

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) 2019年度成果と今後の研究計画(中長期計画2025年度まで)

ここ数年、新しい量子担体としてコヒーレンスの維持という点で優れているとされるマヨラナ粒子の探索とそれにかかわる物理、そして、将来のトポロジカル量子ビットへ向けた研究を開始している。マヨラナ粒子はスピン軌道相互作用が大きな半導体ナノワイヤに超伝導を誘起した系、トポロジカル絶縁体に超伝導を誘起した系などに現れることが理論的に予測されており、デバイス応用の観点から、我々もこの2つの系に着目している。前者においては、数年前からT. Scheepers教授(ドイツJulich研究所)のグループと共同でInAsナノワイヤからなるジョセフソン接合をマイクロ波回路共振器と組み合わせて、マヨラナゼロモードにかかわるエネルギースペクトルを測定することを目指している。後者においては、特に2次元トポロジカル絶縁体(2DTI)に着目している。これまで、L. Molenkamp教授(ドイツWurzburg大学)のグループと共同で2DTIであることが実験的に確認されているHgTe薄膜でやはりマヨラナゼロモードにかかわるエネルギースペクトルの測定を目指している。InAs、HgTeを用いたジョセフソン接合とマイクロ波共振器を結合させるデバイス作製プロセスの開発が重要である。本年度は、ジョセフソン接合を持つ基板と共振器構造を持つ基板を張り合わせる技術の開発を行った。さらに、最近、層状物質である WTe_2 の単層2次元薄膜が2DTIであることが実験的に報告され、我々も、それを用いたジョセフソン接合形成プロセスを開発した。いまだに十分な再現性を得られていないが、超伝導電流を流すことに成功した。しかし、2DTIに特有のヘリカルエッジチャンネルが形成されることの確認には至っていない。

我々は、量子情報担体として、電子の電荷・スピン、光子、励起子、マヨラナ粒子に着目しているが、それぞれ特徴(長所・短所)がある。したがって、それぞれの特徴を生かすため、それらをハイブリッドした量子情報システムの基礎技術を目指している。そのための基本原理としてマイクロ波光子との相互作用、マヨラナゼロモードの実証的観測、さらに超伝導量子ビットとのハイブリッド化に向けた研究へと進めたい。また、量子情報処理が行われるマイクロ波周波数と通信で重要となる光領域の周波数変換技術に向け、カーボンナノチューブ量子ドットの励起子発光とその制御に向けた研究を行う。

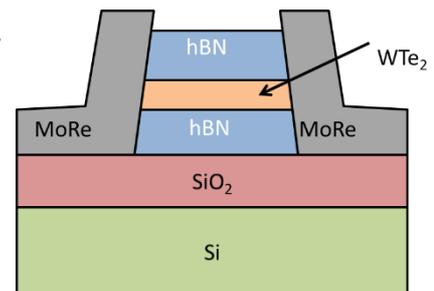


図: WTe_2 2次元薄膜を用いたジョセフソン接合デバイスの模式図

(3) 研究室メンバー

(2019年度)

(主任研究員)

石橋幸治

(専任研究員)

南任真史、山口智弘、大野圭司、
Russell S. Deacon

(研究員)

飛田聡

(特別研究員)

伴芳祐

(特別嘱託研究員)

岡本隆之

(客員研究員)

細田雅之

(研修生)

Norizzawati M. Ghazali、島龍之介、
寺林真輝、稲田春来

(アシスタント)

浅野頼子

(研究パートタイマー)

坂井陽子

(4) 発表論文等

1. "Fabrication of tunnel barriers and single electron transistors in suspended multi-wall carbon nanotubes", Norizzawati M. Ghazali, Hiroshi Tomizawa, Noriyuki Hagiwara, Katsuya Suzuki, Abdul M. Hashim, Tomohiro Yamaguchi, Seiji Akita, and Koji Ishibashi, AIP Advances, **9**, 105015 (2019).
2. "Thermal Conductivity of a Supported Multi-Walled Carbon Nanotube", Fabian Könnemann, Morten Vollmann, Tino Wagner, Norizzawati Mohd Ghazali, Tomohiro Yamaguchi, Andreas Stemmer, Koji Ishibashi, Bernd Gotsmann, The Journal of Physical Chemistry C **123**, 12460-12465 (2019).
3. "Gate Tunable Hole Charge Qubit Formed in a Ge/Si Nanowire Double Quantum Dot Coupled to Microwave Photons", Rui Wang, Russell S. Deacon, Jian Sun, Jun Yao, Charles M. Lieber, Koji Ishibashi, Nano Lett. **19**, 1052 (2019).
4. "Quantum structures with carbon nanotubes" (invited), K. Ishibashi, 700. WE-Heraeus-Seminar on One-Dimensional Systems for Quantum Technology, Physikzentrum, Bad Honnef, Germany, June 16th-19th, 2019.

Laboratory Homepage

https://www.riken.jp/research/labs/chief/adv_device/

http://www2.riken.jp/lab-www/adv_device/index.html