OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Development of Current Noise Measurement System and Non-equilibrium Transport in Quantum Hall Effect
Author(s)	Lee, Sanghyun
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/82007
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　Lee Sanghyun　）	
論文題名	Development of Current Noise Measurement System and Non-equilibrium Transport in Quantum Hall Effect (電流雑音測定系の構築と量子ホール効果における非平衡輸送)

論文内容の要旨

微細加工技術の発展により、電気伝導に関する特徴的な長さ（平均自由行程やコヒーレンス長など）よりも小さい素子を作製できるようになった。このような素子をメゾスコピック系と呼ぶ。メゾスコピック系における電気伝導は量子力学的な散乱問題として記述できる。これまで多くの研究が電気伝導度測定によって行われてきているが、電流雑音の測定によっても、電子の微視的な伝導過程に関して有用な情報が得られることが知られている。しかし、技術的な難易度が高いため、電流雑音測定を行う実験グループは世界的にみてもそれほど多くない。

本学位論文では、メゾスコピック系における電流雑音に関して二つのテーマに取り組んだ。一つは高精度の電流雑音測定系の開発であり、もう一つは量子ホール効果の崩壊にともなう電流雑音測定である。

これまで、高精度の電流雑音測定のためには信号のデータ数を増やし長時間の統計平均を行うか、あるいは、低温増幅回路の改良によって信号対雑音比を高める方法が用いられてきた。しかし、データ数を増やすために必要な長時間測定には現実的な限界があり、また、市販の高移動度トランジスタ（HEMT）を用いる低温増幅回路ではその性能に限界があった。そこで本学位論文では、GaAsヘテロ構造を用いて低温測定に適したHEMTを新たに設計・最適化した。開発したHEMTを低温増幅回路に組み込むことにより、従来よりも9倍の高効率をもつ電流雑音測定系の構築に成功した。

量子ホール効果は国際単位系（SI）において抵抗標準として用いられる重要な現象である。しかし、印加電流が過大になると量子ホール効果が崩壊することが知られており、その原因に関して、理論的・実験的研究が盛んに行われてきた。本学位論文では、グラフェン素子を用いて、キャリアのタイプ及びその密度を変調させながら量子ホール効果の崩壊にともなう電流雑音を系統的に調べた。その結果、崩壊の際に電流雑音が印加電流のほぼ二乗に比例して増大し、電子温度が測定温度の数100倍に達していることを明らかにした。この結果は、量子ホール効果の崩壊が電子散乱にともなう熱的なものであるという理論を支持する。

以上のように、本学位論文は、メゾスコピック系における電流雑音測定技術を進展させるとともに、量子ホール効果の崩壊現象のメカニズムについて重要な手がかりを与えるものである。いずれも、今後のメゾスコピック系の研究の発展にとって重要な貢献であると位置づけられる。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名	（　LEE SANGHYUN　）	
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査　教授	小林　研介
	副 査　教授	大岩　顕
	副 査　教授	浅野　建一
	副 査　准教授	宮坂　茂樹
	副 査　准教授	新見　康洋

論文審査の結果の要旨

微細加工技術の発展により、電気伝導に関する特徴的な長さ（平均自由行程やコヒーレンス長など）よりも小さい素子を作製できるようになった。このような素子をメゾスコピック系と呼ぶ。メゾスコピック系における電気伝導は量子力学的な散乱問題として記述できる。これまで多くの研究が電気伝導度測定によって行われてきているが、電流雑音の測定によっても、電子の微視的な伝導過程に関して有用な情報が得られることが知られている。しかし、技術的な難易度が高いため、電流雑音測定を行う実験グループは世界的にみてもそれほど多くない。

本学位論文では、メゾスコピック系における電流雑音に関して二つのテーマに取り組んだ。一つは高精度の電流雑音測定系の開発であり、もう一つは量子ホール効果の崩壊にともなう電流雑音測定である。

1 つ目のテーマについて述べる。これまで、高精度の電流雑音測定のためには信号のデータ数を増やし長時間の統計平均を行うか、あるいは、低温増幅回路の改良によって信号対雑音比を高める方法が用いられてきた。しかし、データ数を増やすために必要な長時間測定には現実的な限界があり、また、市販の高移動度トランジスタ（HEMT）を用いる低温増幅回路ではその性能に限界があった。そこで本学位論文では、GaAs ヘテロ構造を用いて低温測定に適した HEMT を新たに設計・最適化した。開発した HEMT を低温増幅回路に組み込むことにより、従来よりも 9 倍の高効率をもつ電流雑音測定系の構築に成功した。

2 つ目のテーマについて述べる。量子ホール効果は国際単位系（SI）において抵抗標準として用いられる重要な現象である。しかし、印加電流が過大になると量子ホール効果が崩壊することが知られており、その原因に関して、理論的・実験的研究が盛んに行われてきた。本学位論文では、グラフェン素子を用いて、キャリアのタイプ及びその密度を変調させながら量子ホール効果の崩壊にともなう電流雑音を系統的に調べた。その結果、崩壊の際に電流雑音が印加電流のほぼ二乗に比例して増大し、電子温度が測定温度の数 100 倍に達していることを明らかにした。この結果は、量子ホール効果の崩壊が電子散乱にともなう熱的なものであるという理論を支持する。

以上のように、本学位論文は、メゾスコピック系における電流雑音測定技術を進展させるとともに、量子ホール効果の崩壊現象のメカニズムについて重要な手がかりを与えるものである。いずれも、今後のメゾスコピック系の研究の発展にとって重要な貢献であると位置づけられる。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。