二国間交流事業 共同研究報告書

令和4年4月6日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[代表者所属機関・部局]
東北大学・大学院工学研究科
[職・氏名]
教授・山口 正洋
[課題番号]
JPJSBP1 20197704

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) マイクロ波アシストナノフェライト膜による高感度心磁図計測用集積化磁気センサの開発

(英文) Development of an integrated magnetic sensor featuring a microwave-assisted nanoferrite-film for high-sensitivity magnetocardiographic measurement

3. 共同研究全実施期間 2019年6月1日 ~ 2022年3月31日 (2年10ヶ月)

4. 相手国代表者(所属機関・職・氏名【全て英文】)

Indian Institute of Science (IISc), Professor Navakanta Bhat

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		1,930,000 円
内訳	1年度目執行経費	980,000 円
	2年度目執行経費	950,000 円
	3年度目執行経費	- 円

6. 共同研究全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	19名
相手国側参加者等	5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	4	0	3(3)
2年度目	0	0	0(0)
3年度目	0	0	0(0)
4年度目	-	-	-(-)

* 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:本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)。カッコ内は本委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流実績の概要・成果等

(1)研究交流実績概要(全期間を通じた研究交流の目的・研究交流計画の実施状況等)

本プロジェクトは、マイクロ波アシスト成膜技術(MADT)によるナノフェライト薄膜の開発およびそれを用いた心磁界計測用高感度磁界センサの開発を目的とする。本プロジェクトではコロナ禍前の2019年度には日印間で相互訪問・交流を実施した。2020年度以降はコロナ禍のため渡航が出来なかったが、定期的に日印間でWEBミーティングによる情報共有と進捗報告等を実施して、当初計画をほぼ達成した。具体的な共同研究内容としては、インド側ではマイクロ波アシスト成膜によってナノフェライト薄膜を成膜し、膜構造と直流磁気特性(磁化曲線等)を評価した。日本側ではインド側が開発したナノフェライト薄膜の高周波透磁率を評価すると共に、有限要素法解析によりナノフェライト薄膜を用いたセンサの電磁界分布およびSパラメータ等の電氣的応答性を計算して、高感度な薄膜磁界センサ素子を設計した。インド側で開発したナノフェライト薄膜は超広帯域に透磁率が維持される点に特長があり、このナノフェライト薄膜をセンサのインピーダンス整合に利用することで、感度向上につながる知見を得た。続いて日本側の得た結果に基づいて、インド側でマイクロ波アシスト成膜によってナノフェライト薄膜をセンサ素子へ実装し、インピーダンス整合および感度向上と心磁界計測用センサを作製して心磁界計測に成功した。

(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)

インド側が開発したマイクロ波アシスト成膜によるナノフェライト薄膜の磁気特性向上、透磁率の評価等の国際共同研究の成果を著名な論文誌(AIP Advances(成果1), IEEE Transactions Magnetics(成果15))等に国際共著論文として掲載された。

インド側で開発したナノフェライト薄膜を心磁界計測用磁界センサへ適用すること、および磁性薄膜へ適切なスリットを設けることでセンサの特性インピーダンスをほぼ 50Ω に整合し、センサの透過信号が増大し、ノイズレベルが低下することを理論と実測により明らかにし、心磁界計測用磁界センサのSN比向上に有効であることを示した。この成果は近々特許出願をした上で、国際会議、英語論文等へ発表準備中である。

(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)

2019年度には日印間で相互に訪問し(インドから日本へ(2019年11月に3名)、日本からインドへ(2020年2月に3名、別途自助努力資金により1名。合計4名))、ナノフェライト薄膜成膜や透磁率評価の共同実験、共同研究の進捗報告会、相互の学生へのチュートリアルセミナー、実践的トレーニング等を実施し、学術交流や共同実験により研究成果を上げることができた。2020年度以降はコロナ禍の影響で相互訪問が実現出来なかったが、定期的にWEBミーティングを実施して相互の進捗の確認、情報共有および情報交換、ディスカッション等を実施して、有意義な学術交流を継続することができ、当初計画通りの研究成果を得ることができた。

(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)

本研究で得られた成果は安価な製造コストで高性能なナノフェライト薄膜の製造技術と評価技術、およびそのナノフェライト薄膜を用いた生体磁気信号の計測技術の進展としてまとめることが出来る。得られたナノフェライト薄膜は近年の5G,6G等の超高周波通信技術、電磁波利用技術の中で、電磁波吸収体、ノイズ抑制体として不可欠の材料であり、本成果で得られたナノフェライト薄膜は60GHz超の世界最高レベルの広帯域電磁波吸収、ノイズ抑制効果が期待できる。この材料は簡易かつ低コストで製造可能である点に特長があり、産業応用上大きなインパクトと市場性が見込まれる。また本プロジェクトにより開発し、インド側のサンプルを評価した透磁率評価用プローブはサンプルサイズに依存しない測定、超広帯域(67GHz)、高感度(1nm厚の強磁性共鳴を評価)等の特長を有し、製品化にも成功しており、国内外の研究機関や企業等から評価依頼がある。加えて現在IEC規

格 (International Electrotechnical Commission, 国際電気標準会議)の標準化会議 TC51/WG10 にノミネットされており、約 2 年後に国際規格化される可能性があるなど、社会実装のフェーズへ進んでいる。

(5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取り組み、成果)

本プロジェクトには 35 歳以下の若手研究者および大学院生として、日本側は 13 名、インド側は 4 名が参画し、2019 年度は相互訪問により異文化交流、共同実験、ミーティング等に出席して、交流をはかった。2020 年度以降は定期的に WEB ミーティングを開催して英語によるプレゼンとディスカッションを実施した。これらは特に日本人学生の英語力やディスカッション力、プレゼンテーションのスキル向上に有益であった。その結果、東北大学の藪上・桑波田研究室では 2018 年度から 2020 年度にかけて査読付きジャーナル論文数が倍増するなど、研究室全体の基礎的な研究力、論文作成能力、英語力等の向上に効果があった。またインドを訪問した日本人学生および定期的にインド研究者との WEB ミーティングでディスカッションした日本人学生は、インド人若手研究者や学生のアグレッシブな研究に対する姿勢、高度な学力、知識、語学力等におおいに刺激を受け、これをきっかけとして学生および若手スタッフが週 1 回のペースで英語論文の輪読会を自主的に始めたことなど、日本人学生のモチベーション向上にも大きな効果があった。加えて、研究室運営責任者としては、昨今問題になっている日本人学生の研究レベル、モチベーション低下やメンタルヘルス等の諸課題に対して、国際共同研究により同世代の若手外国人研究者、学生と定期的かつ長期間交流をすることが改善策の 1 つになり得ることを実感し、今後もこのような機会を学生たちに提供することの意義を学んだ。

(6)将来発展可能性(本研究交流事業を実施したことにより、今後どの様な発展の可能性が認められるか)

このマイクロ波アシスト成膜によるナノフェライト薄膜は安価な製造方法で数 10 GHz の超広帯域で動作することから、日本側が進めている高周波電流のドライブに基づく生体磁気信号計測センサの SN 比を向上させることおよびシステムの低コスト化に有効であることがわかった。今後この共同研究を進展させて、心磁界よりもさらに 1 桁程度微弱な脳磁界計測へ進むことを目指している。脳磁界計測が室温動作のセンサで安価に実現できれば、てんかんの診断、脳外科手術時の切断部位の事前モニタ、転移がんのリモート評価、リアルタイムリモートの感染症対策等のさまざまな用途に展開可能であり、生体応用以外にも橋梁等の金属構造物の非破壊検査等、さまざまな社会的な課題解決に大きな波及効果が期待出来る。

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

インド側で開発したナノフェライト薄膜を心磁界計測用磁界センサへ適用することおよび磁性薄膜へ適切なスリットを設けることでセンサの特性インピーダンスを 50 Ω に整合できることから、センサの透過信号が増大し、ノイズレベルが低下することを理論と実測により明らかにした。またこの手法が心磁界計測用磁界センサの SN 比向上に有効であることが示された。この成果は近々特許出願をした上で、国際会議、英語論文等へ発表準備中である。