

[H27-3]

シリコンドリフト検出器による X 線エネルギースペクトル測定

Measurement of X-ray Energy Spectra by a Silicon Drift Detector

佐藤隆博 ^{#,A)}, 山田尚人 ^{A)}, 横山彰人 ^{A)}, 大久保猛 ^{A)}, 石井保行 ^{A)}

Takahiro Satoh ^{#,A)}, Naoto Yamada ^{A)}, Akihito Yokoyama ^{A)}, Takeru Ohkubo ^{A)}, Yasuyuki Ishii ^{A)}

^{A)} Takasaki Advanced Radiation Research Institute, National Institutes of Quantum and Radiological Science and Technology

Abstract

For enhancement of sensitivity and reduction of measuring time, a new silicon drift detector (SDD) was installed in an in-air micro-PIXE analyzer of Takasaki Advanced Radiation Research Institute, National Institutes of Quantum and Radiological Science and Technology. The SDD can compete in energy resolution and sensitivity against conventional Si(Li) detectors. Therefore, it would be possible to enhance sensitivity of micro-PIXE analysis if the multiple SDDs were available.

Keyword: silicon drift detector, PIXE

1. はじめに

大気マイクロ PIXE は医学・生物学試料の分析に非常に有用であり、様々な応用が広がりつつある。量子科学技術研究開発機構高崎量子応用研究所放射線高度利用施設部の大気マイクロ PIXE 分析装置では、 $\Delta E/E=10^{-5}$ という高エネルギー安定度を有するシングルエンド加速器からの 3.0 MeV のプロトンビームを磁気レンズを用いて 1 μm まで集束させ、有機薄膜を通して試料に照射している。この場合、試料上におけるビーム電流は約 100 pA であり、これは国内外のマイクロ PIXE 分析装置の中でも有数のビーム強度であるが、それでも 1 測定あたり、数分以上の測定時間を要し、ppm レベルの感度である。

そこで、本開発では感度向上を目的とし、X 線検出器を測定チェンバーに増設することを試みた。

2. X 線検出器の増設

Figure 1 に示すように、これまで量研の大気マイクロ PIXE 分析システムでは、低エネルギー X 線測定用として、 140° 方向に Si(Li) 半導体を用いた X 線検出器、及び高エネルギー X 線測定用に 0° 方向（試料の真後ろ）に Ge 半導体を用いた X 線検出器を設置し、同時測定することで、X 線の広範囲なエネルギー領域をカバーしてきた^[1]。Table 1 にこの 2 台の検出器のスペックを示す。これらの X 線検出器は液体窒素冷却型であるため、液体窒素の供給が欠かせないため、日々のメンテナンスが負担となっているだけでなく、万が一窒素の供給が不十分となれば性能の不可逆的な劣化を引き起こす可能性がある。そこで、これまでの開発において、液体窒素を自動供給するシステムを整備した^[2]。

一方、近年、半導体製造技術の進歩をベースに、高純度シリコン結晶を利用したマルチ電極型シリコンドリフト X 線検出器 (SDD) が開発された。この X 線検出器は、多くが電子冷却型であり、従来の窒素冷却の X 線検出器を凌駕するエネルギー分解能を

実現している。また、液体窒素デューワーが不要であることから、比較的小型で測定チェンバーへの設置も容易である。

Table 1. X-ray Detector Specifications

素子	素子面積 [mm ²]	素子厚さ [mm]	エネルギー 分解能 [eV] (at 5.9 keV)	窓	窓の 厚さ [μm]
Si(Li)	30	5	135	Be	8.0
HPGe	250	12	310	Be	12.7

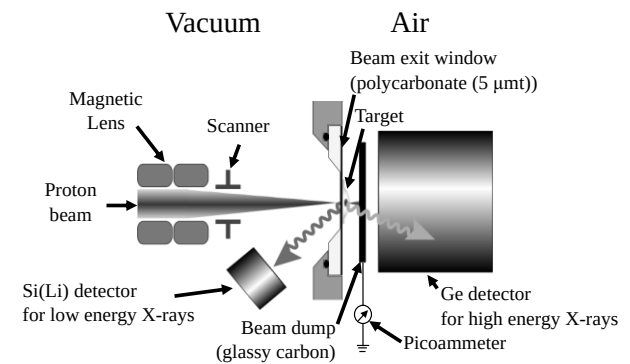


Figure 1. Schematic of the arrangement of the X-ray detectors

そこで、今回 SDD の 1 つである Amptek XR-100SDD Silicon Drift Detector を測定チェンバーに増設し、感度とエネルギー分解能の検証を行った。Table 2 に新しく設置した SDD のスペックを示す。

Table 2. New SDD Specifications

素子	素子面積 [mm ²]	素子厚さ [mm]	窓
Si	25	0.5	C1 ^[3]

[H27-3]

3. 測定結果

ターゲットとして Cu のメッシュを用い、3.0 MeV のプロトンビームを約 100 pA で照射した場合に発生した X 線を測定した。に従来の Si(Li)検出器で測定したスペクトル、に新しく設置した SDD で測定したエネルギースペクトルを示す。Si(Li)検出器は試料からの後方散乱プロトンが入射しノイズとなるのを防ぐために 100 μm の厚さのポリエチレンテレフタレート (PET) フィルムを検出器前に設置しているが、低エネルギーX線も測定可能とするために、PET フィルムに 2 mm ϕ の穴を開けた。一方、SDD には、後方散乱プロトンが不可逆的なダメージを与える可能性を考慮し、後方散乱プロトンを完全に止めるために、125 μm の厚さの PET フィルムを設置した。そのため、低エネルギーの X 線検出器は検出できないが Cu-K α (8.04 keV) や、Cu-K β (8.91 keV) の検出カウント数やエネルギー分解能はほぼ等しかった。このことから、SDD は従来の Si(Li)検出器と同等の性能を持ち、Si(Li)を十分に置き換え可能であることがわかった。現状では 1 台の SDD のみであるが、液体窒素デューワーが不要で省スペースであることから、複数台を容易に設置可能であるため、今後、台数を増加させれば、エネルギー分解能等の性能を保ったまま、感度向上や測定時間の短縮が可能と考えられる。

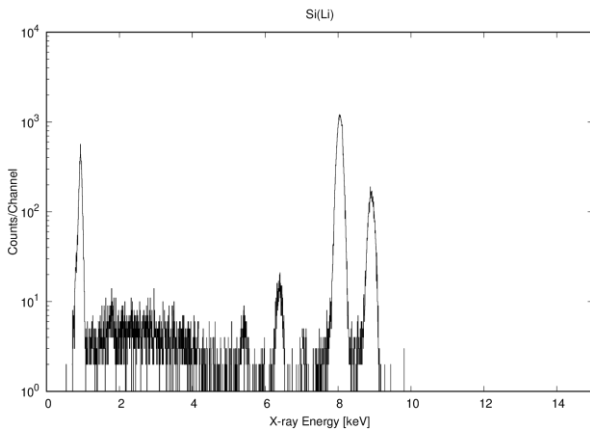


Figure 2. X-ray Spectrum obtained by the Si(Li) detector

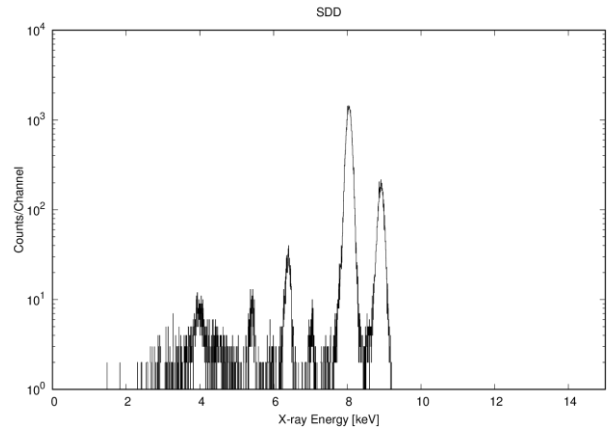


Figure 3. X-ray Spectrum obtained by the SDD

参考文献

- [1] T. Sakai et al., "New in-air micro-PIXE system for biological applications," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 231 (2005) 112–116. doi:10.1016/j.nimb.2005.01.043.
- [2] 江夏昌志 他, "軽イオンマイクロビーム分析/加工システムの改良," JAEA-Technology. 2016-006 (2016). doi:0.11484/jaea-technology-2016-006.
- [2] "Patented C-Series Low Energy X-Ray Windows – Amptek – X-Ray Detectors and Electronics," <http://amptek.com/products/c-series-low-energy-x-ray-windows/>.