



## スピン軌道相互作用を持つ1次元電子の電子輸送特性の研究

ナノマイクロ科学および  
その関連分野

研究者所属・職名 : 創発物性科学研究センター・研究員

ふりがな まつお さだしげ

氏名 : 松尾 貞茂

主な採択課題 :

- [基盤研究\(B\)「強いスピン軌道相互作用を持つ1次元電子系の物性解明と超伝導接合への展開」\(2018-2020\)](#)
- [若手研究\(A\)「ナノ細線を介した超伝導輸送現象と電子構造の相関」\(2015-2017\)](#)

分野 : ナノデバイス量子物性、半導体

キーワード : ジョセフソン効果、クーパー対、超伝導近接効果

## 課題

### ●なぜこの研究をおこなったのか？(研究の背景・目的)

スピンと軌道に強い相関を形成するスピン軌道相互作用が織りなす物理現象に注目が集まっており、強いスピン軌道相互作用を持つ1次元電子系の物性の理解は重要な課題である。特に、強いスピン軌道相互作用をもつ1次元電子系は超伝導体との接合系においてマヨラナ粒子を実現することが期待され、その兆候が報告されてきていた。そこで、1次元電子系におけるスピン軌道相互作用の役割を解明し、マヨラナ粒子の実証につながる基礎学理の確立を目指して研究を行った。

### ●研究するにあたっての苦労や工夫(研究の手法)

電子線リソグラフィーを用いた半導体材料と超伝導体の接合デバイスの作製を行い、極低温での超伝導電流や電子状態の測定を行った。特に、半導体材料であることの利点である電気制御性を利用し、半導体中の電子状態の制御を行いながら観測される超伝導現象の研究を行った。研究にはナノ細線として自己形成型InAs ナノ細線および選択的領域成長型のナノ細線を、量子細線として半導体InAs 量子井戸から切り出された量子細線を用いた。

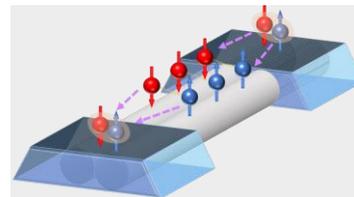


図1 ナノ細線デバイスの模式図。クーパー対分離が起きている様子を概念的に示している。

## スピン軌道相互作用を持つ1次元電子の電子輸送特性の研究

ナノマイクロ科学および  
その関連分野

### 研究成果

#### ●どんな成果がでたか？どんな発見があったか？

まず、強いスピン軌道相互作用を持つInAs量子細線の電子輸送について、電圧および温度を変化させた場合の電流の測定を行った。測定データを解析した結果、すべてのデータが一本の曲線上に乗ることがわかった。これは、InAs量子細線が朝永ラッティンジャー液体性と呼ばれる普遍的な1次元電子の物性を有していることを示している。これは、強いスピン軌道相互作用があっても朝永ラッティンジャー液体性が生じることを示した初めての成果で重要なものである。また、InAsナノ細線を二本並列にならべ、その上から二つの超伝導電極を作製したジョセフソン接合デバイスの電子輸送特性に関する実験も行った。その結果、超伝導体内のクーパー対を形成する2つの電子がそれぞれ異なる細線へと分離して超伝導電極間を輸送されるクーパー対分離現象の観測に成功した。これまでクーパー対分離は量子ドットを用いた系でのみ観測されてきたが、このデバイスでは電子輸送が超伝導電極間において散乱なく弾道的に起こるため、本研究で初めて弾道的な1次元電子系を介してもクーパー対分離が起きることが実証された。本研究成果は2本の量子細線の超伝導接合を用いてマヨラナ粒子を実現するための要素技術の確立に成功したことにも対応しており、その意味でマヨラナ粒子の物理の発展にも寄与するものである。

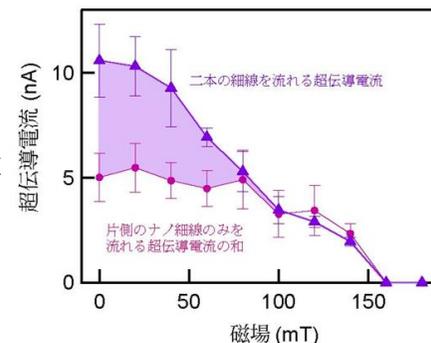


図2 観測されたクーパー対分離を示す実験結果。紫色で塗られた部分に対応する超伝導電流がクーパー対分離による寄与になっている。

### 今後の展望

#### ●今後の展望・期待される効果

朝永ラッティンジャー液体性の検証成果は強いスピン軌道相互作用を持つ1次元電子系に関する今後の研究の基盤となる知見を与えており、今後この知見を利用したスピンデバイスの展開などが期待できる。またクーパー対分離に関してはマヨラナ粒子の実現に加え、コヒーレントにクーパー対分離が起きることで形成される非局所的な超伝導相関の実現やその制御へと展開すると期待される。