

別紙 1

報告番号	※ 乙 第 号
------	---------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 超微粒子原子核乾板の荷電粒子に対する発光応答の研究

氏 名 白石 卓也

論 文 内 容 の 要 旨

原子核乾板は臭化銀微結晶をゼラチン中に分散した放射線飛跡検出器であり、微結晶の径が 40 nm 程度の場合には NIT(Nano Imaging Tracker)と呼ばれる。NIT の感光感度は低温で低下し、低下の度合いは電離密度が低いものほど顕著になるという特性が知られていた。NIT を用いた暗黒物質探索を考える上で、最大の物理的背景事象と見込まれる ^{14}C 由来の β 線は電離密度が低いため、NIT 感光感度の温度特性が背景事象を排除する上で有利に働くと期待された。また研究の中で、臭化銀微結晶が間接遷移型であるにもかかわらず、低温での光励起で発光することが観測されていた。感光過程と発光過程は、電離により結晶中で発生した電子-正孔対 (e-h 対) を取り合う競合過程である事から、発光現象の研究が、低温における感光感度低下の起源の理解につながり、物理的背景事象排除に最適な NIT の設計指針を与えるものと考え本研究を開始した。

まず液体窒素温度下で放射線照射に同期した発光計測が可能な単光子分光計測システムを開発し、NIT (40 nm 径 AgBr:I 微結晶、ヨウ素濃度 3.6mol%) の荷電粒子に対する発光を確認し、その発光効率を調べた。その結果 88 K における量子効率は ^{241}Am の α 線に対して $(5.7 \pm 0.8)\%$ 、同 γ 線に対して $(22.5 \pm 3.5)\%$ であり、電離密度の低い方が高効率であった。さらにその発光効率は、他の蛍光体検出器と比べても高かった。また α 線励起による発光波長のピークは 540 nm であり、光励起によるピーク波長 560 nm よりも短波長であった。NIT 含有ヨウ素濃度依存性を 0.036mol% から 3.6mol% まで計測したところ、ヨウ素濃度が高くなるにつれて発光波長が長波長にシフトした。一方、光強度は 0.36mol% のときに最大となった。 α 線励起による発光の時定数は 1 μs 以下と光励起における時定数 1 ms より極端に短かった。さらにヨウ素濃度一定で、粒子サイズを変えた NIT においては、 α 線励起に対して粒子径 40 nm よりも 100 nm の方が発光強度が強いが、光励起に対しては粒子径が小さい方が発光強度が強い事を見出した。

ヨウ素の電子親和力が臭素と異なることにより、中性の局在正孔トラップ（等電子トラップ）として発光に寄与することは、光励起による先行研究で明らかになっていたが、申請者は放射線に対する上記の諸結果が、この等電子トラップの局在性を前提にした統一的解釈により理解出来ることを示した。すなわちヨウ素濃度が密になると、隣接するヨウ素との相乗効果で正孔を深く束縛し、その分再結合により取り出せるエネルギーが減少して発光は長波長へシフトする。ヨウ素濃度が高くなると束縛正孔の広がり相互に重なり始め、正孔トラップの局在性が失われる事により発光効率が低下する。逆にヨウ素濃度が低くなると再結合を起こすトラップの数が足りず、やはり発光効率が低下する。結果として発光にとって最適の濃度が存在する事になる。また α 線励起で作られた e-h 対は高密度であり、直接的な再結合あるいは束縛励起子を形成し再結合することにより、短波長の速い発光が起こる。

これらの結果は、ヨウ素濃度と粒子サイズを変えることにより、感光感度の温度依存性が変化をすることを示唆しており、今後ヨウ素濃度ならびに粒子サイズを変えて感光感度の温度依存性を調べることにより、目的とする ^{14}C 起因の BG 排除に最適な NIT の設計につながるものと期待できる。またナノ結晶シンチレータとして活用できれば、感光による飛跡情報との複合解析による背景事象逡滅への応用も期待される。