

二国間交流事業 共同研究報告書

令和5年4月25日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[日本側代表者所属機関・部局]

静岡大学・工学部

[職・氏名]

教授・川田善正

[課題番号]

JPJSBP 120207709

1. 事業名 相手国: インド (振興会対応機関: DST) との共同研究

2. 研究課題名

(和文) 電子線励起超解像光学顕微鏡のための蛍光ナノ粒子の作製と自己組織化配列

(英文) Solution Processed Up-conversion Luminescent Nanoparticle Self-assembly for Development of Electron Beam Excitation Assisted High-resolution Optical Microscope

3. 共同研究実施期間 令和2年8月1日～令和5年3月31日(2年8ヶ月)【延長前】 令和2年8月1日～令和4年7月31日(2年0ヶ月)

4. 相手国側代表者(所属機関名・職名・氏名【全て英文】)

PSG Institute of Technology and Applied Research Assistant

Professor Dheivasigamani Thangaraju

5. 委託費総額(返還額を除く)

本事業により執行した委託費総額		1,450,000 円
内訳	1年度目執行経費	- 円
	2年度目執行経費	950,000 円
	3年度目執行経費	500,000 円

6. 共同研究実施期間を通じた参加者数(代表者を含む)

日本側参加者等	8名
相手国側参加者等	3名

* 参加者リスト(様式 B1(1))に表示される合計数を転記してください(途中で不参加となった方も含め、全ての期間で参加した通算の参加者数となります)。

7. 派遣・受入実績

	派遣		受入
	相手国	第三国	
1年度目	0	0	(0)
2年度目	0	0	(0)
3年度目	0	0	(0)

* 派遣・受入実績(様式 B1(3))に表示される合計数を転記してください。

派遣:委託費を使用した日本側参加者等の相手国及び相手国以外への渡航実績(延べ人数)。

受入:相手国側参加者等の来日実績(延べ人数)。カッコ内は委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流の概要・成果等

(1)研究交流概要(全期間を通じた研究交流の目的・実施状況)

本研究では、共同研究を実施することにより、電子線照射により高輝度に発光するナノ粒子を開発するとともに、基板上に自己組織化により配列させ、均一な薄膜構造を作製し、開発した薄膜を電子線励起超解像光学顕微鏡 (EXAOM: Electron beam excitation assisted optical microscope) に応用することを目的とした。研究代表者等が開発を進めている EXAOM は、電子線照射により高輝度に発光する蛍光膜の開発が課題の一つとなっている。 $\text{Yb}^{3+}\text{-Er}^{3+}$, $\text{Yb}^{3+}\text{-Tm}^{3+}$, $\text{Yb}^{3+}\text{-Ho}^{3+}$ などをドープした NaGdF_4 , NaYF_4 ナノ粒子の作製プロセスを確立することにより、高分解能、信号対雑音比の向上を実現することが可能となる。

本共同研究に参加する若手研究者のキャリアパスを支援する取り組みの一環として、相手国研究機関への派遣、研究ディスカッションなどを積極的に実施するとともに、卓越した研究成果を着実に挙げられるようにサポートし、次のキャリアに展開するための支援を行うことを目的とした。

本共同研究では、新型コロナウイルス感染症の蔓延により、オンラインによる議論、実験データの解析等を行い、検討を進め、新しい課題、実際に EXAOM に実装する場合の課題等について新しい知見を得た。

(2)学術的価値(本研究交流により得られた新たな知見や概念の展開等、学術的成果)

本研究では、電子線照射による高輝度発光ナノ粒子に必要とされる特性指針を検討することを目的として研究を行った。その結果、EXAOM に必要なナノ粒子からの発光効率、輝度、および電子線照射システムの改良などについて、新しい課題が明らかとなった。ナノ粒子の発光特性を向上させるために、アニーリングなどの処理を行うと、基板状の構造が大きくなり、EXAOM に使用するには大きな課題となることがわかった。そのため、発光強度の増強と表面形状を両立させるための手法について検討した。新しい手法として、アニーリング後にイオンミリングなどを利用して、表面形状を研磨する手法について検討した。これらの手法は、これまでほとんど試みられておらず、新しい手法の提案となる学術的成果となる。

(3)相手国との交流(両国の研究者が協力して学術交流することによって得られた成果)

次の2つの点について主に検討を行った。

(1) 開発するナノ粒子の特性指針検討

電子線照射による高輝度発光ナノ粒子に必要とされる特性指針を検討することを目的として研究を行った。ナノ粒子からの発光効率、輝度、および電子線照射システムの分解能を評価するための数値解析手法を検討した。電子線散乱をモンテカルロ・シミュレーション、励起された発光の伝搬を有限差分時間領域法 (FDTD 法)で解析し、ナノ粒子の微細構造による電子線散乱および光散乱を解析可能な新しい解析法の検討を行った。これらの解析結果から、ナノ粒子の材料および大きさ、真空と大気圧の分離膜の膜厚などによる電子線の散乱特性を解析し、集束スポットの広がりなどを理論的に明らかにし、電子線励起超解像顕微鏡の発光膜として必要なナノ粒子の特性指針を検討した。これらの検討は、主に静岡大学が中心となり、インド側研究者と議論しながら進めた。

(2) ナノ粒子開発のための作製プロセスの確立

主にインド側研究者において、これまでのナノ粒子の開発実績をもとに、高輝度発光ナノ粒子の作製プロセスを確立するとともに、作製条件の最適化を検討した。熱分解法により NaGdF_4 , NaYF_4 を母材としたナノ粒子を作製する。 $\text{Yb}^{3+}\text{-Er}^{3+}$, $\text{Yb}^{3+}\text{-Tm}^{3+}$, $\text{Yb}^{3+}\text{-Ho}^{3+}$ などをドープすることにより、発光波長、発光強度を

最適化するとともに、ナノ粒子系を均一化するために作製条件を最適化について検討した。

- (4)社会的貢献(社会の基盤となる文化の継承と発展、社会生活の質の改善、現代的諸問題の克服と解決に資する等の社会的貢献はどのようにあったか)

本共同研究は、高分解能光学顕微鏡の開発に関するものであり、これまで原理的な分解能の限界を克服するものである。このような顕微鏡が実現できれば、細胞等の生物試料の機能解明に資することはもちろんのこと、高集積化半導体プロセスなど工業的な応用分野にも展開可能である。精密医療への貢献、微細な構造を持つ新材料の開発、環境問題への貢献など期待できる。

本共同研究は、そのような高分解能光学顕微鏡を実現するための基礎研究、特にナノ粒子を用いた高輝度光源開発に関するものであり、今後のさらなる技術開発、課題解決が必要であると考ええる。

- (5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取組、成果)

本共同研究に参加する若手研究者のキャリアパスを支援する取り組みの一環として、相手国研究機関とのオンライン会議、研究ディスカッションなどを積極的に実施するとともに、卓越した研究成果を着実に挙げられるようにサポートし、次のキャリアに展開するための支援を行った。

本共同研究に参加した若手研究者は、成果を元に学位を取得するとともに、新しい活躍の場として企業の研究機関でのポストを得た。

- (6)将来発展可能性(本事業を実施したことにより、今後どのような発展の可能性が認められるか)

本事業によりインド国研究者との交流を通して、さまざま分野の方との議論を行ったことから、新しい研究分野への展開が期待できる。また、今回の共同研究の議論によって、両国の若手研究者間の交流が促進され、博士課程学生の受け入れなど、人材育成が進むことが期待できると考える。

- (7)その他(上記(2)～(6)以外に得られた成果があれば記載してください)

例:大学間協定の締結、他事業への展開、受賞など

特になし