

人体等価熱蛍光線量シート線量計の開発

海上安全研究領域 *近内亜紀子、大西世紀、小田野直光

輸送高度化研究領域 高橋千織

高輝度光科学研究センター 成山展照

根本特殊化学(株) 小笹尚登、石川雄三

1. はじめに

近年、様々な放射線利用を目的として加速器施設等の照射設備が急増しており、原子力施設内の事故で想定されていた全身被ばくよりもむしろ局所的な被ばくが起きる可能性が高まっていると考えられる。局所被ばくでは被ばく部位とその線量を正確に評価することが必要であるが、現在一般的に使われている線量計は全身均一に放射線を被ばくすることを前提として小型化されているため、局所被ばくを正確に評価することができない。

我々は、X線及びガンマ線による局所被ばくに対応した二次元線量測定システムの開発を進めている。二次元の線量測定を行うためには、放射線を二次元でとらえる有感面積を持ち、放射線に対して人体と等価なエネルギー特性を持つ線量計が必要であるため、人体軟組織と実効原子番号の近い高感度の熱蛍光体LiF:Mg,Cu,Pを用いたシート線量計を開発中である^{(1),(2)}。熱蛍光体とは放射線照射後に加熱すると物質自身が吸収した放射線の量に比例した蛍光を出す物質のことで、その蛍光量をもとに吸収線量を評価することが可能である。LiF:Mg,Cu,Pでは一般に、240℃までの加熱により蛍光量で線量評価がなされている。シート線量計開発のためには相当量の熱蛍光体が必要であるため、効率的な製法によるLiF:Mg,Cu,Pを開発しこれをNTL-250と名付けた。NTL-250を用いて、これまでに低融点テフロン、エチレンテトラフルオロエチレン共重合体(融点 260℃)をバインダー材料とした加熱成型により、一辺 20cm正方形のシート線量計を製作することに成功している。

しかしながら、これまでの研究で熱蛍光体LiF:Mg,Cu,Pに関して 250℃以上の長時間加熱による感度の低下が確認されており、バインダー材

料として低融点テフロンを用いているが、熱蛍光読み取りに必要な 240℃付近での物性が不安定であるという課題が残る。また、融点の高いテフロン系バインダー材料を用いれば、もっと効率の良いシート成型が実現される可能性がある。そこで本研究では、熱蛍光体の改良及び熱的に安定なシート線量計の開発を目的とし、加熱により感度の低下した熱蛍光体についてグロー曲線測定及びX線回折、電子顕微鏡による表面観察を行い、蛍光体感度低下の原因の解明を試みた。

2. 熱蛍光体感度低下

我々が開発した LiF:Mg,Cu,P 熱蛍光体 NTL-250 及び同組成の市販品 GR-200(Sange)について分析を行った。NTL-250 については、240℃で 30 分間、280℃で 3 時間、350℃で 3 時間、GR-200 については 240℃で 30 分間、350℃で 1 時間の条件でアニリングを行い分析試料とした。これらの試料に対して X 線検査装置(RF-100GS, Rigaku)により約 71Gy の照射を行い、TL リーダー(model 3500, Harshaw)を用いて熱蛍光量を測定した。

熱蛍光量の測定結果を、図 1 に示す。一定の昇温速度において温度に対する熱蛍光量を表す曲線をグロー曲線と呼ぶ。NTL-250 および GR-200 両熱蛍光体において、感度低下に伴うグロー曲線の変化が観測された。特に 220℃のピークの減少が顕著であり、通常の加熱条件では隠れていた 180℃および 200℃のピークの存在が明らかになった。図 1 は昇温速度 1℃/s における結果であるが、10℃/s および 30℃/s における結果も同様な傾向を示した。従って感度低下に伴う蛍光量低下は、220℃におけるピークの減少に起因すると考えられる。

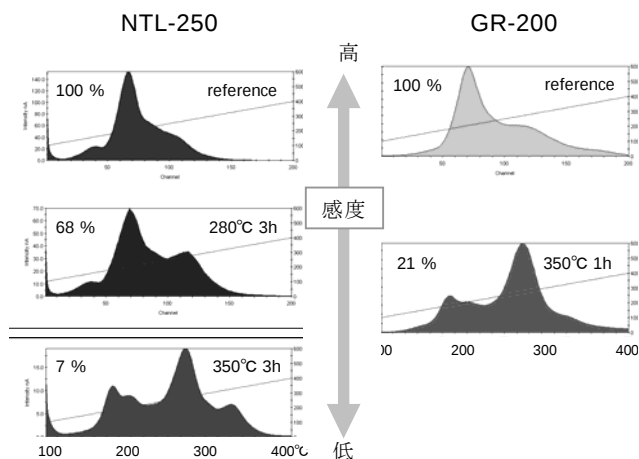


図 1 感度低下によるグロー曲線の変化
枠内左上の数字は感度、右上はアニーリング条件を示す
(左：NTL-250、右：GR-200)

上記条件でアニーリングを行った熱蛍光体 NTL-250 および GR-200 について X 線回折を行い、そのスペクトルを比較した。図 2 に NTL-250 における結果を示す。各スペクトル強度は LiF の第 1 ピークで規格化されている。

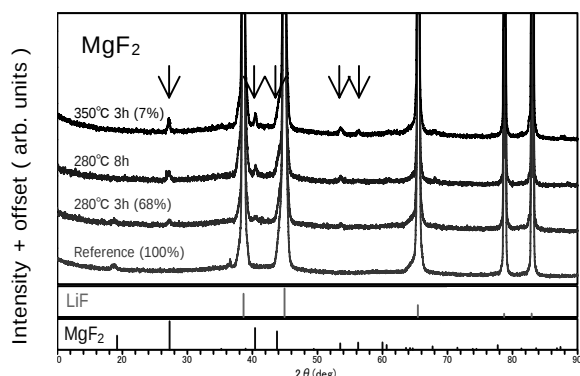


図 2 NTL-250 の X 線回折スペクトル

感度 7% と感度 68% の NTL-250 において MgF_2 の第 1 ピーク面積を比較すると約 22 倍であり、熱蛍光体の感度が低下するほど MgF_2 のスペクトルが大きくなっている様子がわかる。GR-200 における X 線回折でも同様の結果が得られた。以上のことから、長時間加熱により結晶内の Mg が MgF_2 の形で析出してしまうこと、また、図 1 のグロー曲線において感度低下に伴い減少する 220°C のピークは Mg に起因したものであることが予想された。

そこで、電界放射走査電子顕微鏡 (JSM-6500F, 日本電子) を用いて、感度が 7% に低下した NTL-250 の表面観察を行った。結果を図 3 に示す。

熱蛍光体粒子の大きさは約 $50 \mu\text{m}$ であった。

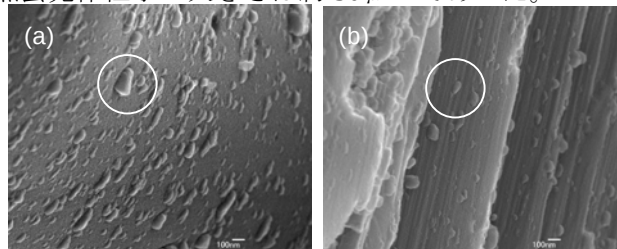


図 3 電子顕微鏡による NTL-250 の表面観察

図 3 には、酸で洗浄したために滑らかになった熱蛍光体表面部分(a)と、破損し層構造が露出した熱蛍光体内部(b)の様子を示した。どちらの表面にも図中に線で囲んで示したような径 100 nm 程度の突出部分が観察された。そこで電子顕微鏡に付属のゲルマニウム検出器を用いた蛍光分析により突出部の元素同定を行ったが、Mg 元素を確認することはできなかった。これは、電子顕微鏡における蛍光分析が入射電子による励起を利用したものであり検出視野に数 μm の広がりがあるため、突出物周囲の元素からの影響が強く出てしまったためであると考えられる。

3. まとめ

熱蛍光体 LiF:Mg,Cu,P における加熱による感度低下の原因について分析を行った。X 線回折による分析からは、付活剤として添加され結晶中に存在していた Mg が、 MgF_2 の形で析出することが感度低下の原因であることを示す結果を得た。しかしながら、電子顕微鏡を用いた観察では表面における Mg 析出は確認されなかった。今後はグロー曲線に見られた変化と Mg との関係について調べていく予定である。また、これら熱蛍光体の基礎的な物性分析を通じ、熱蛍光体の改良及び熱的に安定なシート線量計の開発を実施し、二次元線量測定システムの高度化を図り、実用化を目指すこととしている。

謝辞

本研究は原子力委員会の評価に基づき文部科学省原子力試験研究費による実施したものである。

参考文献

- (1) N. Nariyama *et. al.*: Aphys2003 Proceedings, to be published.
- (2) A. Konnai *et. al.*: KEK proceeding, vol. 14,

pp.1-8 (2004).