

月惑星表層元素分析のためのガンマ線検出器性能評価

Performance of gamma-ray spectrometer for measuring chemical composition in Lunar and Planetary surfaces

井上 洋介^{1*}, 三谷 烈史², 高島 健³

Yosuke Inoue^{1*}, Takehumi Mitani², Takeshi Takashima³

¹東京大学, ²宇宙航空研究開発機構固体惑星科学研究系, ³宇宙航空研究開発機構宇宙プラズマ研究系

¹University of Tokyo, ²Solid Planetary Science Group, ISAS, JAXA, ³Space Plasma Group, ISAS, JAXA

月惑星表層の元素組成を知ることは、月惑星の形成過程やその火成活動を理解するために重要である。例えば月惑星がその進化過程の途中でマグマオーシャンを経験した場合、マグマが徐冷していくときに鉱物の融点の違いにより結晶分化作用が起きる。晶出した結晶は、マグマとの密度差によって分けられ、表層に現れた岩石組成を調べることでその分化過程を知る手がかりとなる。また元素の中には、固相に取り込まれにくい液相濃集元素が存在する。液相濃集元素の中には、熱源であるU、Thも含まれており、天体表面のマグマが噴出したと考えられる場所においてその噴出過程を解明しようとする場合は、U、Thの存在量を知ることは不可欠である。

表層の元素組成を知る方法として、表層から放出されるガンマ線が利用できる。U、Thなどの放射性元素の崩壊や宇宙線と天体表層物質との相互作用により発生するガンマ線は、その元素固有のエネルギーを持っており、そのエネルギーを測定することで元素を同定し、その強度を測定することで元素の存在量を知ることができる。これまでに月惑星探査用のガンマ線分光計を搭載した探査機がいくつか打ち上げられており、「かぐや」は優れたエネルギー分解能をもつGe半導体を用いたガンマ線検出器を搭載している。しかしGeは液体窒素温度でないと作動せず、そのため冷凍機を用いて冷やさなければならない。将来の月惑星探査における月惑星表面上への着陸船・ローバーへの搭載を考えると、検出器の軽量化、小型化、省電力化が必要となり、冷凍機は条件を満たすために不利である。そこで近年では、Geに匹敵するエネルギー分解能を持ちながら常温でも動作が可能であるCdTe半導体を用いた検出器の開発が進められている。これまでの研究では常温以上での性能は調べられておらず、月面昼間での動作を考えると、室温以上の高温側で検出器を評価する必要がある。

CdTe検出器において取得されるスペクトルのエネルギー分解能を決めている主な要因は、回路ノイズと電荷輸送効率である。回路ノイズは、リーク電流と静電容量が影響している。また電荷輸送効率とは、CdTeとガンマ線の相互作用で生じた電荷キャリアの収集効率のことである。CdTeはこの効率が悪いために、スペクトルのピークが低エネルギー側にテールを引き、エネルギー分解能を悪化させている。以上のエネルギー分解能決定要因のうち、温度依存性があるのは理論的にリーク電流と電荷収集効率である。そこで本研究では、まずこれらの影響を確認するため、単素子で測定を行った。

CdTe単素子は、2 mm角、1 mm厚の大きさとし、電極素材の異なる2種を用いた。一つは、陽極がIn、陰極がPt（以降In/CdTe/Ptと記載）、もう一つは近年開発が進められている陽極がAl、陰極がPt（以降Al/CdTe/Ptと記載）のものである。まず、温度を変えながらリーク電流の測定を行った。どちらの素子も温度が20℃上昇するとリーク電流が1桁上昇する結果となった。また電極の違いではAl/CdTe/Ptの方が値が大きく、これは金属/半導体の接触のパラメータ

の違いと整合している。次にスペクトルを取得するために、放射線源 ^{137}Cs を用い、 662 keV のガンマ線を入射してスペクトル測定を行った。 662 keV のピークにおいてIn/CdTe/Ptでは半値全幅で 1.6% ($@20^\circ\text{C}$)、Al/CdTe/Ptでは 1.5% ($@20^\circ\text{C}$)という結果になった。

実用検出器として確立するためにはなるべく大きな面積が必要となる。しかし面積を大きくすると静電容量が増加し、ノイズを悪化させる。そこで片方の電極が細分化された片面ストリップ検出器を開発した。この検出器は面積を大きく保ちつつ電極をストリップ状に分割することで1読み出し当りのノイズを低減することができる。電極を分割しているので複数のチャンネルを同時に読み出す必要があるが、低雑音アナログLSIを使用することでそれを可能にした。 14 mm 角、 1 mm 厚のCdTe素子の大きさを持ったIn/CdTe/Pt片面ストリップ検出器を評価した結果、 1.3 MeV までスペクトルピークを取得することができ、エネルギー分解能は 662 keV のピークにおいて半値全幅で 2.5% ($@17^\circ\text{C}$)を得た。温度特性を評価するために、検出器を 20 、 30 、 40 、 50°C の環境におき、 662 keV のガンマ線を照射したところ、 40°C まではスペクトルを得ることができ、 40°C でのエネルギー分解能は 4.3% となった。

単素子とストリップ検出器を比較すると単素子の性能の方がよい。この理由については今後の課題であり、LSIを用いた検出器の性能を詳しく追及する。また、Al/CdTe/Ptストリップ検出器の評価を進める予定である。