

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 乙 第 号
------	---------

氏 名 白石 卓也

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

論文審査担当者

主 査	名古屋大学 未来材料・システム研究所	教授	理学博士	中村光廣
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	教授	博士(理学)	清水裕彦
委 員	名古屋大学 宇宙地球環境研究所	教授	博士(理学)	伊藤好孝
委 員	東北大学未来科学技術共同研究センター	准教授	博士(理学)	黒澤俊介

論文審査の結果の要旨

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、荷電粒子の電離作用により生じた電子-正孔対 (e-h 対) により現像可能な潜像核が形成され、現像によって飛跡が検出される。暗黒物質探索実験のために臭化銀を超微粒子化した原子核乾板 (NIT: Nano Imaging Tracker) が開発されたが、事象識別能を向上させるためには、荷電粒子が作る e-h 対の結晶内での挙動の理解が不可欠であった。特に、超微粒子結晶特有の潜像形成効率の低下の原因となる e-h 対の再結合プロセス、すなわち結晶内部での電子挙動およびヨウ素の正孔捕獲能との関係を明らかにする必要があった。e-h 対の再結合が低温下において発光として観測されることは光励起研究において知られていたことから、NIT における荷電粒子による発光現象の研究が新たな学術的知見につながり、さらには NIT を新たな光検出器として応用する可能性が開かれると期待されている。

申請者は、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世界で初めて確認し、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 の方が発光強度は強いが、光励起に対しては粒子径が小さい方が発光強度は強い事を見出した。

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による正孔の局在性を前提にした統一的解釈で説明できることをモデル計算により示した。すなわちヨウ素濃度が高くなると、ヨウ素クラスターの平均サイズが大きくなり、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。さらにヨウ素濃度が高くなると束縛正孔が複数のヨウ素に広がり、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。また α 線励起で作られた e-h 対は高密度であり、伝導帯にあふれた電子とヨウ素に束縛された正孔が高い確率で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、発光をプローブとすることで、臭化銀結晶内部での e-h 対の振る舞いを探る事が出来る事を示している。潜像形成と関係づけることにより、用途に適した特性を持つ NIT の設計指針を与えるだけでなく、感光による飛跡情報と発光情報との複合解析により、実験の読取速度の制限を超えた規模拡大、すなわち暗黒物質の検出感度向上につながる新たな展開を可能とする価値あるものである。

以上の理由により、申請者は博士(理学)の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。