

二国間交流事業 共同研究報告書

令和5年4月5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]
東北大学・大学院工学研究科
[職・氏名]
准教授・松田 信幸
[課題番号]
JPJSBP 120218401

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) 量子技術のための超伝導体-半導体光エレクトロニクス

(英文) Superconductor-semiconductor opto-electronics for quantum technology

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

Technion, Israel Institute of Technology, Associate Professor, Alex Hayat

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		4,721,500 円
内訳	1年度目執行経費	2,346,500 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	6 名
相手国側参加者等	6 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	1	0	0 ()
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)

量子計算機は、医療や材料開発等の重要分野における諸問題を効率よく解くことのできる可能性を秘めた次世代の計算機であり、その実現が期待されている。大規模な量子計算機を実現するためには、量子光源などの個々のパーツをできるだけ小型化・効率化する必要がある。本研究では、超伝導体と半導体の複合構造を用い、電流注入動作する小型かつ高効率な量子光源等の量子デバイス実現に向けた研究を実施した。超伝導体-半導体接合デバイスを実現するには、クーパー対を半導体に注入するための高品質な接合の作製が必須となるため、デバイス試作はそのための製造設備や豊富な実績を有する相手国側が実施した。日本側は量子光検出のための評価系の設計や、光源の性能向上に関する理論的及び実験的検討を実施した。併せて、量子光源以外のデバイスへの応用可能性についても議論を行い、新たな知見の獲得を目指した。研究遂行に当たっては複数回のオンラインミーティングを中心に議論や情報交換を行うとともに両研究機関の交流を図った。2年目には日本側研究者が相手国に渡航し共同実験を実施した。

(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)

超伝導体-半導体接合構造において電流注入における光子対の発生を確認することに成功した。さらなる発展課題である量子もつれ光子対の発生については、デバイス起因の光雑音等の影響により未達成であるが、今後も研究を継続する。また、光源雑音の低減に向け、既存の半導体光導波路を用いて量子光源の雑音特性を従来よりも改善するための研究を日本側で実施した。結果、励起光源や光フィルタ系の設計・改善により、非線形光学過程を経て得られる相関光子対の S/N を従来の 10 倍以上に向上することに成功し、国内学会にて報告した。さらに新たな展開として、超伝導体-半導体結合構造を用いた量子論理ゲートへの応用可能性を見出すとともに、試料を相手国側が、ゲートの動作確認に用いる量子光源系を日本側がそれぞれ持ち寄り、相手国にて共同実験を実施した。短期間の共同実験ではあったが、超伝導状態下においてデバイスの光学応答を観測するなどの成果を得た。今後も共同研究を継続する予定である。

(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)

研究遂行に当たってオンラインでの議論や交流の他、日本側研究者が相手国に渡航し共同実験を実施した。その結果、前述の通り、超伝導体-半導体接合構造デバイスや半導体光デバイスに関して新規応用を含む成果を創出することができた。その上で、量子光源の研究においては、相手国側の課題を共有することで日本国側のデバイス性能向上に寄与した。量子ゲートの研究においては、日本側の非共鳴非線形媒質を用いた量子ゲートの知見と相手国側の当該デバイス構造に関する知見が研究進展に有機的に機能した。共同実験においては、日本側の有する光導波路への光波結合技術のノウハウを生かし、実験系のセットアップを効率よく実施できた。またディスカッションを通じ、高次元量子状態に対する量子ゲートの新たな知見を得ることができた。日本側参加者は実験内容そのものに加え、低温超伝導実験の詳細なノウハウを獲得することができ、今後の新分野開拓に向けて有意義なものとなった。

(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)

超スマート社会の実現に向け、計算機の情報処理能力の向上は喫緊の課題である。量子コンピュータに代表される量子情報技術はその課題解決に資する有力な技術であり、世界中で研究開発競争が熾烈化している。量子情報処理装置の大規模化に向け、本研究により構成要素の小型化や高効率化に関する新たな道筋が示

された。

(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)

オンラインでのディスカッションを中心に国際交流の機会を設けることで、研究分野や文化的背景の異なる相手に研究内容を分かりやすく伝える経験を積むことができ、若手研究者の国際的なコミュニケーションスキルの向上に寄与したと思われる。特に、相手国側の修士課程学生の研究遂行能力の高さや、兵役を経ることで培われたと思われる成熟さは日本側参加者にとって良い刺激となった。研究代表者同士の十年来の交流を所属グループに展開することができ、若手研究者の国際的ネットワークの構築に貢献することができた。

(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)

本研究がさらに発展すれば、電流注入型の高効率・高コヒーレンス量子光源の実現に向けた道筋が示され、量子計算機などの量子情報システムの大規模化への大きな貢献が期待される。また、超伝導体と半導体の複合構造は計算以外の量子技術応用全般(通信、計測等)において大きな可能性を秘めており、本研究の成功により様々な量子技術への波及効果や、超伝導体-半導体ハイブリッド物理系における新たな学術的知見の獲得が期待される。

(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

オンチップ光量子情報デバイスの研究に関し、代表者の松田が第20回船井学術賞、令和4年度科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞、第26回丸文研究奨励賞等を受賞した。