



Title	Nonlocal QuantumTransport through the Edge State in Two-Dimensional Electron Systems
Author(s)	音, 賢一
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	https://doi.org/10.11501/3067932
DOI	10.11501/3067932
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

氏名	おと 賢 一
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学位記番号	第 1 0 8 6 5 号
学位授与年月日	平成 5 年 6 月 29 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科 物理学専攻
学位論文名	Nonlocal Quantum Transport through the Edge State in Two-Dimensional Electron Systems (エッジ状態による 2 次元電子系の非局所量子伝導)
論文審査委員	(主査) 教授 邑瀬 和生 (副査) 教授 櫛田 孝司 教授 都 福仁 助教授 鷹岡 貞夫 助教授 阿久津泰弘

論 文 内 容 の 要 旨

低温・強磁場における 2 次元電子系の電気伝導の実験により非局所効果を詳しく研究した。高い電子易動度を有する GaAs/AlGaAs ヘテロ接合を微細加工して、 μm 以下のサイズの極微細線から mm 程度まで、様々に大きさを変えた試料を作製した。抵抗率が試料の形状、電流の大きさや測定に用いる電極の性質などの影響を強く受けることがわかった。これは局所的な電気伝導率テンソルを考える古典論では説明できない現象である。電気伝導の非局所性は試料の端に沿ったエッジ状態が存在するためである。

つぎに、高易動度 GaAs/AlGaAs ヘテロ接合から作製した試料で、電流経路と電圧測定端子対を分離して非局所抵抗を測定した。非局所抵抗はエッジ状態とバルク状態が共存して電流を運んでいるため生じることを、ランダウアー・ビュティカーの伝導モデルを用いて定量的に説明した。さらに、非局所抵抗は Si-MOSFET 試料でも現れることを見出し、電気伝導の非局所性が 2 次元電子系に共通した性質であることを確認した。

測定に用いた電極の性質によっては、4 端子抵抗が負となるような異常が観測される。この「悪い電極」を電流供給源に用いると、エッジ状態やバルク状態に対して不均等に電流が配分される。また、電圧測定端子として用いたときは、エッジ状態やバルク状態の電子を選択的に検出する。負の抵抗は「悪い電極」がそれぞれの状態に対して不均等に電子を授受し、そこで生じた異常な電流分布が伝導の途中で緩和しないために生じる。電極での電子の透過率をゲートで制御できるような試料を作製して、このことを実験的に検証するとともに、エッジ状態間のエネルギー緩和長を測定した。負抵抗が観測される条件下で、エッジ・チャンネルが 2 つのときの緩和長は 0.1mm 程度とマクロな長さであることが分かった。

電極内部で、エッジ状態やバルク状態の電子の化学ポテンシャルが平衡化する。このため、測定に用いられているかどうかによらず、試料に付いているすべての電極が電気伝導に影響を与える。これも伝導の非局所性の現れである。

つぎに、試料の端にゲートを付けて 2 次元電子系の閉じ込めポテンシャルの様子を制御した。ポテンシャルの様子でチャンネル間の距離が変わり、エッジ状態のエネルギー緩和長が変化するため、非局所性が大きく影響を受けることを見いだした。

さらに、GaAs/AlGaAs ヘテロ接合の2次元電子系と、その上に付けたゲートの間の静電容量を精密に調べた。量子ホール効果のプラトーが観測される条件下では、フェルミ準位はランダウ準位の局在領域にある。このときエッジ状態だけにキャリアを供給できるため、静電容量は主としてエッジ・チャンネルの面積で決まると考え、実験値からエッジ・チャンネルの幅をはじめて見積もった。また、フェルミ準位での電子の状態密度が静電容量に反映するという、これまでに提唱されていたモデルを否定した。

論文審査の結果の要旨

半導体界面の二次元電子系やメゾスコピック電子系は低温、磁場中で多彩な量子伝導現象を示すことで現在非常に活発な研究対象になっている。音君は量子ホール効果に関わるエッジ電流の重要性に着目して、いろいろなサイズの二次元電子系における電気伝導の非局所効果を極めて系統的に研究し、ゲート、端子、エッジ電流、バルク電流の役割と相互関係を見事に解明した。新しい独自の方法によるエッジ電子のエネルギー緩和長、精密電気容量測定によるエッジ・チャンネルの幅の決定など多くの新しい知見を得ている。

本論文は半導体物理学の分野に大きな貢献をするとともに、基礎と応用の諸分野に著しい影響を与えるもので、博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。