

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	量子ホールエッジチャンネルにおける非平衡電子のエネルギー緩和
Title(English)	Energy relaxation of non-equilibrium electrons in quantum Hall edge channels
著者(和文)	太田智明
Author(English)	Tomoaki Ota
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10719号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:藤澤 利正,吉野 淳二,大熊 哲,古賀 昌久,河野 行雄
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10719号, Conferred date:2018/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		太田 智明	
		氏名	職名		氏名	職名	
論文審査 審査員	主査	藤澤 利正	教授	審査員	河野 行雄	准教授	
	審査員	吉野 淳二	教授				
		大熊 哲	教授				
		古賀 昌久	准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、"Energy relaxation of non-equilibrium electrons in quantum Hall edge channels (量子ホールエッジチャンネルにおける非平衡電子のエネルギー緩和)"と題し、強磁場中の二次元電子系の試料端に形成されるエッジチャンネルにおける非平衡電子のエネルギー緩和に関する実験研究について述べたものである。エッジチャンネルの一次元電子系におけるエネルギー分光測定技術を確立するとともに、電子電子散乱や光学フォノン散乱などのエネルギー緩和過程を系統的に調べ、エッジの静電ポテンシャル形状を調整することによって緩和を抑制し、長距離のバリステック伝導の観測に成功したものである。博士論文は6章から構成されており、各章は以下のように要約される。

第1章 Introduction では、本研究の背景と目的について述べたあと、量子ホールエッジチャンネルにおける代表的なエネルギー緩和メカニズムとして電子電子相互作用と光学フォノン散乱について概説し、緩和過程を調べるためのエネルギー分解測定手法の特徴がまとめられている。さらに、本論文でなされた3つの主要な成果の概略が述べられている。

第2章 Quantum Hall device では、量子ホール系の特徴や量子ホール素子の要素技術について述べられている。GaAs 系半導体ヘテロ構造による二次元電子系、強磁場印加によって形成されるランダウ準位、試料端に形成されるエッジチャンネル、さらに量子ポイント接合や量子ドットによるエネルギー分光測定の基本原理が述べられている。また、関連する研究として、低エネルギー励起における朝永ラッティンジャー流体の性質や、高いエネルギー領域での光学フォノン散乱について詳細に述べられている。

第3章 Shot noise spectroscopy for a $\nu = 1$ edge channel では、ランダウ占有率が1における単一エッジチャンネルでのショット雑音分光測定について述べられている。占有率1のエッジチャンネルは、最も単純な電子チャンネルであるとみなすと、電子電子散乱による緩和がおこらない理想的な一次元系であると予測される。しかし、低電子密度領域のスカームイオン励起や分数量子ホール効果が発生することなどが知られており、決して単純な系ではない。実験的にも、多体効果によって量子ドットによるエネルギー分光技術を用いることができないなど、未開拓の領域である。本論文では、強磁場中でも動作できる量子ポイント接合を用いて、分配過程で発生するショット雑音の測定によって、電子のエネルギー分光測定が可能であることを提案し、実験的に実証することに成功した。特に、2つの量子ポイント接合を直列に接続することにより、第一量子ポイント接合で非平衡状態を形成し、エッジチャンネルを伝搬した非平衡電子を、第二の量子ポイント接合によってエネルギー分光測定することで

緩和過程を調べることができるとしている。実験では、電位の定まっていないフローティングオーミック接合を用いて熱平衡状態に緩和した状態を参照信号として、ショット雑音分光測定を検証した。さらに、占有率1の量子ホールエッジチャンネルにおいても顕著な緩和現象がみられることを明らかにした。その緩和過程は十分に明確にはなっていないが、いくつかの可能性について述べられている。

第4章 Hot electron spectroscopy on optical phonon and electron-electron scattering では、フェルミ準位よりも大きなエネルギーをもつホットエレクトロンのエネルギー緩和過程に関する研究成果が述べられている。通常、ホットエレクトロンは様々な散乱によって容易に緩和すると思われがちであるが、エッジポテンシャルの調整によって数 $10\mu\text{m}$ の長い緩和長を有することを見出した。実験では、量子ポイント接合からホットエレクトロンを注入し、別の量子ポイント接合によって電子のエネルギー分光測定を行った。まず、光学フォノン放出による緩和過程に注目すると、その始状態と終状態の波動関数の重なりに依存することから、エッジポテンシャルの調整によってフォノン散乱を著しく抑制できることを見出している。さらに、電子電子散乱についても、非線形のエッジポテンシャルによってエネルギー保存と運動量保存が満たされず、緩和が抑制されることを明らかにした。また、これらの知見を活かして、さらに長い緩和長を得るための素子構造を提案している。

第5章 Energy spectra of monochromatic excitations では、量子ホールエッジチャンネルに高周波のプラズモンを励起した場合におけるエネルギー分布関数を量子ドット分光によって調べた結果について述べられている。低エネルギー励起においては、集団励起であるプラズモンが安定的に伝搬すると考えられているが、そこでの電子の分布関数については注目されていなかった。本論文では、プラズモン干渉効果によってプラズモン励起が消失している場合に、十分に冷えた電子系を示すことを実験的に示したもので、プラズモンが安定的に励起されていることを示した。

第6章 Summary では、量子ホールエッジチャンネルにおける緩和現象に関する一連の研究成果についてのまとめが述べられており、これからの研究課題について述べられている。

さらに、Appendix では、本研究の遂行に必要なとなる理論的考察について述べられており、Landauer-Buttiker 方程式による輸送現象の扱い、散乱理論によるショット雑音エネルギー分光の定式化、光学フォノン散乱の緩和長の理論計算などが述べられている。

以上を要するに、本論文では、量子ホールエッジチャンネルにおける非平衡電荷の緩和過程を系統的に調べたものである。ショット雑音分光測定技術の開拓や、電子電子散乱・光学フォノン放出を顕著に抑制できることを示した点で、独自性の高い内容であり、研究の発展性も期待される。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分に価値のあるものと認められる

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。