

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 小早川 将子

有機導体や層状酸化物などの層状低次元導体では層間磁気抵抗が磁場方位の関数として振動的・共鳴的構造を示す各種の磁気抵抗角度効果が観測される。これらはフェルミ面上の電子軌道運動に起因する半古典効果であると考えられ、フェルミ面研究手法の1つとして利用されている。一方、物質によって磁気抵抗は異常な角度依存性を示し未解決の問題となっていた(バックグラウンド反転問題)。本論文は、「半導体多層系における角度依存層間磁気伝導」と題し、層状低次元導体の磁気抵抗角度効果の理解と未解明問題の解決を目的として、人工的に設計可能な層状低次元導体である半導体超格子を利用して行った実験的研究の結果について記述したものである。

第1章「序論」では、本論文の目的、構成について述べられている。

第2章「背景と実験方法」では、磁気抵抗角度効果、層間コヒーレンス、Stark サイクロトロン共鳴、電場ドメインなど、本研究の背景となる概念が簡潔に説明されている。また分子線エピタキシー法による GaAs/AlGaAs 系多層膜の成長や低温強磁場下の伝導測定など、本研究で用いられた実験技術について説明されている。

第3章「量子極限における角度依存磁気抵抗効果とトンネル描像」では、強磁場量子極限近傍での AMRO の振舞が述べられている。少数の Landau 準位しか占有されない量子極限近傍では AMRO の半古典描像は破綻する。強磁場極限の AMRO を調べる目的で、容易に量子極限近傍が実現できる GaAs/AlGaAs 半導体超格子を用いて Shubnikov-de Haas 振動が共存する低温領域で実験を行った結果、半古典条件からの AMRO の逸脱、強磁場における AMRO の消失などを実験的に示し、量子論的トンネル描像の正当性を実証している。

第4章「少数層系の角度依存磁気抵抗効果と層間コヒーレンス」は、本論文の中核をなす部分であり、人工的に設計可能な GaAs/AlGaAs 系で作製した少数層系の層間磁気抵抗の振舞について述べられている。実験の目的は少数層内で起こる局所効果の抽出であり、各現象の起源が隣接層間トンネル現象のような局所効果か軌道運動に対応するバルク効果かを判定できる。また層間トンネル時間間隔が層内散乱緩和時間より長い系(「層間結合がコヒーレントな系」)か否かにも注目している。少数層系にしても AMRO は残るがコヒーレント系のピーク効果は消失することを確認し、「AMRO は隣接層間の局所的トンネル現象であり、ピーク効果は多層に渡るバルク効果である」とするトンネル描像の主張を実証した。またインコヒーレント系のバックグラウンド反転が少数層系でも残ることを見出し、反転の起源がコンファインメントなどの軌道効果ではなく局所効果にあることを示した。さらにインコヒーレント系の弱局所的ピーク効果についても議論している。

第5章「傾斜磁場下における電場ドメイン」では、層間方向電場下の半導体超格子における磁場中電場ドメインの形成と構造について議論されている。サブバンド準位が共鳴し

た従来の電場ドメインに対し、傾斜磁場下では各伝導層のランダウ準位が共鳴した新しいクラスの電場ドメインが出現することが、本研究室の蔵口らによって見出されている。本研究ではこれを精密化し、ドメインの存在領域を電場・磁場方位・磁場強度の関数として詳細に調べ、トンネル描像による隣接層間トンネル確率の変動による層間伝導と比較した。その結果、ドメイン形成による電流・電圧特性の平坦部は、Stark サイクロトロン共鳴電圧に挟まれており、各共鳴に対応する2つの電場ドメインが形成されていることを示した。

第6章「電場中角度依存磁気抵抗振動と電子軌道カオス」では、層間電場・傾斜磁場下の擬2次元導体における電子軌道カオスの発生条件に関する議論が行われている。Fromhold らは電場中擬2次元系の層間伝導の角度依存振動を電子軌道運動のカオスの様相の変化によって説明した。この是非を判定する目的で、カオス発生条件をフェルミ面形状に関連付けて考察した結果、ゼロ電場極限では双曲型不動点を含む電子軌道が存在することがカオス発生の必要条件であること、有限電場ではカオス領域は広がるが角度依存振動が起こる領域をカバーしていないことを示し、カオスモデルで全ての振動を説明できるわけではないことを指摘している。

第7章「総括」では、以上の研究の概要がまとめられている。

以上を要約すると、本研究は層状低次元導体の磁場中層間伝導の諸問題を、人工的に設計可能な半導体超格子を利用して解明したもので、各磁気抵抗角度効果の起源などに関する新しくかつ重要な知見を見出しており、物理工学、物性物理学の発展に寄与するところが極めて大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。