

宇宙線ミュオンを用いた ミュオン特性 X 線イメージングによるインフラ調査

SATテクノロジー・ショーケース2025

■ はじめに

負の電荷を持つ負ミュオンが原子核に捕獲されると、ミュオン特性X線が放出される。このX線のエネルギーは原子核に固有のエネルギーのため、ミュオン特性X線を検出することで元素分析が可能である。そのエネルギーは蛍光X線の約200倍高く、軽元素でも比較的高いエネルギーが得られる。例えば、リチウムは蛍光X線が0.5 eV以下なのに対して、ミュオン特性X線では18.7 keVである。

負ミュオンは宇宙線に多く含まれ、天から降り注いでいる。屋外にあるインフラや建造物は宇宙線ミュオンを用いて元素分析が可能である。そこにイメージング技術を取り入れれば、元素マッピングを実施することができ、内部調査・診断等に活用できると期待される。

■ 活動内容

1. ミュオン特性X線によるリチウムの検出

ミュオン特性X線の強度は、原子番号が大きいほど大きくなる捕獲率を考慮する必要がある。その捕獲率の元素による違いを利用して、リチウムイオン電池の負極中のリチウムと金属リチウム析出を見分けることができる[1]。

2. 宇宙線によるミュオン特性X線発生レート

事前の検証実験では、入射ミュオンを2つの検出器で捉え、さらに出てきたミュオン特性X線を検出する、3つの検出器によるトリプルコインシデンスを取ることを考え、測定レートを 4×10^{-3} /秒/ m^2 と見積もられた。宇宙線を用いた、現状の検出器での検証実験を実施予定である。

3. ミュオン特性X線を捉える検出器の開発

従来は、Ge半導体検出器を用いて、試料全体の平均の値として、ミュオン特性X線を検出する実験を実施してきた。Ge半導体検出器は液体窒素冷却が必須であり、そのデューワーの立体障害から数を増やすことも難しい。リチウムのような軽元素には30 keV程度までのエネルギー領域で高い検出効率を示すシリコン半導体検出器が有用である。国産センサ技術は日本独自の技術で開発、発展してきた技術であり、この技術をさらに大面積化することで有用性を上げる。

●SOI-CMOS検出器[2-3]

SOI-CMOS検出器を宮崎大のグループを中心にして開発中である。現在6 mmのセンサでは14 keVの光子に対し

て2%の分解能を達成している。撮像領域13.8 mm x 21.9 mmまで大型化すると(Fig.1)、分光性能が低下するのが問題としてある。現在課題解決に向けて取り組み中である。

●CdTeピクセル検出器[4]

さらに高いエネルギーまで拡張させるには、CdTeピクセル検出器が必要である。CdTeピクセル検出器では、軽元素だけでなく重元素に対応するミュオン特性X線も検出できる。東大のグループを中心に開発が進む。すでにシリコンダブルストリップ検出器(DSSD)では、大型化が実現しているが、CdTeでの大型化(Fig.2)に取り組む。

■ 関連情報等(特許関係、施設)

現在は、ミュオンをビームとして利用できる施設で、予備検討・実験を進めている。茨城県東海村にある、大強度陽子加速器研究施設 J-PARC(Japan Proton Accelerator Research Complex: ジェイパーク)の中の物質・生命科学実験施設MLF(Material and Life Science Experimental Facility)では、大強度ミュオンビームを利用することができる。

この研究はJST経済安全保障重要技術育成プログラム(Kprogram)の支援を受けている。

＜参考文献＞

- [1] I. Umegaki et al., Analytical Chemistry (2020)
- [2] A. Takeda et al., J. of Instrumentation (2020)
- [3] A. Takeda et al., IEEE TNS (2013)
- [4] S. Takeda et al., IEEE TRPMS(2023)

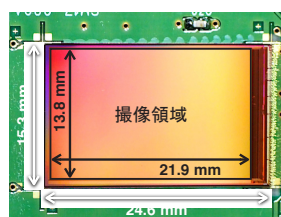


Fig.1 開発中の大型SOI-CMOS 検出器。

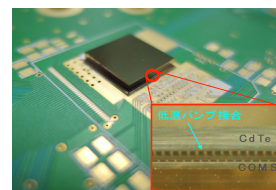


Fig.2 開発中の低温バンプ技術。現時点で、99%以上の歩留まりでの接合に成功している。

代表発表者 梅垣 いづみ(うめがき いづみ)
所 属 高エネルギー加速器研究機構
物質構造科学研究所 ミュオン科学研究系
問合せ先 〒319-1106 茨城県那珂郡東海村白方 203-1.
東海キャンパス
TEL: 029-284-4663
umegaki@post.kek.jp

■キーワード: (1) インフラ
(2) イメージング
(3) 宇宙線ミュオン
■共同研究者: 武田 伸一郎(東京大学)
武田 彩希(宮崎大学)