

ガンマ線励起による無機シンチレータの蛍光寿命測定

防衛大学校 本科 58 期 応用物理学科 阿比留 勇気

1. 研究目的

無機シンチレータは、 γ 線及び中性子線検出器用として、医療機器、素粒子原子核実験、宇宙線観測等に幅広く利用されている。シンチレータの蛍光寿命は、高計数率環境での放射線計測に制限を与える重要な特性である。市販の蛍光寿命測定装置は励起光として紫外線を用いているが、本研究では実際に評価したい γ 線で励起された時の無機シンチレータの蛍光寿命を測定し、その実験手法について考察した。

2. 実験の方法と装置

シンチレータの蛍光寿命は、放射線によって励起された蛍光体が発光するのに要する平均時間である。本実験では単一光子計数法により蛍光寿命を測定した。この方法は、一光子の検出時間を繰り返し測定することで得られる確率分布が、結果的に発光強度時間分布となることを利用した計測法である。今回蛍光寿命を測定したLYSO(Lu₂(1-x)Y_{2x}SiO₅:Ce)は、最大発光波長が428 ns(青色)で、蛍光寿命は40-44 nsと短く、光量と密度も約30000光子/MeVおよび7.4 g/cm³と大きいので原子核物理学や核医学における γ 線検出の用途に利用されている。使用した²²Na線源は代表的な β^+ 崩壊核種で、陽電子・電子対消滅による0.511 MeVの γ 線を2つ同時に正反対の方向へ放出する。

図1に実験装置の配置を示す。測定試料は直径15 mm、厚さ2 mmのLYSO結晶である。スタート検出器は、LYSO結晶を光電子増倍管(浜松ホトニクス製H6524-01MOD)に光学接合させた検出器で、ストップ検出器はスタート検出器と同型の光電子増倍管である。スタート検出器と測定試料の間に、直径20 mm、厚さ3 mm、放射能2.6 kBqの²²Na線源を置いた。スタート検出器で対消滅した一方の γ 線による励起信号を検出し、ストップ検出器でもう一方の γ 線で励起された測定試料からの発光信号を計測する。この際、ストップ検出器で検出される信号が、単一光子となるように、測定試料とストップ検出器の距離を十分にとり、直径4 mmのコリメータで光量を調節している。また、遮へい材(鉛ブロック)を使用し、²²Na線源からの γ 線が直接ストップ検出器に入射しないようにした。2信号の時間差分布を、時間デジタル変換器(CAEN製V775)で98.7時間測定することで、LYSOシンチレータの蛍光寿命を測定した。

3. 実験結果と考察

測定で得られたスタート検出器とストップ検出器の時間差分布を図2に示す。暗電流と考えられる様なバックグラウンド分布の上に、試料の発光に起因すると考えられる70 ns付近の急な立ち上がりで指数関数的減衰の分布が確認された。この分布に、関数

$$A \exp(-t/\tau) + B$$

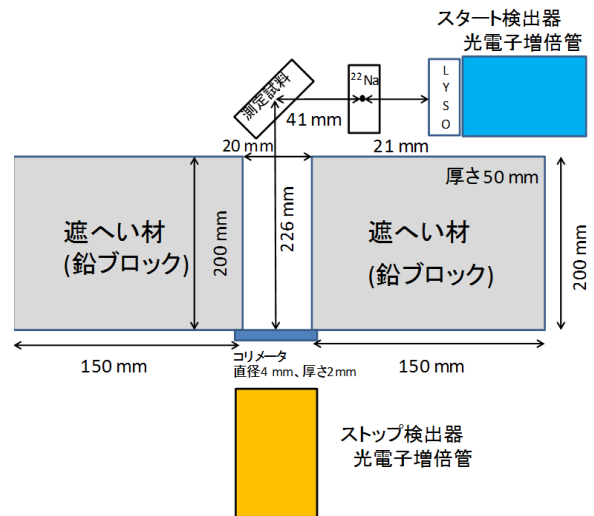


図1 実験装置の配置

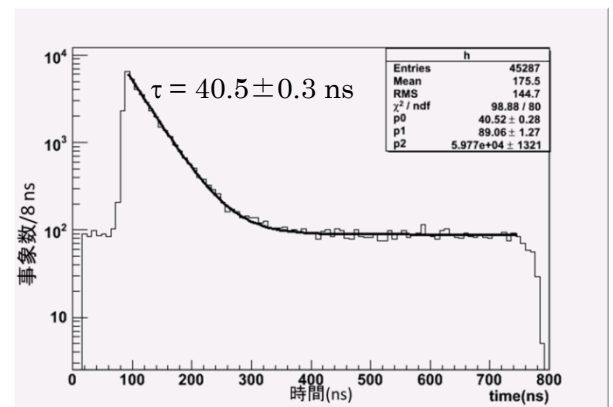


図2 スタート検出器とストップ検出器の時間差分布(測定試料:LYSO)

を使って最小二乗法でフィットした(図2の太線)。この結果、蛍光寿命 τ が 40.5 ± 0.3 nsと得られた。これはカタログ値40-44 nsの範囲内であり、結果は妥当であると言える。

時間差分布を理解するために、スタート検出器の時間分解能を別途求め、 0.144 ± 0.007 nsであることが分かった。また、一様なバックグラウンド分布は、測定試料がない状態でスタート検出器と非同期にトリガーを掛けて得られた分布と比較することで、ストップ検出器の光電面における熱電子放出によるバックグラウンドであることを確認した。

本実験の知見から得られた実験手法の改善案として、(1)測定時間の短縮化、(2)蛍光寿命の短い試料を測定した際に問題となる検出器の時間特性の影響、(3)極端に長い蛍光寿命成分を持つ試料で問題となり得る熱電子放出バックグラウンドの低減などについて考察を行った。