

技術ノート

厚みのある試料中に存在するアルファ線放出核種の定量測定法

櫻井 昇^{*1)} 後藤 亮^{*1)} 宮崎則幸^{*2)}
橋本トモ子^{*3)} 白石文夫^{*3)}

Conventional measurement of alpha emitting nuclides in materials

Noboru SAKURAI, Akira GOTOH, Noriyuki MIYAZAKI,
Tomoko HASHIMOTO and Fumio SHIRAISHI

1. はじめに

ウラン、トリウムなどのアルファ線を放出する放射性核種は自然界に広く存在し、材料中にも不純物として含まれることが多い。これらの核種よりアルファ線が放出されると、アルファ線の飛程に沿って電離が生じ、その材料で構成されている電子機器等において誤動作の原因となることがある。

アルファ線の飛程は非常に短いため、通常の測定方法では測定試料の表面付近に存在する核種からのアルファ線のみしか測定することができない。試料内部に含まれるアルファ線放出核種の量を測定するためには、試料を溶解抽出するなどの前処理をおこない、薄膜状の試料とする必要があり、非常に煩雑である。

今回、試料を前処理することなく、試料表面におけるアルファ線のエネルギースペクトルの測定結果から、そのスペクトルの形状を用い、アルファ線放出核種の量を推定する、簡便な測定システムの有効性を検討したので報告する。

2. 実験方法

2.1 理論式

測定試料において、(1)試料中にアルファ線放出核種が均一に存在、(2)アルファ線に対する阻止能が試料内で一定、(3)厚さがアルファ線の飛程に比べて十分大きい、という条件を満たすとき、試料表面におけるアルファ線のエネルギースペクトルは、 D を単位質量あたりのアルファ線放出核種の量、 S を検出有効面積、 dE/dR をアルファ線に対する阻止能とすると、

$$dN/dE = (D \cdot S/4)/(dE/dR) \quad (1)$$



図1 試料表面におけるエネルギースペクトル

となる¹⁾。(1)式より、エネルギースペクトルは、試料中に含まれる核種のアルファ線固有エネルギー E_0 を最大とする、傾き $(D \cdot S/4)/(dE/dR)$ の直線のグラフとなる(図1)。阻止能 dE/dR 、検出有効面積 S の値が既知であれば、測定したスペクトルの傾きより、アルファ線放出核種の量 D を算出することが可能になる^{2,3)}。試料中にエネルギーの異なる2つ以上のアルファ線放出核種が含まれる場合には、それぞれのエネルギーに応じた直線のグラフを重ね合わせた鋸歯状のスペクトルとなる(図2)。

2.2 測定試料

測定試料として、ウランなどのアルファ線放出核種を含有する天然鉱石の北投石(hokutolite, $BaSO_4PbSO_4$)と、サマルスキー石(samaraskite, $(Y,Ce,U,Fe)_3(Nb,Ta,Ti)_5O_{16}$)を用いた。

さらに含まれるアルファ線放出核種の量が比較的少ないと思われる鉛板、有鉛はんだ(Sn:60%,Pb:40%)、及び無鉛はんだ(Sn:96.5%,Ag:3%,Cu:0.5%)についても測定をおこなった。

2.3 アルファ線エネルギースペクトルの測定

エネルギースペクトルの測定にはEG&G社製シリコン半導体検出器BR-025-600-100(27.6mmφ 有効面積600mm², HV:-100V)とマルチチャンネル波高分析装置

*1) 放射線応用技術グループ *2) 安全管理課

*3) 立教大学原子力研究所

(MCA) (応用光研 MCA/PC98BX) および制御解析用コンピュータ (NEC PC-9821Na/X14 + ANE-251) からなる測定システムを用いた。測定チャンバ内の試料ステージ上に測定試料を置き、250000~360000 秒間測定をおこない、スペクトルを求めた。測定中は空気によるアルファ線減衰の影響をのぞくため、ロータリーポンプによりチャンバ内を減圧した。

2.4 アルファ線エネルギースペクトルの解析

得られたスペクトルのエッジの位置より、アルファ線のエネルギーおよび核種を推定した。またグラフの傾きを求め、試料の組成より計算した阻止能の値および検出有効面積をもちいて、試料中のアルファ線放出核種の量 (試料 1 グラムあたりの放射能) を算出した。

3. 結果

ウラン等を含む天然鉱石である北投石の測定スペクトルの結果は、含有するアルファ線放出核種それぞれについて、図1のグラフを重ね合わせたものとなっている (図2)。スペクトルのエッジの位置がアルファ線のエネルギーを示し、含まれているのが、放射平衡を形成するウラン系列の一連の核種であることがわかった。これはゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトル分析の結果と一致した。グラフの傾きより核種の量を算出すると、ポロニウム 214 (Po-214, アルファ線エネルギー 7.69MeV) について 7.0Bq/g となった。この結果は、ガンマ線スペクトル分析による測定結果 (30Bq/g) と 4 倍程度の差違があった。

サマルスキー石もウラン系列核種を含んでおり、北投石と同様なスペクトルが得られた。Po-214 の量は、ガンマ線分析が 50Bq/g であるのに対し、18Bq/g であった。

鉛板について測定したスペクトルでは、一種類のアルファ線放射放出核種が存在していること示している (図3)。アルファ線エネルギーより、ポロニウム 210 (Po-210, 5.305MeV) と推定された。Po-210 もウラン系列の核種であり、同じウラン系列核種である鉛 210 (Pb-210) の孫核種にあたる。この Po-210 は、試料中に鉛の放射性同位体として含まれる Pb-210 がベータ壊変し (半減期 22 年)、その結果生じたビスマス 210 (Bi-210) が再びベータ壊変する (半減期 5 日) ことにより生じたものと思われる。Po-210 は 5.305MeV のアルファ線を放出して (半減期 138 日)、安定な鉛 208 (Pb-208) になり、これ以上壊変は生じない。Po-210 以外の核種はほとんどアルファ線を放出しないので、Po-210 の放出するアルファ線によるスペクトルだけが測定されている。グラフの傾きより Po-210 の量を算出した結果、0.4Bq/g の値が得られた。

有鉛はんだについても、同様な Po-210 の存在を示すスペクトルが測定され Po-210 の量も算出可能 (0.2Bq/g)

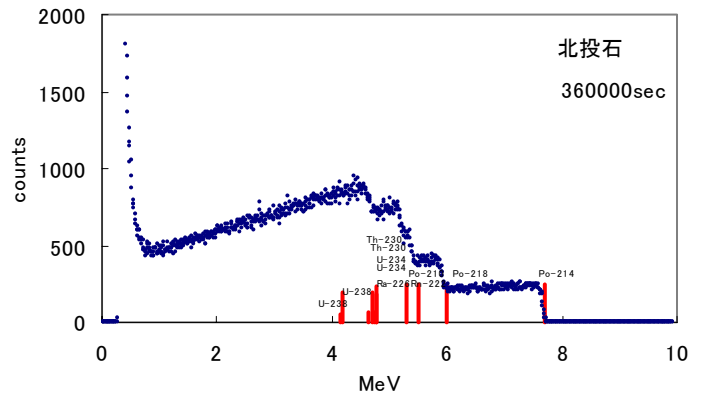


図2 鉱石試料 (北投石) の測定スペクトル
横軸上の縦棒は試料に含まれる核種のエネルギー位置およびアルファ線放出の相対量を示す

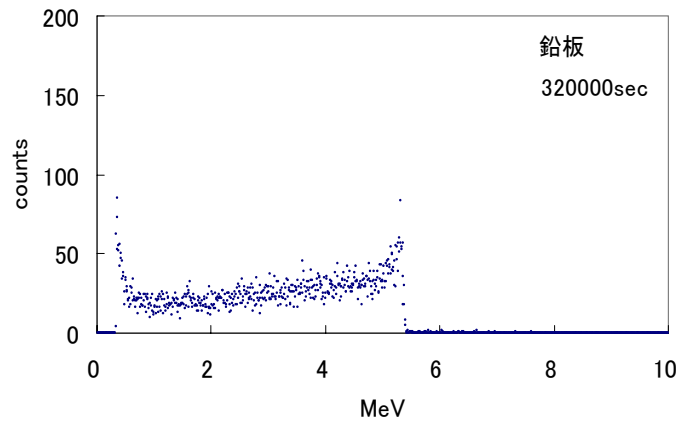


図3 鉛板の測定スペクトル
スペクトルのエッジの位置は試料に含まれる核種 (Po-210) のアルファ線のエネルギー (5.305MeV) を示している。

であった。無鉛はんだについては、図1もしくは図2のようなアルファ線のスペクトルは得られず、アルファ線放出核種の量は算出できなかった。

4. まとめ

アルファ線放出核種の量を、試料表面におけるエネルギースペクトルを測定し、そのスペクトルの形より推定する方法を検討した。鉱石、鉛等の試料において、測定結果から核種の定量が数倍程度の精度で可能であることを確認した。

参考文献

- 1) M.Hosoe, Y.Takami, F.Shiraishi and K.Tamura:
Nucl. Instr. & Meth., 223, 377 (1984).
- 2) 白石文夫: *RADIOISOTOPE*, 39, 72-81 (1990).
- 3) 白石文夫: *RADIOISOTOPE*, 39, 143-154 (1990).