

量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出
2018年度採択研究代表者

2022年度
年次報告書

大野 圭司

理化学研究所 開拓研究本部
専任研究員

シリコン技術に立脚した室温動作スピン量子ビット

主たる共同研究者:

森 貴洋 (産業技術総合研究所 デバイス技術研究部門 上級主任研究員)

森山 悟士 (東京電機大学 工学部 教授)

研究成果の概要

シリコン中の深い不純物、その電子スピンをを用い室温動作する量子ビットを開発する。既存のシリコン技術の枠内で素子開発を行うことで産業界への速やかな技術移植を目指す。トンネル電界効果トランジスタ(TFET)構造に深い不純物を導入、深い不純物準位を介した素子ソースドレイン電極間のトンネル伝導に現れるスピン閉鎖により量子ビット状態を素子の伝導特性として読み出す。量子ビットの急峻な磁場応答を利用した高感度磁気センサーを開発する。研究開始3年までに達成する中間目標は“意図的に導入した2種の不純物を有するTFETによる量子ビット素子”の実現。計画終了時までに最終目標“2種の深い不純物を有するTFETによる室温動作量子ビット素子とその磁気センサー応用”を実現する。

2021年度までにSおよびZn不純物をTFET素子への導入する技術を確立した。S・Zn導入TFET素子において、ゼロ磁場付近の磁気電流特性(ゼロ磁場ディップ構造)により、10Kから室温までの幅広い温度でスピン閉鎖を確認した。また50Kまで単一電子スピン共鳴、10Kでの明瞭な量子ビット特性の観測に成功し、上記中間目標を達成した。2022年度は量子ビット動作の高温化、および室温磁気センサーの高感度化を目指し、最終目標の達成へ向けたアプローチを進めた。

室温スピン閉鎖による電流ディップ構造を利用した磁気センサー動作は2021度に成功しているが、その磁場感度は10mT程度に留まっていた。電流ディップを説明するスピン閉鎖理論に基づき、より高感度な素子動作条件を探索したところ、約20uTまでの磁場感度向上に成功した。室温での地磁気レベル(44-50uT)の磁場計測に成功したといえる。

SeおよびZn不純物をTFET素子への導入する技術を確立した。Se・Zn導入TFET素子において室温スピン閉鎖を確認した。電流ディップ構造のシグナル比は約9%であり、S・Zn素子のシグナル比約1%より大きく向上した。電流ノイズ、および磁場感度に関しても一定の向上がみられた。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Yoshisuke Ban, Kimihiko Kato, Shota Iizuka, Shigenori Murakami, Koji Ishibashi, Satoshi Moriyama, Takahiro Mori and Keiji Ono, Introduction of deep level impurities, S, Se, and Zn, into Si for high-temperature operation of a Si qubit, Jpn. J. Appl. Phys. **62** SC1054 (2023). DOI 10.35848/1347-4065/acae60