

二国間交流事業 共同研究報告書

令和6年4月30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]

沖縄科学技術大学院大学

[職・氏名]

サイエンス・テクノロジー・グループ・久保結丸

[課題番号]

JPJSBP 120218405

1. 事業名 相手国: イスラエル (振興会対応機関: ISF) との共同研究

2. 研究課題名

(和文) 二次高調波とメーザー増幅を用いた超高感度スピン検出

(英文) Ultra-sensitive spin detection by second harmonic signal and maser amplification

3. 共同研究実施期間 2021年4月1日 ~ 2024年3月31日 (3年0ヶ月)【延長前】 2021年4月1日 ~ 2023年3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】)

Bar-Ilan University, Senior Lecturer, Michael Stern

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		4,750,000 円
内訳	1年度目執行経費	2,375,000- 円
	2年度目執行経費	2,375,000- 円
	3年度目執行経費	- 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	7名
相手国側参加者等	7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			()
2年度目			3 (3)
3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: 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)

本共同研究は、両国の PI が実証した超高感度電子スピン共鳴分光器 [Bienfait, Kubo, Stern et al., Nature Nanotechnology 11, 253 (2016)]をさらに発展させ、より高感度かつ汎用的な極低温電子スピン共鳴分光を実現することを目標とした。イスラエル側 PI (Michael Stern)らが最近理論的に提案した、スピンと結合した共振器内に自発的に発生する二次高調波信号を、日本側 PI (久保)らが最近実証したスピンメーザーによる超低雑音増幅を実装して検出することを目指した。

2021 年度にイスラエル側の博士課程学生 1 人が 1 ヶ月 OIST に滞在し、日本側の分担であるメーザー増幅器デバイス作成に参加する予定であった。しかしながら新型コロナウイルスの影響で入国のメドが立たず、本年度へと持ち越すことになった。なお、本研究で使用するデバイスの作成工程などの実験面(主に日本側が担当)、および理論面(主にイスラエル側が担当)は双方の PI がリモートで議論と情報共有をしながら進めてきた。

令和 4 年 10 月に予定していた沖縄科学技術大学院大学(OIST)におけるキックオフミーティングを 2023 年 2 月にスライドさせて行った。日本側ではメーザー増幅器デバイスを構成する超伝導薄膜による 2 次元マイクロ波回路の設計、試作をした。試作したデバイスを無冷媒希釈冷凍機中に設置し、10 mK の極低温においてマイクロ波透過測定および時間領域におけるパルス測定を行った。キックオフミーティング後にイスラエル側の学生 2 名 (Tikai Chang, Itamar Holzman)がこの測定に参加し、極低温マイクロ波技術を共有した。イスラエル側では二次高調波信号検出に用いる超伝導回路の設計および試作を日本側とリモートでコミュニケーションを定期的に取りながら進めた。

(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)

本共同研究は、両グループの実験技術と専門知識を統合することで、汎用的で堅牢な電子スピン共鳴分光器を実証することを目的として実施された。

イスラエル側 PI から提案された新しい方式は、スピンと超伝導体の間の非線形結合によって生じる第二高調波信号を測定することで構成されている。この方式では、共振器は中程度の品質係数(100~1000)で、スピンは通常のコヒーレンス時間を持つ。この実験では、良好な S/N 比を保ちながら第 2 高調波信号を増幅するために、低雑音で大きなダイナミックレンジを持つ増幅器が必要となる。一方で、日本側 PI らはスピン・メーザー(誘導加熱によるマイクロ波増幅器)により、第二高調波信号を増幅できることを実証した。

本共同研究は、上記の 2 つの最先端の実験的アプローチを組み合わせ、スピン検出感度が少なくとも $\sim 10^3$ スピン Hz $^{-1/2}$ のデバイスを提案した。これは [Ranjan et al., Appl. Phys. Lett. 116, 184002 (2020)]よりも 1~2 桁小さく、分光器を操作するための前提条件を劇的に緩和することができる。このように、本共同研究により提案された新しいスペクトロメーターは、化学・生物学・材料学に新たな強力な量子技術を提供し、その応用に大きく貢献するものである。

(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)

両国の研究者は常に緊密な関係を保ち、毎月オンラインで議論をしながら包括的に共同研究を遂行した。

(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)

本研究成果は人類の社会をより豊かにすると期待されている量子コンピュータの周辺技術になりうるものであり、将来の量子情報技術産業に従事する人材も育成できた自負がある。

(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)

本国際共同プロジェクトを通じて、日本側の若手研究者はイスラエル側の若手研究者と協働する機会を得、重要な意思決定につながる議論やコミュニケーションの機会を多数得た。このような経験は、若手研究者にグローバルな視点やディスカッション能力、そして今後のネットワーキングに繋がり、若手研究者の人材開発にも貢献した。

(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)

本共同研究は、量子コンピュータ関連技術研究の一環として位置づけられる。量子コンピュータの研究は世界的に大きなインパクトを与えつつあり、本プロジェクトも大きなインパクトを与える可能性がある。また、本プロジェクトにより、量子技術を搭載した初の商用 ESR 分光器が実現する可能性もあり、産業界における量子開発を加速させることが期待される。

(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