

MERIT インターンシップ(国内)報告書

理学系研究科 物理学専攻

勝本研究室 博士課程2年

MERIT 7期生

清水 貴勢

実施期間

2019年10月1日～2020年3月31日

受け入れ先

NTT 物性科学基礎研究所 量子電子物性研究部 量子固体物性研究グループ

研究テーマ

電流雑音相互相関測定による量子ホール系物性研究

概要

2019年10月1日から6カ月間、NTT 物性科学基礎研究所の橋坂昌幸氏の指導の下、電流雑音測定用のトランスインピーダンスアンプ(電流アンプ)の開発を行った。NTT 物性科学基礎研究所は、物性科学において日本の企業研究所を代表する研究所であり、多くのインパクトの高い成果を創出していることで知られている。私は博士課程の研究で、量子ホールエッジ状態に関する物性について研究してきた。NTT 物性研の橋坂氏はこの分野における気鋭の若手研究者であり、特に電流雑音測定という独自技術を用いて優れた成果をあげている。企業研究所における基礎研究を体験し、また物性科学分野で活躍する先輩研究者から自らのキャリア形成のヒントを得るために、NTT 物性研の橋坂氏の下でインターンシップを行った。

研究内容

電流雑音測定は凝縮系の多体効果を明らかにするうえで強力な手段であり、これまでに分数量子ホール効果による分数電荷の検出といった重要な発見に寄与してきたが、これらは試料の一つの電極に生じる雑音を測定する自己相関測定であった。一方で、複数の電極に生じる雑音を別々に測定する相互相関測定は、測定精度の飛躍的向上が期待できるだけでなく、複数の準粒子間のエンタングルメントを検出できる可能性が理論的に示されており注目を集めている。しかし、LC共鳴回路を用いた従来の電圧測定方式では異なる電極間の寄生容量で生じる人為的な相関を取り除くことが難しいという問題があり、実験例は非常に少ない。最近、橋坂氏が開発した電流測定方式によってこの人為的な相関に関する問題は解決したが、電流アンプ自体の雑音が電圧測定方式よりも大きく、改善の余地があった。

そこで、本インターンシップでは極低温(~ 4 K)で動作する低雑音な電流アンプの開発を目指し

た。まず、市販の高電子移動度トランジスタ(HEMT)の代わりに NTT で作製した極低温動作に特化した HEMT を用いることで、測定周波数帯域を 2 倍に広げ、増幅率を 3 倍に高めることに成功した。また自己バイアス回路を採用することで、HEMT の個体差の影響を抑制し、更に電源配線数を 1/2 にすることを可能にした。

作製した電流アンプを希釈冷凍機内に設置し、量子ホール状態の試料が生じる電流雑音を測定することで性能の評価を試みた。残念ながらコロナウイルス流行の影響により実験に十分な時間を取ることができなかったが、予備測定の結果では測定器の雑音が約 1/5 に減少していることが分かった。測定周波数帯域が広がったことも踏まえると、これは同じ積算時間で比した際の測定精度が約 35 倍上昇したことを意味しており、従来の電圧測定方式と遜色ない精度である。この結果が正しければ、相互相関測定における従来の問題を解決した、実用的な高感度雑音測定系の開発に初めて成功したと言える。

所感

雑音測定系の立ち上げについて電流アンプの作製から希釈冷凍機への実装、実際の測定までを経験することができ、非常に有意義な実習となった。既存の測定系をただ使うだけでは得られない、雑音測定に必要な技術やコツを得ることができ、将来自ら雑音測定系を立ち上げるために必要な力が養われたように思う。

また、NTT 物性科学基礎研究所は企業の研究所であるため、大学の研究室との違いを知れたことは今後のキャリアを考えるうえで非常に有意義だったと感じている。例えばセキュリティや労務管理に対する意識が高く、職業として研究に携わるための心構えを学ぶことができた。一方で、実験設備・資金については長期的視野に立って計画的な整備・運用がなされているように見受けられた。研究所あるいは研究室の経営という観点でも、大きな刺激を受けた。更に、研究者のほとんどが博士号取得者であり、議論のレベルが高く刺激を受けた。

謝辞

ご多忙の中、私のインターンシップの申し出をご快諾頂き、懇切丁寧な指導をして頂いた橋坂様に深くお礼申し上げます。また、本インターンシップの受入れを許可して頂いたグループリーダーの村木様をはじめとする量子固体物性研究グループの方々に感謝申し上げます。最後に、長期インターンシップを承諾して頂いた指導教員の勝本先生、そして往復交通費を支給して頂いた MERIT プログラムに感謝いたします。