

マイクロビームを用いた 大気照射PIXEへの取り組み

加速器センター 石井 聡

1. はじめに

加速器を用いた微量元素分析の新たな応用手段として、マイクロサイズに加工したイオンビームを用いた大気照射によるPIXE（粒子線励起X線分析法）の可能性を試みたので報告する。

2. PIXEとは

「PIXE（ピクシー）」とは、Proton Induced X-Ray Emissionの略語で、粒子線励起X線分析法の意味である。

試料に粒子線（イオンビーム）を照射すると、特性X線が発生する。特性X線は元素固有のエネルギーを持つので、この発生した特性X線を計測することにより、試料中に含まれる元素が同定できる。

3. PIXEの原理

イオンビームが原子に衝突するとK、L殻などの内殻電子が放出され、そこに空孔が生じる。すると、生じた空孔に外殻の電子が遷移して安定状態になろうとする。この時、電子は位置エネルギーを減少させると同時に、減少した分と同等のエネルギーを放出する。この際、放出されるエネルギーが特性X線である。この特性X線のエネルギーを高感度のX線検出器によって測定すれば、その元素の同定と定量分析ができる。（図-1）

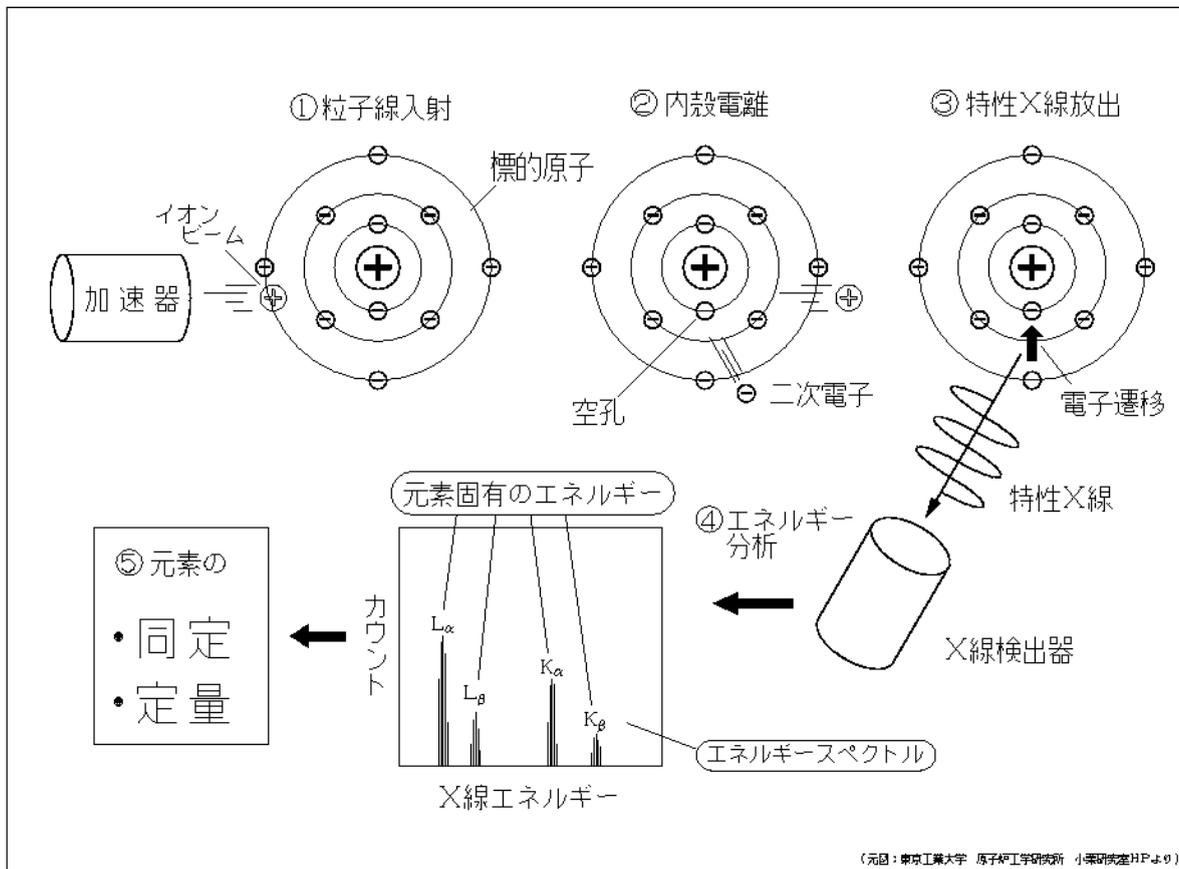


図-1 PIXEの原理

4. 大気照射PIXE

加速器で加速されたイオンビームは、通常 10^{-6} Pa 程度の超高真空中に維持された真空中にて利用されている。大気照射PIXEは、このイオンビームを薄い隔壁を通過させることによって、大気中に取りだしてPIXE分析に使用する。

大気照射によるPIXEは従来の真空中で行うPIXEと比べて、つぎのような利点がある。

- ・ 試料の形状や寸法に制約がない。
- ・ 絵画や考古遺物等の貴重な試料であっても、現物へ直接照射して測定が可能である。
- ・ 生体試料、液体試料の分析が可能である。

5. 加速イオンのマイクロビーム化

通常の実験に用いられているイオンビームの収束直径は、約 $\phi 2$ mm である。今回はビーム径をマイクロビーム化する手段として、図-2に示した道具（以下、アパーチャー (Aperture) と呼ぶ）を用意した。

カーボン丸棒にドリルを用いて段階的にザグリ加工を施し、貫通する直前（残り削りシロ：0.4 mm）で止める。最後に $\phi 200 \mu\text{m}$ のドリルで貫通孔を加工して仕上げた。あとは丸棒の片側をテーパ加工して完成である。これをビームライン上に設置された専用のホルダーに装着して大気照射の実験を行った。

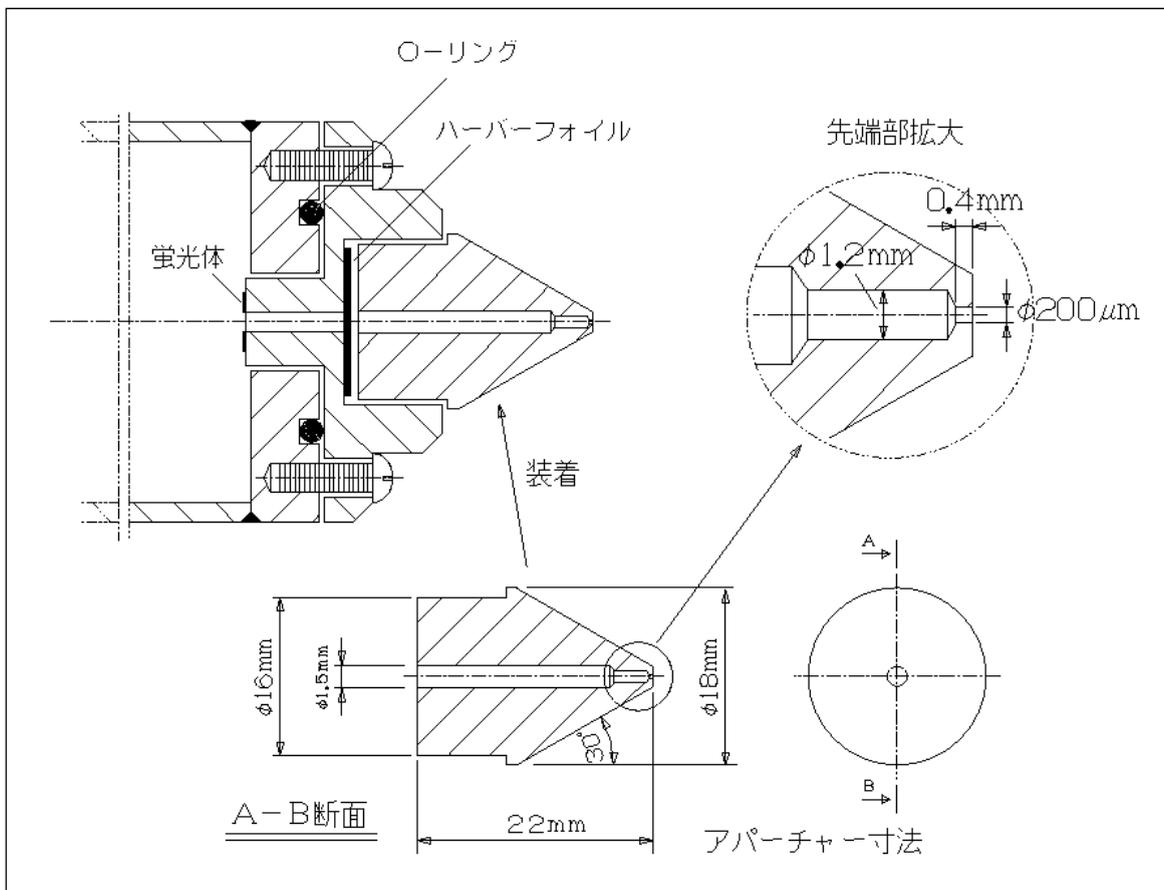


図-2 アパーチャー寸法と使用方法

6. 実験装置

アパーチャーを用いた大気照射PIXEの実験装置について解説する。(図-3、写真-1を参照) 真空ラインのエンド（大気との境界）には、薄膜（材料：ハーバーfoil、厚さ： $2.2 \mu\text{m}$ ）を接着した。これにより、イオンビーム（陽子、 4 MeV ）は大気中への取り出しが可能となる。この薄膜の下流に、孔径 $= \phi 200 \mu\text{m}$ のアパーチャーを設置し、約 $\phi 2$ mm に収束されたイオンビームを通過させて、ビーム径をアパーチャーの孔径にまで絞った。なお、大気中ではイオンビームが拡散するので、試料の位置はX線検出器の計測に支障がない範囲内で、出来る限りアパーチャーに近い距離（約 5 mm）に設置した。

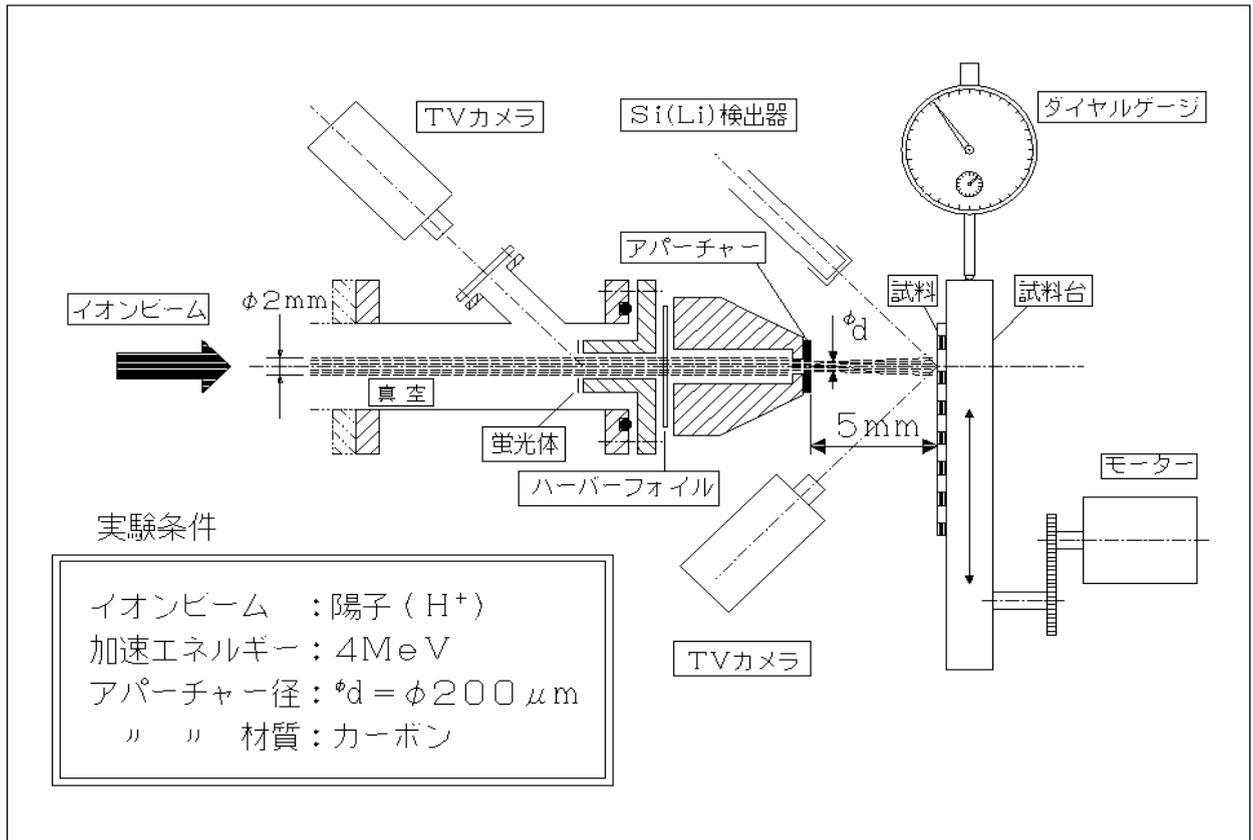


図-3 大気照射PIXE実験装置の構成

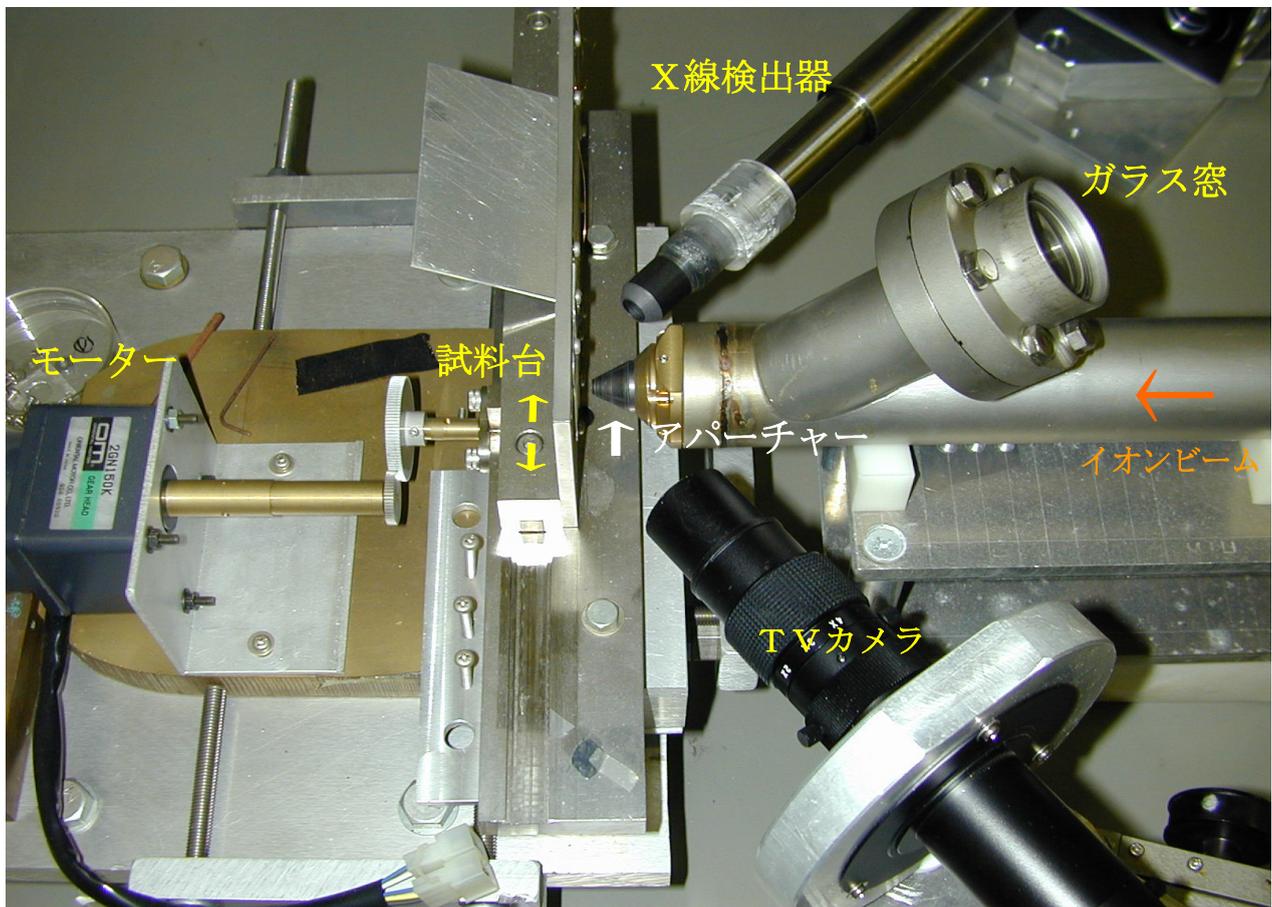


写真-1 大気照射PIXE実験装置

約 $\phi 2\text{ mm}$ に収束されたイオンビームは、中心部分が最もビーム密度が高く、中心から外れるほど低くなる。このため、如何にしてビームの中心軸とアパーチャーの孔位置を正確に合致させるかが問題となった。そこで、ハーバーフォイルの上流側にイオンビームの位置と形状を観察できるガラス窓を設けた。イオンビームの形状は、アパーチャーの中心と同軸上に蛍光体を塗布した面を設け、その発光状態をモニター画面上で確認しながら調整した。

試料台はモーターと歯車によって移動し、その移動距離はダイヤルゲージ（最小目盛り： $10\ \mu\text{m}$ ）で読み取った。なお、この実験に用いたX線検出器は、Si (Li) 型半導体検出器である。

7. 結果

アパーチャーを通過して試料表面に到達したイオンビームの径を測定した結果、 $\phi 230\ \mu\text{m}$ であった。これによりアパーチャーの孔径と取り出されるイオンビームの径は、ほぼ同一のサイズになることが判明した。

8. まとめ

アパーチャーを用いたイオンビームのマイクロビーム化は満足できる結果が得られた。このアパーチャーの製作は自前で簡単にできる。手軽でしかも非常に安価であることが最大の利点である。しかしながら、マイクロビームと呼ぶにはビームサイズがやや大き過ぎるのが難点である。

現在、孔径が $\phi 100\ \mu\text{m}$ 以下のアパーチャーの製作を進めているので、今後も同様の実験を継続して行う予定である。