

## DEVELOPMENT OF A MICROBEAM SCANNING SYSTEM

Ryohei Oyama<sup>1,A)</sup>, Keizo Ishii<sup>A)</sup>, Hiromichi Yamazaki<sup>B)</sup>, Shigeo Matsuyama<sup>A)</sup>, Yu Kawamura<sup>A)</sup>, Azusa Ishizaki<sup>A)</sup>,  
Kazumasa Inomata<sup>A)</sup>, Yoshito Watanabe<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> Department of quantum science and energy engineering, Tohoku University  
Aramaki-Aza-Aoba 6-6-01-2, Aoba-ku, Sendai 980-8579

<sup>B)</sup> Division of Radiation Protection and Safty Control, Cyclotron and Radioisotope Center, Tohoku University  
Aramaki-Aza-Aoba 6-3, Aoba-ku, Sendai 980-8578

### Abstract

High energy ion microbeam is a powerful analytical tool by combining various ion beam analysis techniques and is also attractive as a direct lithographic technique. We have developed a microbeam scanning system which is indispensable to these purposes. The scanning system is composed of a set of electrostatic deflectors, HV amplifiers and a function generator. Microbeams are scanned with a corresponding scanning pattern translated from a bitmap file for an efficient irradiation. The spacing between pattern to pattern was made by moving the beam at the fastest speed of the beam scanner. The irradiation dose was monitored pixel by pixel with RBS. The technique is applicable to an efficient ion beam analysis by combining STIM image.

### マイクロビームスキニングシステムの開発

#### 1. はじめに

我々はプロトンマイクロビームを用いたマイクロ加工、イオンビーム分析の迅速化を図るために任意パターン照射システムの開発を行った。本システムではビームを一様に走査するのではなく必要な場所のみを照射し、照射不要な領域ではビームを高速で動かすことにより、照射時間の短縮を図った。これによりビーム加工では、任意形状が容易に加工できるようになる。

また、このシステムはイオンビーム分析にも有効な手段となる。細胞やエアロゾルといった非定型で散在している試料の分析においては、一様照射では照射が必要でない部分での測定時間が無駄になるが、試料の位置や形状をスキナに反映させることにより測定時間の大幅な短縮が見込まれる。さらに試料の密度に応じて照射量をもコントロールできればより効果的な分析も期待できる。

そこで画像ファイルを読み込みスキナに反映させるシステムを開発し、性能を評価した。

#### 2. スキニングシステム

東北大学のマイクロビームラインではファンクションジェネレータ(以下FG)により周波数の異なる三角波を発生させ、それを高電圧アンプにより増幅後、水平、垂直方向のスキナ電極に印加することによりビームを走査しイオンビーム分析を行ってきた<sup>[1]</sup>。この場合のスキナパターンは四角であるため、散在する試料の分析においては、試料以外の部分も照射するため、効率的な分析ができなかった。

そこで、画像ファイルデータをスキナパターンに反映させると共に、照射量などをモニタリングすることのできるシステムを開発した。システム概要図を図1に示す。このシステムは1画素を1点分の照射点とし、照射不要の領域ではスキナによってビームを高速に動かすことにより照射時間をほぼゼロにする。また、照射量もコントロールできるように、読み込んだ画素の色に対応して照射時間に差をつけるようにした。

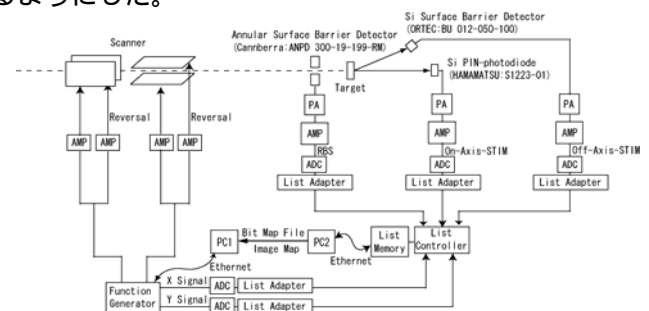


図1: スキニングシステム

これによりイオンビーム加工では、任意のパターンの加工が可能となった。またイオンビーム分析においてはDirect STIMによって得られた試料の位置、形状をイメージとして取り込みパターン化することによって散在する試料部分にのみビームを照射でき、測定時間短縮も図れるようになった。照射量のモニターは、Off-Axis STIMとRBSにより行う。Off-Axis STIMとRBSでそれぞれ、ターゲットの損傷過程、損傷過程と照射点ごとの照射量を測定できるようにした。また、照射後にはDirect STIMで照射痕を確認できる。

<sup>1</sup> E-mail: oyama@stein.qse.tohoku.ac.jp

### 3. スキャナの速度追従性

本システムでは、照射の不要な部分では高速にビームを動かして、照射量をゼロにしている。スキャン速度が遅いとこの部分での照射が無視できなくなりBeam Blankerが別に必要となる。そこで最大スキャン速度を求めるためにNiメッシュ(2000line/inch)を150 $\mu\text{m}$ の範囲で走査し、場所ごとのX線収量を求めた。図2にX線収量曲線を示す。スキャン速度にビーム位置が追従している場合にはビームプロファイルをGauss分布とすると、この形状はdoubly Gauss Convolutionとなるが、速度を上げていくと中心位置は変わらないもののピーク幅が広がっていき、速度をさらに上げるとピークが2つに分離するのが確認できる。

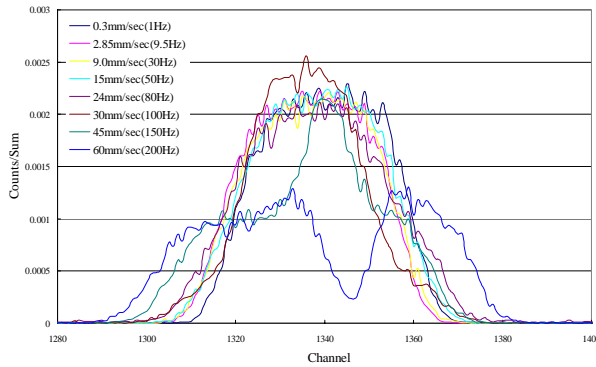


図2：ピークの崩れ

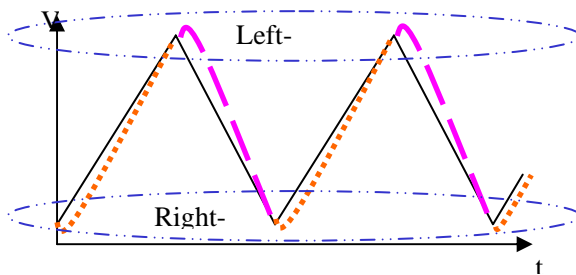


図3：三角波の崩れ

図3に示すように、これは速度が上がるにつれ、FGからの三角波と実際にスキャナ電極にかかっている電圧に差が生じているためと考えられる。この原因としては、スキャナの静電容量により高電圧アンプの応答が悪くなったことが考えられる。そこで各ピークを2つに分離し、分離したピーク位置のずれと速度の関係を検討する。図4に2.85mm/secを基準として、各々の周波数でのピーク位置のずれを示す。図4より、スキャン速度が大きくなるほど、また、スキャン領域の端にいくほどピークの分離が大きくなるのがわかる。特に45mm/secと60mm/secのスキャン領域両端ではピークが完全に分離していた。図3で示したように、ビーム位置とコントロール電圧の差が最も大きいのがスキャン範囲端であることは明らかである。ピークが分かれ始めたのも領域両

端からであった。ここで最もピークの分離が激しかった60mm/secに注目しスキャン範囲両端でのピークを図5に示してみると、分離したピークが対称的になっているのに気づく。これもスキャナ電圧が三角波から崩れてしまっていることを裏付けている。

以上、スキャナの速度追従性より、最大のスキャン速度は9.0mm/secとなった。

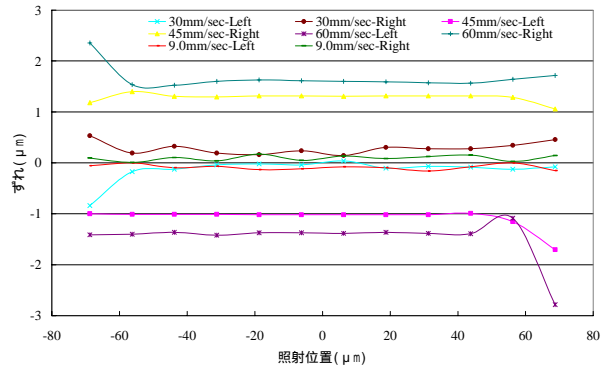


図4：分離したピーク位置のずれ

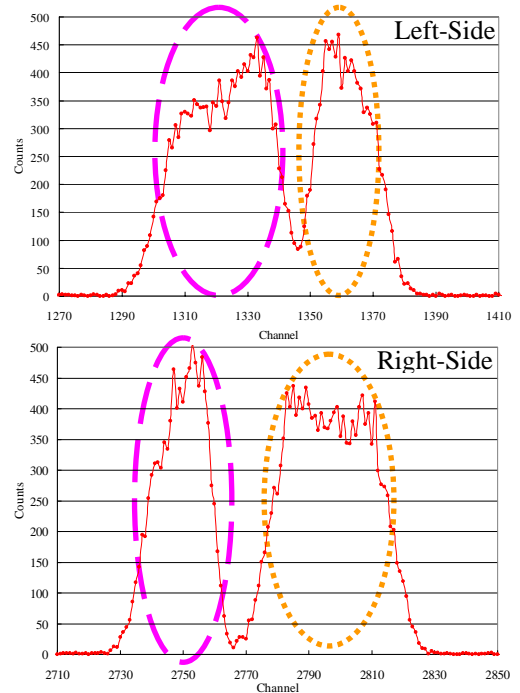


図5：60mm/secのスキャン範囲端のピーク

### 4. プロトンマイクロビームによる描画

最後に本システムを用いて薄い有機膜に絵画パターンを照射した。取り込んだ画像データの画素ごとの色によって照射時間を対応させている。照射量別の照射点を図6に示す。ビーム径は1 $\times$ 1 $\mu\text{m}^2$ 、平均ビーム電流は30pA、1照射点あたり3msecの照射時間で全照射量は600nCであった。図7にRBSから求めた照射量マップ、Direct STIMによる損傷マップ、光学顕微鏡による照射痕を示す。設定したパターンに対応して照射量が変わり、照射量に対応した損傷を

みることができた。

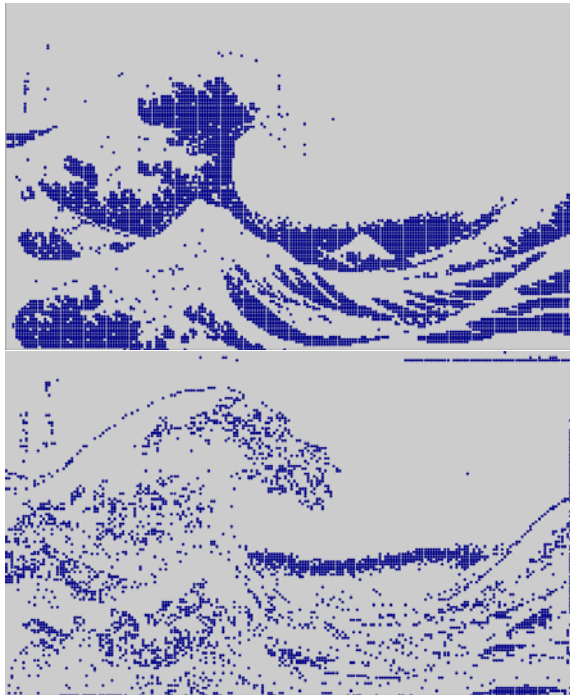


図6：色による照射点の識別  
(上:1点分3msecの照射、下:4点分12msecの照射)

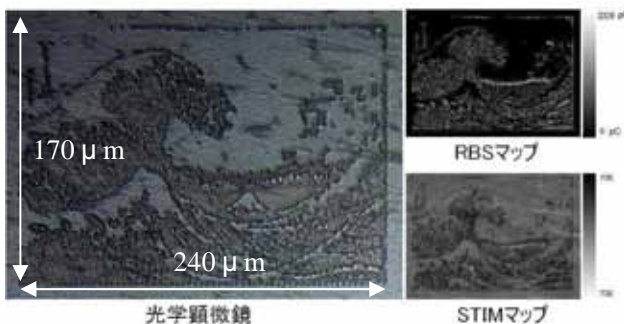


図7：絵画の照射痕とRBS、STIMマップ  
(5μm Polycarbonate film)

次にパターン間の照射量を調べるために直線の多い文字パターンを、10μmのマイラー膜に、ビーム径 $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ 、平均ビーム電流50pAで二時間照射した。図8に光学顕微鏡でみた照射痕と比較する領域を示す。照射領域( ), ビームを高速でスキャンしている領域( ), Scan範囲外( )の3つの領域を選定しDirect STIMスペクトルを比較した。それぞれのDirect STIMスペクトルを図9に示す。この領域ごとのDirect STIMスペクトルでは と の違いは認められず、Beam Blankerを必要とせず任意パターン照射が可能となった。

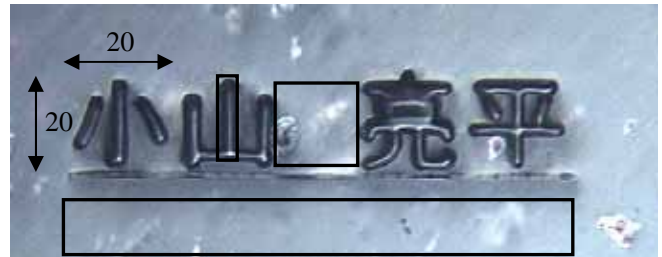


図8：光学顕微鏡でみた文字の照射痕  
(10μm Mylar film)

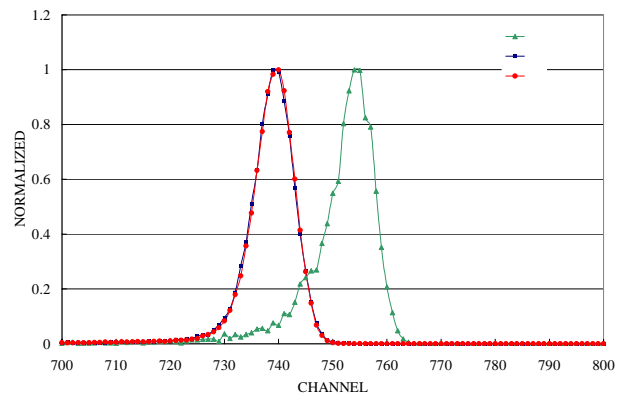


図9：照射領域別のDirect STIMスペクトル

## 5. まとめ

我々は、プロトンマイクロビーム加工とイオンビーム分析の迅速化を図るためにスキャンシステムを評価し、画像を読み込む任意パターン照射システムの開発を行った。スキャナの位置精度において、照射位置によってビーム径は影響を受けることはなかった。しかし、スキャナの電荷容量によって高電圧アンプの応答が悪くなるため、速度追従性には限界があり最大速度は9.0mm/secである。そして、本システムを用いて薄い有機膜に絵画と文字パターンを照射した。どちらのパターンも取り込んだデータを反映した照射痕、照射量マップが確認できた。照射後、Direct STIMでダメージを測定したところ照射不要な領域では、損傷は確認されなかった。よって本システムでの照射コントロールが有効であり、今後マイクロビームを用いた様々なアプリケーションの効率化が期待できる。

## 参考文献

- [1] S. Matsuyama, K. Ishii, H. Yamazaki, R. Sakamoto, M. Fujisawa, Ts. Amartaivan, Y. Ohishi, M. Rodriguez, A. Suzuki, T. Kamiya, M. Oikawa, K. Arakawa, N. Matsumoto, Nucl. Instr. and Meth. B 210 (2003) 59-64.