

卒業研究要旨

永久磁石を用いた荷電粒子除去装置の製作

(環境計測) 本田 あさみ

1. はじめに

本研究室ではPIXEを用いて植物に含まれるアルミニウム濃度の測定を行ってきた。PIXEとは2~3 MeVのイオンビームを試料に照射し、ビームから発生する特性X線を検出することにより試料内の元素を特定する方法である。試料に当たったビームからは散乱粒子が発生するが、その散乱粒子が検出器に入るとバックグラウンドを増大させ分解能が悪化してしまう。これを防ぐため、検出器の前に散乱粒子を止めるために必要な厚さの薄膜を置く必要がある。アルミニウムは特性X線のエネルギーが低い。そのため、2.5 MeVのプロトンを止めるために必要な薄膜を置いた場合、置かない場合に比べカウントが 10^{-4} 倍以下になり計測が困難になる¹⁾。一方ヘリウムではプロトンより薄膜の厚さを薄くすることができるため、本研究室では2.5 MeVのヘリウムを入射ビームに利用してきた。しかし、ヘリウムでは特性X線のエネルギーが高い元素の検出が難しい。

そこで入射ビームに2.5 MeVのプロトンを用いた場合、永久磁石を用いて散乱イオンを曲げ、検出器に入らないようにした装置を設計・製作した。また性能評価として、装置取り付け前後での散乱粒子数の変化を観察した。ターゲットに当たったプロトンの一部は荷電変換され中性粒子として放出されるが、中性のビームは磁場中では除去されず検出器内に侵入する。荷電粒子が全て除去されているか、装置取付後に検出された散乱粒子と中性粒子数の計算値と比較することで評価を行った。

2. 装置概要

本装置はローレンツ力を利用し荷電粒子を除去する。磁場は2.5 MeVのプロトンのビームを除ける強さに設定した。図1は装置を正面から見た図であり、黒■が磁石(縦10 mm 横30 mm 奥行き60 mm、残留磁束密度0.38 Tのネオジム・鉄・ボロン磁石)、灰色■が純鉄(外側は磁場の漏洩を防ぐリターンヨークとして、内側は磁場を収束させるポールピースとして利用)、斜線▨はビームや特性X線が通るための空洞、白□はアルミニウム(磁石の位置の固定に利用)を表している。全体のサイズは縦70 mm 横70 mm 奥行き60 mmとなった。また検出器に入るビームの直径を制限するため、銅板に直径4 mmの穴を開けたスリットを製作し装置の前後に取り付けた。

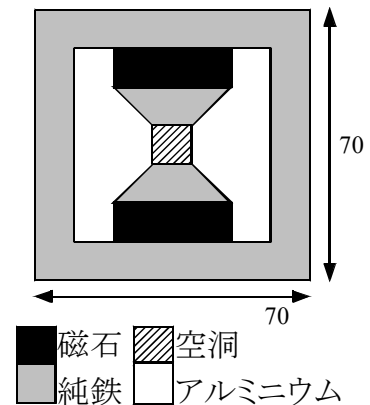


図1. 装置正面図

組立後、磁場の計測を行った。空洞部分の磁場は0.52 Tでビームを曲げきるのに十分な大きさであった。また前後にもれている磁場は十分小さく、ビームに影響を与えないことを確認した。

3. 実験

実験は京都大学工学研究科原子核工学放射実験室の4 MV バンデグラフ加速器で行った。その際 PIXE 測定に使用する X 線検出器を劣化させないための条件として、この検出器に入射する粒子数の上限を 10 cps と提示されていた。本実験の目的は磁場により散乱イオンが除去されているか、また磁場によっても除去されない粒子数が 10 cps を超えないかを確認することである。測定には荷電粒子検出器を用いた。ビームには 2.5 MeV のプロトンを使用し、入射角 45 度でターゲットに当てた。ターゲットは十分厚い鉛を使用した。最初に装置を取り付けない状態で測定を行った。その後装置をターゲットと検出器の間に設置し、ターゲットの中心と装置のスリットの中心、検出器の中心が一直線上になるように調整した。最後に同じ条件で測定し、装置取り付け前後での散乱粒子数を比較した。

また磁場によっても除去されない散乱粒子について評価した。装置を取り付けない場合の散乱粒子数に中性粒子割合をかけた計算値と取り付けの場合の実験値とを比較した。両者が一致する場合、残った散乱粒子は中性粒子であり荷電粒子が全て除去されたといえる。計算はプロトンが炭素薄膜を通過した場合の中性粒子割合の実験データ²⁾をフィッティングした式を用いた。中性粒子の割合を ϕ_0 、エネルギーを E MeV とすると $\phi_0 = 4.0 \times 10^{-4} E^{2.7}$ となった。

4. 結果及び考察

図 2 に装置取付前後における散乱粒子数の変化を示す。横軸はエネルギー、縦軸は散乱粒子数である。装置取付前の測定値を(1)、装置取付後の測定値を(2)、装置取付後の散乱粒子数を計算した値を(3)で示す。装置を置くことによりカウント数は大きく減少していた。PIXE には十分な量である 2 nA のビームを当てたとき、散乱粒子数は約 6 cps であり、ターゲットが十分厚い場合でも 10 cps を超えないことを確認した。また(2)

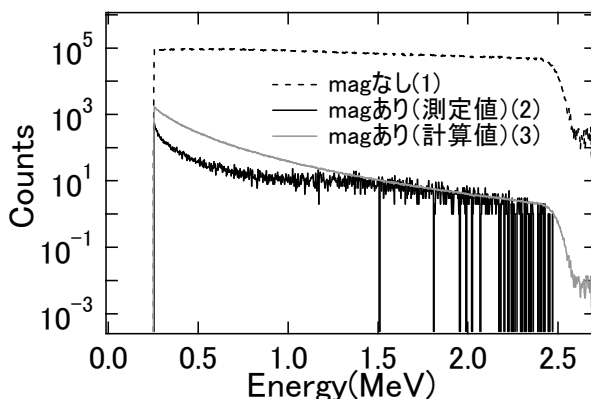


図 2. 装置取付前後での散乱粒子数の変化

と(3)はほぼ一致していた。これにより、装置を取り付けた場合にも除去されない散乱粒子は中性粒子であり、荷電粒子が全て除去されていたことが分かった。最後に本装置を用いて PIXE 測定を行った。2.5 MeV のプロトンをビームに使用し、ターゲットは十分厚い鉛を用いた。またアルミニウムよりも低いエネルギーの特性 X 線を除去するために、検出器の前に 7 μm のマイラーをはった。同様の条件でビームをヘリウムに変更し測定を行い、両者での違いを比較した。ビームにプロトンを使用した方が、高エネルギー領域でカウント数が増えていることを確認した。鉛の L 線についてカウントは約 30 倍になっていた。

参考文献

- 1) 柳川昌逸, PIXE 法を用いたアジサイ中の Al 分布測定, 京都府立大学修士論文, (2009)
- 2) M.C.Cross, Phys. Rev. B 15, 602 (1977)