

[P8-43]

## A Study of Measurement of the Emittance of the Electron Beam using the X-ray Camera

Yasuto KATOH, Nobuhisa TONOMURA, Yoshihiro ITO, Satoshi TOMIOKA and Takeaki ENOTO

Division of Quantum Energy Engineering, Graduate school of Engineering, Hokkaido University

Kita-13jo Nisi-8chome Kita-ku Sapporo, Hokkaido, 060-8628, Japan

### ABSTRACT

According to taking the braking X-ray from a target of the lead by the ultra high speed X-ray framing camera, we have measured the emittance of the electron beam from Hokkaido University 45MeV LINAC. By taking the 45MeV LINAC for the synchronization the shutter ring, the measurement of the emittance of every bunch of the electron beam using the pin-hole is possible, because the X-ray framing camera has the high temporal resolution ( $\sim 100$ ps) and the high spatial resolution ( $5\sim 10\mu\text{m}$ ). We have designed the pin-hole in order to form the X-ray image into image.

### X線カメラによる電子線のエミッタンス測定の研究

#### 1. はじめに

高エネルギー物理現象の解明、光科学反応、医療など様々な分野へ幅広く利用されている電子線加速器は、ビームの特性の一層の安定化、高品位化が要求されており、そのためビーム位置、スポットサイズ、パルス時間波形、エミッタンス、エネルギー分布等計測するビームモニターの改良が必須とされている。

遷移放射光の可視部を高速ゲートカメラで測定することによりマイクロパルス内のプロファイルを測定することが可能である。しかし、ビームサイズが  $200\mu\text{m}$  以下になると可視光による測定では回折の影響が大きくなり、波長のより短いものを用いないと測定が困難である。

本研究室で試作した超高速 X 線フレームカメラは、時間分解能  $100\text{ps}$ 、空間分解  $5\sim 10\mu\text{m}$  であり、現在、MCP(Micro Channel Plate) の非線形効果を用いた時間分解能やシ

ャッターリングの同時刻性の改善を試みている。時間分解能が  $50\text{ps}$  が達成されたら、本カメラを用いることで、2,3 のパルスの積分値でバンチ形状の測定も可能となる。

45MeV ライナックからの電子ビームを鉛のターゲットに当て、そこからの制動放射 X 線を本カメラで取り込む際に、カメラの X 線用光電面材料や X 線光学系 (ピンホール) の検討が急務となるので、定常動作に於いてターゲットからの制動放射 X 線測定を行った。

#### 2. X 線フレームカメラの構造

X 線フレームカメラは X 線光学系・X 線増幅素子・高感度撮像系・画像処理系からなる。X 線増幅素子はゲーティング用制御電極並びに MCP(Micro Channel Plate) を支持材とし Au 蒸着した X 線用光電面 MCP・増幅用 MCP・蛍光面を接近して配置した構造となっている。

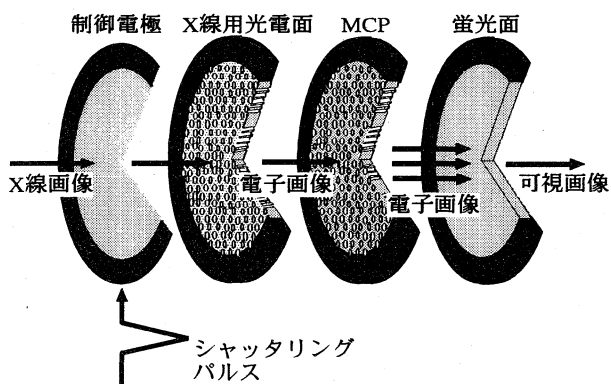


図 1 X線増幅素子動作原理

X線画像はX線用光電面により電子画像に変換され、増幅用MCPにより $10^4$ 程度まで増幅した後、蛍光面にて可視画像に変えられ、後段の高感度撮像管系、画像処理系へと取り込まれる。

X線増幅素子の動作原理を図1に示す。シャッターリング動作は通常は電子画像が増幅用MCPに入力しないよう逆バイアスを印加しておき、極短時間だけ加速電界をパルスにより形成し、この間だけ電子画像は増幅用MCP、蛍光面に到達させ実現している。このシャッターリングパルスを光電面に印加するのではなく、その外側に設置した制御電極に印加することにより100psと言う高時間分解能を達成している。

### 3. 実験体系

北海道大学大型ライナックを用いて、電子ビームを鉛ターゲットに照射し、得られる制動放射X線をX線フレームカメラにより記録した。LINACの運転条件はパルス幅10ns、繰り返し10pps、エミッション電圧3Vである。今回の実験体系を図2に示す。また、得られたX線画像を図3に示す。

ターゲットの鉛はビーム出口200mmのところ、ターゲットから340mm離れたところにX線増幅素子を、その後ろに高感度撮像管を設置した。

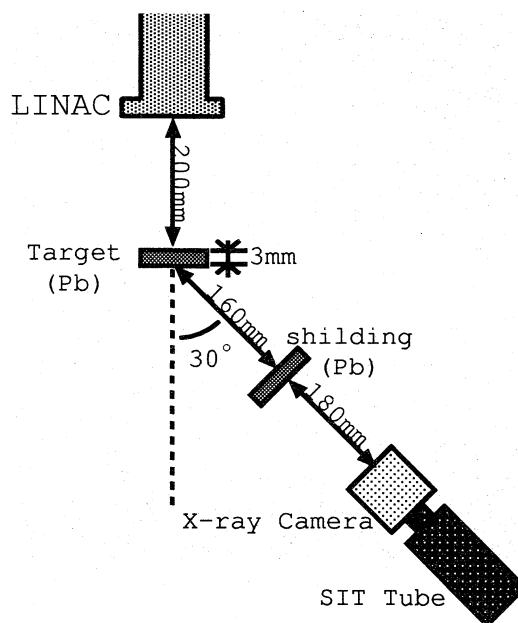


図 2 実験体系

X線を用いたエミッタンス測定としては、ピンホールによる方法が最も多く行われている。ピンホールを通過してX線源からの像がX線用光電面に倒立像として結像される。この像はX線源のどの点からどんな角度で放射されたものかを示している。このピンホールを垂直にずらしながら同じ測定を行い、得られたデータを処理することによりエミッタンスが得られる。

よって、ピンホールによる結像が重要課題となる。しかし、LINACからの制動放射X線の強度が高いため、最適なピンホールを作成するため、X線の遮蔽効果を調べるため厚さを変えた鉛板を用意し、通過した来たX線をX線フレームカメラを用いて撮像し、得られた画像データより減弱曲線を求めた。

### 4. 実験結果

ターゲットとX線増幅素子の間に、厚さの異なる鉛板を置き、そのときの遮蔽効果を取得したX線画像により調べた。

図4に鉛板をの厚さを0.0,0.3,0.6,0.9,1.2,1.5cm

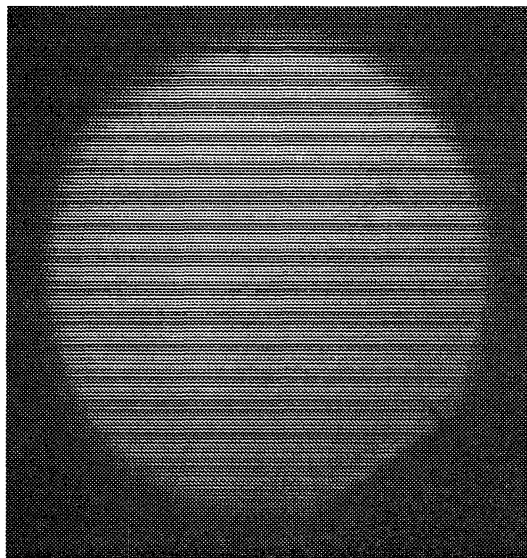


図 3 X線画像

と変えたときの減弱曲線を示す。縦軸は規格化した画像内の輝度(X線強度)、横軸は遮蔽用鉛の厚さを示す。また、最小自乗法を用いて指数関数にフィッティングしたものを実線で示す。遮蔽がないときと遮蔽用の鉛の厚さが0.9cmまでは、ほぼ指数関数的に減少して来ている。

入射 X 線を単一エネルギーで狭い平行な線束と仮定すると、最小自乗法の結果より、線減弱係数は約  $1.91[\text{cm}^{-1}]$  となり、全質量減弱係数は  $0.168[\text{cm}^2/\text{g}]$  となる。

減弱曲線より第二半価層が約 0.7cm、第三半価層が約 1.1cm となり、このことを考慮し、製作の都合上、ピンホールの厚さを 0.9cm と決めた。

## 5. おわりに

今回のデータを基に、実際にピンホールを作成し、焦点距離から得られる露光時間と遮蔽効果を考慮し、X線源、ピンホール、X線フレームカメラを設置し、X線像を結像させる。

今回使用した X 線増幅素子の X 線用光電面は MCP に Au 蒸着したのもであり、感度領

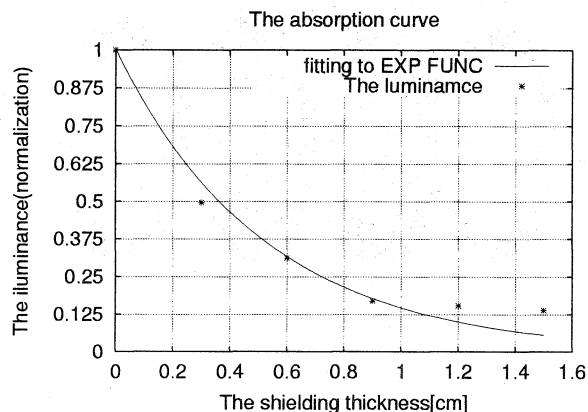


図 4 減弱曲線

域は 1~数 10keV と軟 X 線に感度を有している。X 線用光電面材料を選ぶことにより、特定領域の X 線画像の取り込みが可能となる。

また、本研究室では電子ビームの作る定在波分布測定や高精度ビームポジションモニターを複数個組み合わせたビームプロファイルモニターの研究を進めており、これらと X 線フレームカメラを併用して、電子ビームのビーム位置並びにプロファイルの複合計測が可能となる。

## 参考文献

- [1] Y.IWASE et al. "MEASUREMENT OF THE EMITTANCE AND TWISS PARAMETERS OF THE ELECTRON BEAM FROM THE ISIR L-BAND LINAC", Proc. of the 21nd Linear Accelerator Meeting in Japan, pp.108-110, 1996
- [2] D.K.Bradley et al. "Development and characterization of a pair 30-40 ps x-ray framing cameras", 1995 American Institute of Physics, Rev.Sci.Instrum., Vol.66, No.2, Jan.1995, pp.716-718, 1995
- [3] 加藤 靖人 他, "超高速フレームカメラの MTF 測定の解析", 超高速撮影とフォトニクスに関する総合シンポジウム 1997, pp.427-430, 1997