

凝縮相における低エネルギー電子の微視的放射線作用の研究 ～NE102 シンチレータの発光・消光の再現～

Study of microscopic radiation interaction of low energy electron in condensed phase

～Reproduction of scintillation and quenching in NE102 scintillators～

日本原子力研究開発機構¹, 量子科学技術研究開発機構², 小川達彦¹, 八巻徹也², 佐藤達彦¹

Japan Atomic Energy Agency¹, National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology, Tatsuhiko Ogawa¹, Tetsuya Yamaki², Tatsuhiko Sato¹

E-mail: ogawa.tatsuhiko@jaea.go.jp

シンチレータは放射線検出器として汎用的に使われており、エネルギー付与量に応じて蛍光分子が励起され、発光を生じる。しかし電離密度の大きい放射線に対してはクエンチング(消光)効果が発生し、エネルギー付与量に対して発光量が抑制されることが知られている。また、クエンチングは微視的には Forster 効果によって発生すると見られており、Forster 効果が発生すると励起した蛍光分子の励起エネルギーは、近隣の損傷した分子に非蛍光的に吸収され、フォノンとなって失われる。本研究では、ナノスケールにおける放射線挙動の解析を用いて、シンチレータ中の励起分子や損傷分子の生成を模擬し、Forster 効果によるそれらの間のクエンチング強度を計算することで、クエンチングを加味したシンチレータの発光量を計算した。その計算値を、実験的に得られている NE102 シンチレータの発光強度と比較することで、解析の妥当性を検証した。

放射線照射により NE102 シンチレータ内部で発生するエネルギー付与は、放射線輸送計算コード PHITS のマイクロドジメトリ機能等により計算した。NE102 中のエネルギー付与のうち、10eV 以上のエネルギー付与を起こすイベント一回に対して、一個の励起分子または損傷分子ができるものとした。次に Forster 効果が発生する確率は、励起分子と損傷分子の間の距離を r , Forster 効果の起こりやすさを決める物質固有の距離 R_f (NE102 では 3.7 fm)を用いて、 $1/(1+(r/R_f)^6)$ と表される。そこで、計算によって得られた励起分子と損傷分子の配置を基に、各励起分子に対して Forster 効果が発生する確率を計算し、発光する分子の数を計算した。

上記の方法により様々な放射線入射に対して発光量を計算し、過去の文献との比較を行った。図 1 は電子線と陽子線の入射に対して発光量を計算したものである。電子はエネルギーの付与が疎らに広がるためクエンチングはほとんど効かず、入射粒子のエネルギーに対して線形に発光量は増える。一方で陽子は、入射エネルギーが低いとエネルギー付与密度が高い。その結果、図 1 のエネルギー領域では発光が特に抑制され、電子に対して 1/3～1/10 程度の強度となる。本研究の計算はその挙動をよく再現した。

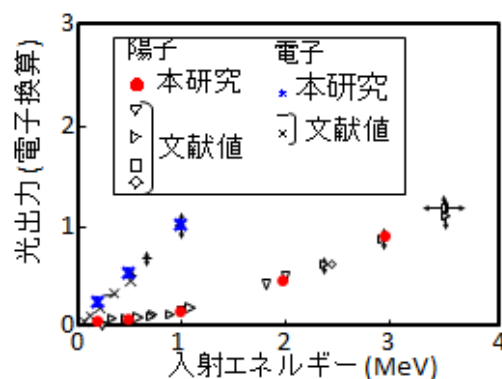


図 1, 入射粒子とシンチレータの発光の関係