射効果など、多くの研究への応用が可能となる。

我々のグループでは、これまで電子線形加速器で微弱ビームの発生を試みてきた¹⁾。その結果、現在までに1マクロパルスあたり1fC以下の微弱ビームが得られている。微弱化された電子線の線量を測定するのは技術的に困難であった。そこで本研究では、通常の加速器に比べて6桁から9桁弱い微弱電子線をシート状の熱蛍光線量計(TLD)に照射して、その応答を2次元的に画像として取り出すシステムを開発した。電子線に対するTLDの応答を解析し、電子線の線量測定に利用するとともに、高感度ビームモニターとしての利用可能性を検討した。

2. 実験方法

2.1 微弱電子線の発生

微弱電子線の発生には、大阪府立大学・産学官連携機構の電子線形加速器を用いた。この装置の概略を図1に示す。微弱化の方法としては、電子銃部のカソードヒータの電流を弱めて電子の入射数を減らす、スリットで電子ビームを絞る、などが考えられる。後者でビームを極端に絞ると制動X線などの成分が増加するので、本研究では主に前者の方法を用いた¹⁾。

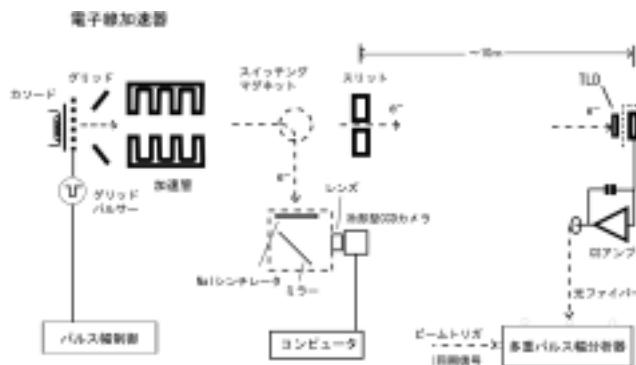


図1：微弱電子線発生概略図

電子線のエネルギーと電流の調整は、スリットの手前でビームを曲げた状態で行った。試料に照射する場合はスリットを通し、ビームを絞って照射した。また、電子線プロファイルの測定は、NaIシンチレータと冷却型CCDカメラを組み合わせで行った²⁾。得られたエネルギースペクトルの例を図2に示す。

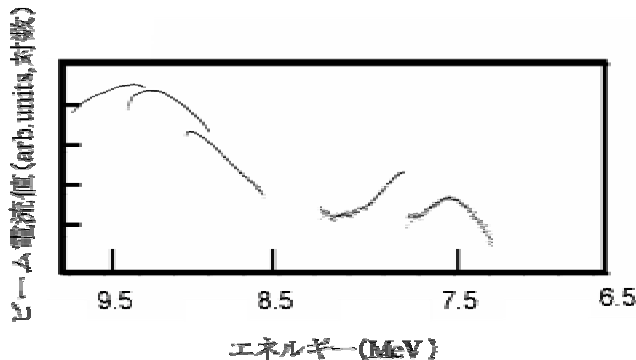


図2：電子ビームのエネルギースペクトル²⁾

この図からわかるように、電子線を微弱化した場合に約9.5 MeVのところピークが認められた。

2.2 2次元光子計数装置

本研究では光子の検出に2次元光子計数装置を用いた。この装置での測定原理を図3に示す。

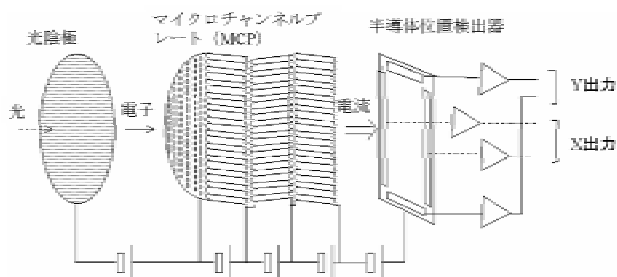


図3：2次元光子計数装置での測定原理

光陰極に光子が入射した際に光電子が放出され、は3段接続のマイクロチャンネルプレート (MCP) で 10^7 倍程度に増幅され、後面の位置有感半導体検出器に入射する。この検出器では対面する電極を2組直交させ、MCPからの電子の2次元位置をこれらの出力比から計算する。この位置信号はコンピュータに送られ、メモリー上に再配列される。この計数データを多数蓄積し、輝度分布による画像が得られる。

2.3 TLの測定法

本研究で用いたTLDはBaFX : Eu^{2+} (X = Cl, Br, I) を主材料としており、大きさ2.5 cm×2.5 cmのシートに表1に示す照射条件で電子線を照射した。照射後、図4に示す2次元読み出し装置を用いてTLの分布を測定した。

表1：電子線の照射条件

エネルギー	電荷量(pC)
6 MeV	0.7
	9
	108
10 MeV	1
	12
	127

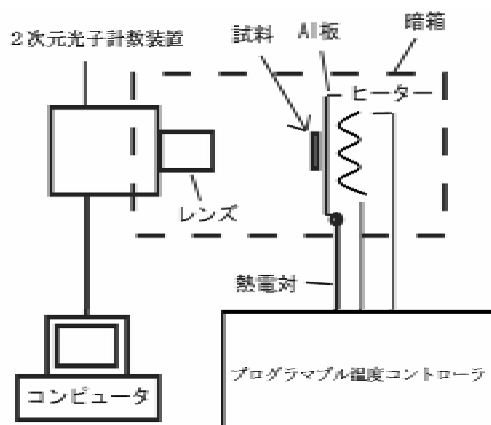


図4：2次元TL読み出し装置の概略図

図の装置では、暗箱内でTLD試料を昇温しながら、同じく暗箱内に設置した2次元光子計数装置で発生する光子の数と位置を計測し、画像化する。温度は、Al板に取り付けた熱電対で測定した。本研究では、試料を室温から約200 まで一定の速度で昇温しながら、6回に分けて5分毎にTL画像を測定した。

3．実験結果

本実験で得られたTL画像の例を図5に、発生した光子数のグローストグラムを図6に、昇温に伴うTL画像の変化を図7に示す。

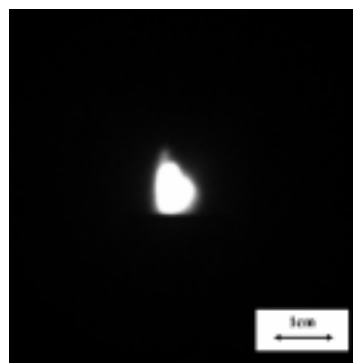


図5：電子線照射による2次元TL画像の例
(電子線照射条件：10 MeV, 127 pC)

図5に示すTL画像の中央部に認められる直径約5 mmの白いスポットは、電子線照射によるものである。このTL画像は微弱電子線の線量分布に対応している。

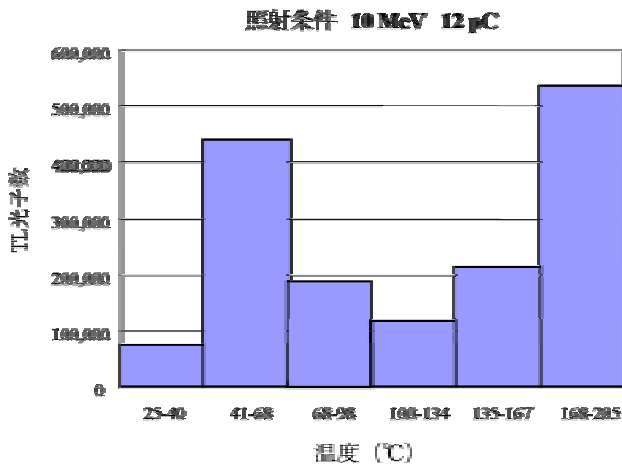


図6：TL値のグローヒストグラム
(電子線照射条件：10 MeV,12 pC)

図6に示されるように、温度が41-68 と168-205 の場合にが現れているが、それぞれの測定時のTLDシート上での光子の発生位置は、前者では主に電子ビームの照射部から、後者ではTLDシート上全体からであることがわかった(図7)。

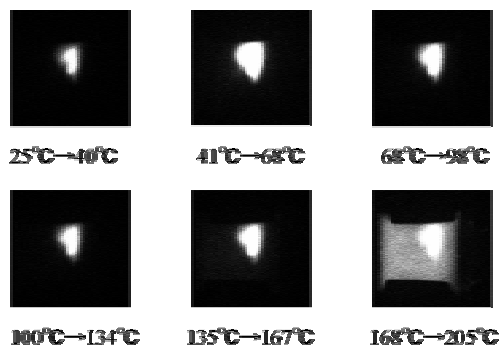


図7：昇温に伴うTL画像の変化
(電子線照射条件：10 MeV,12 pC)

後者のピークは電子線照射には起因しないと考えられる。電子線照射による正味の発生光子数を求めるために、ほぼ40-70 の温度範囲における照射スポットで発生した光子数の値から、同じ面積における、照射されていない場所で発生した光子数の値をバックグラウンドとして差し引いた。この値と電子線の電荷量との関係をいくつかのTLD試料について求め、電子線のエネルギー10 MeV, 6 MeVに対してまとめた結果を図8に示す。

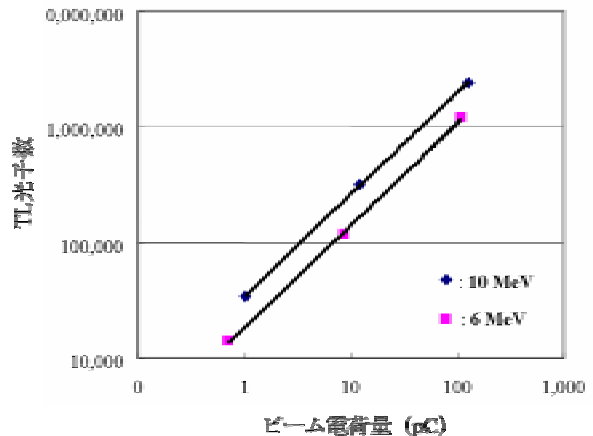


図8：電子ビームの電荷量と光子数の関係

4. 考察

図8からわかるように、電子ビームの電荷量1 pCから100 pCの間で電荷量と発生したTL光子数との間には線形関係があり、少なくともこの領域では高感度のビームモニターとしてこの測定系が利用できることが明らかになった。また、光子数はエネルギーによる差があり、10 MeVでは6 MeVの場合の約2倍である。この差は、TLD中で電子線が失うエネルギーの差からは説明できない。この結果は、高エネルギー電子線によるTLの励起には、低エネルギーのX線や電子線とは異なったプロセスが関与している可能性を示唆している。この現象の解明のため、より詳細な実験を行う。

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) pp474-476
- [2] 「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)