

## 石橋極微デバイス工学研究室

主任研究員 石橋 幸治 (D.Eng.)



### (0) 研究分野

分科会：工学、物理

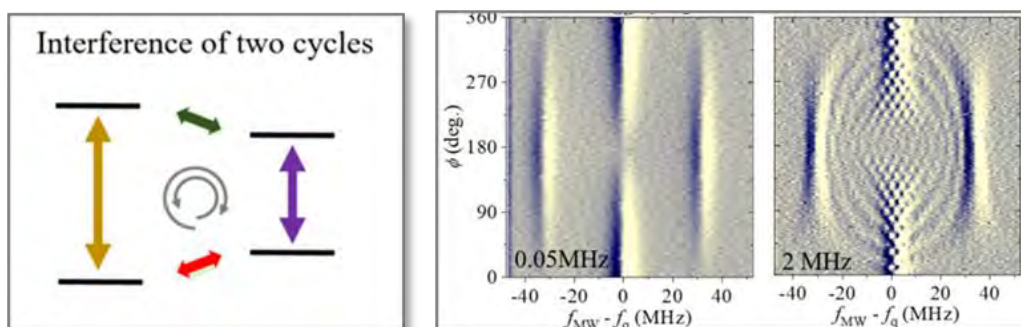
キーワード：量子ナノデバイス、量子コンピューティングデバイス、カーボンナノチューブナノ構造 超伝導体/トポロジカル絶縁体ハイブリッド構造、ナノ加工

### (1) 研究背景と研究目標

本研究室では原子レベルから数ナノメートル級の極微構造を作製する技術を開発し、さらに新材料を用いることにより、そこに発現する新しい機能を探索するとともに、それを用いた新しいナノエレクトロニクスを目指す。ナノ構造を利用すれば、電子の電荷のみならず、電子スピン、磁束、励起子などの素励起を1個単位で制御することが可能となる。それを利用して量子コンピューティングデバイスなど新規の量子ナノデバイスへの応用を目指す。対象とする材料もトップダウン的に作製するナノシリコントランジスタに加えて、カーボンナノチューブや半導体ナノワイヤ等の先端リソグラフィ技術では実現が困難なナノ構造を自己組織化的に形成する材料を用いる。また、トポロジカル絶縁体など新材料も用いる。それらを単体、あるいは超伝導体とハイブリッド化することにより高機能性の発現を目指す。同時に、ナノスケールの構造を局所的に計測する技術の開発を行う。これにより、シリコンエレクトロニクスとは相補的な新機能ナノエレクトロニクスの実現が可能であると考えている。

### (2) 2020年度成果と今後の研究計画(中長期計画2025年度まで)

我々が研究対象としている様々な“量子”の中で、電子スピンは最も基本的なものであろう。今年度この電子スピンを量子ビットとして利用することにより、簡単ではあるが基本的な量子シミュレーションを実証した。我々の量子ビットはシリコントランジスタの中に形成した個々のトラップ準位を利用する。シリコンを用いることの利点は、その微細加工技術においてこれまでの膨大なシリコンデバイスプロセス技術の蓄積を利用できることや、超微細にデバイスを作成できることから量子ビットの高温動作が可能なことである。具体的には、単一の量子ビットを用いて量子熱サイクルを模倣的に再現した。2種類（大、小）のエネルギーに方形波変調された量子ビットに2種（大、小）の周波数に方形波変調されたマイクロ波を照射した場合、量子ビットは以下の4つの状態を取りうる、i)量子ビットエネルギー大の0状態、ii)量子ビットエネルギー大の1状態、iii)量子ビットエネルギー小の1状態、そしてiv)量子ビットエネルギー小の0状態である。これらの4つの状態を循環的に遷移することは量子熱サイクルを模したものとなる。i)→ii)→iii)→iv)→i)…は、熱から仕事を取り出す“エンジン”サイクルとなる。逆サイクルi)→iv)→iii)→ii)→i)は与えられた仕事により環境から熱を奪う“冷凍機”サイクルである。実験ではこれら2サイクルの間の量子干渉効果を確認することができた。この実験系は熱機関に必須の熱浴は含んでいないが、観測された干渉効果そのものは実際の量子熱機関にも期待されるものであり、今回の実験で得られた知見は熱浴を含んだ量子熱機関にも適用可能であると考えている。



図：熱サイクルの模式図（左図）とプロセス間の干渉を示すパターン

### (3) 研究室メンバー

(2020年度)

石橋幸治 (主任研究員)

伴芳祐 (特別研究員)

南任真史 (専任研究員)

岡本隆之 (特別嘱託研究員)

山口智弘 (専任研究員)

細田雅之 (客員研究員)

大野圭司 (専任研究員)

浅野頼子 (アシスタント)

Russell S. Deacon (専任研究員)

坂井陽子 (パートタイマー)

飛田聡 (研究員)

### (4) 発表論文等

1. "Analog of a Quantum Heat Engine Using a Single-Spin Qubit", K. Ono, S. N. Shevchenko, T. Mori, S. Moriyama, Franco Nori, Phys. Rev. Lett. **125**, 166802 (2020)
2. "Hard-Gap Spectroscopy in a Self-Defined Mesoscopic InAs/Al Nanowire Josephson Junction", Patrick Zellekens, Russell Deacon, Pujitha Perla, H. Aruni Fonseka, Timm Mörstedt, Steven A. Hindmarsh, Benjamin Bennemann, Florian Lentz, Mihail I. Lepsa, Ana M. Sanchez, Detlev Grützmacher, Koji Ishibashi, and Thomas Schäpers, Phys. Rev. Applied **14**, 054019 (2020)
3. "Spin filtering in germanium/silicon core/shell nanowires with pseudo-helical gap", Jian Sun, Russell S. Deacon, Xiaochi Liu, Jun Yao, and Koji Ishibashi, Appl. Phys. Lett. **117**, 052403 (2020)
4. "Directly Probing Effective-Mass Anisotropy of Two-Dimensional ReSe<sub>2</sub> in Schottky Tunnel Transistors", Liu, Xiaochi, Yuan, Yahua, Wang, Zhongwang, Deacon, Russell S., Yoo, Won Jong, Sun, Jian; Ishibashi, Koji, Phys. Rev. Appl. **13**, 044056 (2020)
5. Rui Wang, Jian Sun, Russell S. Deacon, Koji Ishibashi (invited), "Spin-Orbit Interaction in a Hole Nanowire and its Applications for Hybrid Quantum Systems", 2020 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2020), Online, Sep. 27th-30<sup>th</sup>, 2020

Laboratory Homepage

[https://www.riken.jp/research/labs/chief/adv\\_device/](https://www.riken.jp/research/labs/chief/adv_device/)

[http://www2.riken.jp/lab-www/adv\\_device/index.html](http://www2.riken.jp/lab-www/adv_device/index.html)