

# 論文審査の結果の要旨

氏名 岩崎 優

本論文は6章からなる。第1章は、序論であり、本研究の目的と論文の構成が簡潔に述べられている。スピン軌道相互作用（SOI）が強い固体中では、電子のスピンと軌道運動が密接に関連することにより生じる物理現象を観測することができる。本論文では、強い Rashba 型 SOI を有する半導体微細構造を用いて、二つの量子輸送現象の研究が行われた。

第2章では、本論文を理解する上で必要となる基礎的事項に関する説明や先行研究の紹介など、本研究の背景に関して述べられている。

第3章では、電子線リソグラフィ法を用いた微細加工による試料作製、希釈冷凍機温度での電気伝導測定、数値計算の手順など、研究手法に関して述べられている。

第4章では、本論文で最も重要な成果である Zitterbewegung による伝導度揺らぎに関する実験結果と考察が述べられている。Zitterbewegung (ZB) とは、1930年に Schrödinger によって予想された Dirac 方程式で記述される相対論的粒子の震え運動であり、イオントラップ系や冷却原子系など Dirac ハミルトニアンを模した実体モデルにおいて再現されているものの、電子系でこれを明確に観測したと言い切れる先行研究はない。Rashba 型 SOI が強い半導体2次元電子系では、ZB による電荷の蛇行が生じることが理論的に予言されており、本論文ではその実証を目指した。スピン偏極した電子の注入および検出を行うためにはスピフィルターが必要となるが、本論文では最も大きなスピン偏極が得られるように伝導度を調整した量子ポイントコンタクト (QPC) が用いられた。数  $\mu\text{m}$  程度の距離に置かれた二つの QPC の直列抵抗を磁場中で測定したところ、極低温で再現性のある伝導度揺らぎが観測された。この揺らぎは、QPC 間の2次元電子領域において ZB が磁場変調を受け、不純物散乱を介することにより観測可能な抵抗変化として現れた結果として説明された。二つの QPC の相対位置や磁場方位による違いもこのモデルによって理解することが可能であり、適当な散乱体を仮定した数値計算によって実験結果の定性的な振る舞いが再現されている。磁場による揺らぎとして、Aharonov-Bohm 効果に起因する普遍的伝導度揺らぎ (UCF) が良く知られているが、2次元面に平行な磁場によっても生じることや QPC を通らない伝導では現れないことなどから、今回の揺らぎが UCF によるものではないと結論付けられている。

第5章では、論文提出者の修士課程での実験結果の説明のために行った、量子ドット内におけるスピン回転に対する計算について述べられており、伝導度ピークの間において出力スピが大きく回転することなどの興味深い成果が報告されている。修士課程での実験において、スピン干渉によると考えられる伝導度の振動を観測した量子リング試料内で量子ドットが本当に形成されていたかは明らかとは言えず、この実験に対するモデルとしての妥当性には不確かな部分があるが、今後の研究に生かされる成果だと考

えられる。

第6章では、以上のまとめが述べられている。

本研究では、ZBと不純物散乱によるモデルによって説明できる伝導揺らぎの観測に成功した。この成果は物理学にとって大いに意義があると言える。また、数値計算を含む詳細な解析も適切に行われており、論文提出者の学識が高い水準にあることが示されている。

なお、本論文は、所属研究室の勝本信吾氏、中村壮智氏、橋本義昭氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって試料作製、電気伝導測定、データ解析および理論的考察を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。