

論文審査の結果の要旨

氏名 原 正大

本論文は4章からなる。第1章はイントロダクションであり、変調磁場下での電子輸送、試料境界での拡散的散乱、負の曲げ抵抗、普遍的コンダクタンス揺らぎ、量子ホール効果などの本論文の基礎となる現象についてそれぞれ説明が行われ、さらに研究の動機が記されている。第2章は狭いチャネルをもつ半導体ヘテロ構造二次元電子系試料の上に磁性体をのせた試料構造についての説明と、磁性体の漏れ磁場を用いて二次元電子系に空間磁場変調を与える手法についての説明が行われている。第3章が本論文の中心で、4つのテーマに対する実験結果と考察が行われている。最後に第4章で本研究のまとめが述べられている。

空間変調磁場下におかれた二次元電子系においては、垂直磁場の符号が変わる境界線に沿って電子が蛇行しながら運動する状態 (snake state) が存在することが、古典的考察から予想されている。これまで次元周期変調磁場下での研究が盛んに行われ、正の磁気抵抗効果が snake state に基づいて説明されている。本論文では、より直接的な知見を得るために、微細加工技術を駆使して作製された幅の狭い二次元チャネル (1500nm または 1800nm) の中心上にさらに狭い幅 (500nm) をもつ磁性体細線を一本のせた試料が用いられている。磁性体細線からの漏れ磁場によってチャネル中心付近に作られた snake state において、電流は磁場勾配に垂直な一方の方向に流れるためにチャネル方向に対する対称性が破られる。これに関連した二つの現象が報告されている。一つは、チャネルを流れる電流の向きによって抵抗に違いが現れる現象である。同様な実験は Bath 大グループによってすでに報告されているが、本論文では電流依存性に関する詳細な測定を行い、妥当と思われる試料境界での拡散的散乱に着目した解釈を行っている。チャネルの端部では snake state による電流を打ち消す向きに電流が流れていると考えられるが、この部分では大きな境界散乱が存在する。本論文では、snake state がいない場合における電流電圧特性から境界散乱の電流に対する依存性を調べ、それに基づき snake state が存在する場合のチャネル抵抗の電流方向に対する異方性の説明を行っている。

snake state に関連したもう一つの実験が、snake state をもつチャネルと磁性体をのせていない同じ幅のチャネルを直交させた十字接合を含む試料で行われた。十字接合においては電子の弾道性に起因する負の曲げ抵抗が存在することが知られているが、本論文では、勾配磁場の向き (snake state の電流の向き) によって負の曲げ抵抗が増大したり抑制されたりすることと、勾配磁場領域をまたぐ二端子抵抗が磁気バリア効果で増大することが観測された。これらの実験結果を再現するために電極間の透過率に対する

計算が古典的なピリヤードモデルに基づき行われ、Landauer-Büttiker 公式より空間変調磁場による抵抗変化に換算された。計算結果は実験結果よりも若干大きいものの、不純物散乱や十字部分の角が多少丸みを持つことなどを考慮するとコンシステントであった。

さらに本論文では、普遍的コンダクタンス揺らぎと量子ホール効果に関する実験が行われている。普遍的コンダクタンスの揺らぎの測定では、100mK 前後の低温領域において、勾配磁場下での揺らぎの大きさが一様磁場下でのそれよりも大きくなることが観測され、それに対する考察が行われているが、勾配磁場下と一様磁場下での結果に違いが見られない試料もあった。また、量子ホール効果の実験では、遷移領域において空間変調磁場による対角抵抗の抑制が観測された。この結果は、チャンネル中心でランダウ準位充填率が空間変化するために非局在状態がチャンネル全体に広がれず、後方散乱が抑制された結果として理解される。

以上、本論文では、微小磁性体／半導体二次元電子系複合構造試料を用いて勾配磁場中の電子輸送に関する4つのテーマに対する研究が行われた。試料作成および磁場方位を制御した極低温下での電気伝導測定は、いずれも高度な技術を要するものである。また、実験結果に対する考察も様々な視点から適切に行われており、論文提出者の力量が博士に適うものと判断できる。

なお、本論文は家泰弘氏、勝本信吾氏、遠藤彰氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって研究計画の立案、試料作成および電気伝導測定の遂行、実験結果の解析・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、審査委員全員一致で、博士（理学）の学位を授与できると認める。

以上