

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 藏口 雅彦

半導体超格子の層間伝導については、Esaki らの先駆的研究以来極めて多くの研究が行われており、現在でも物理工学上の重要な研究主題となっている。本論文は「半導体超格子における磁場中輸送現象の研究」と題し、磁場中における半導体超格子の層間伝導に対する層間コヒーレンス、強電場、量子 Hall 端状態の効果について研究したものである。

第1章「序論」では、本論文の背景、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、擬2次元電子系(多層系)、角度依存磁気抵抗効果、Stark ラダーと Stark サイクロトロン共鳴、電場ドメイン、多層系の量子 Hall 効果など本研究の背景となる半導体超格子の物性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 系超格子の結晶成長や低温強磁場環境下での電氣的測定など、本研究で用いられた実験技術について説明がなされている。

第3章「層間コヒーレンスと角度依存磁気抵抗効果」では、層間結合がインコヒーレントな超格子における角度依存磁気抵抗振動について述べられている。半導体超格子などの層状物質の層間磁気抵抗が磁場方位の関数として示す角度依存磁気抵抗振動(AMRO)現象は、擬2次元系の柱状 Fermi 面の形状効果として半古典輸送理論により説明されてきた。しかし層間トンネル時間が層内散乱時間より長く、電子が層内散乱なしには隣接層に移動できないインコヒーレントな層間結合を持つ系では、Fermi 面が定義できない。本論文では層間結合がコヒーレントな系とインコヒーレントな系を半導体超格子で作製し、両者の磁気抵抗の角度依存性を調べ、Fermi 面の有無との関連を議論している。AMRO が Fermi 面が存在しないインコヒーレント系でも現れることを示し、Fermi 面の存在が AMRO 発現の必要条件ではないことを実証している。また両系で磁気抵抗の角度依存性の概形が異なることも報告している。

第4章「電場下における角度依存磁気抵抗効果」では、前半の4.1節で電場が超格子に均一にかかる場合の磁場中層間伝導について述べられている。まず電場下で磁場方位を傾けた場合に層間電流が磁場方位の関数として振動することを実験的に示し、これが零電場極限で見られる AMRO を有限電場に拡張した現象であることを指摘している。次に傾斜磁場下における層間伝導の Stark サイクロトロン共鳴を半古典的に考察することにより、観測された振動現象が Stark サイクロトロン共鳴の共鳴強度の振動に起因していることを明らかにしている。このモデルは均一層間電場下での任意磁場方位における層間伝導を一般的に記述するものであり、これを用いて予測された平行磁場配置での新たな共鳴現象の観測にも成功している。

後半の4.2節では、電場の異なる複数の電場ドメインが形成される場合について議論されている。垂直磁場はドメイン形成に影響せず、平行磁場はドメイン形成を抑制するこ

とが従来知られている。これに対し傾斜磁場の電場ドメインに対する影響を実験的に調べた結果、ドメイン形成による電流-電圧特性の平坦部が、Stark サイクロトロン共鳴条件を満たす電圧で複数の平坦部に分割されることを見出している。この結果を各伝導層の Landau 準位が共鳴した新しいクラスの電場ドメインの形成として説明している。また Fermi 準位が Landau 準位中央付近にある場合は、Landau 準位間の共鳴が強く電場ドメイン形成が助長されることも示されている。

第5章「多層量子ホール系における表面伝導」では、量子 Hall 領域における超格子の層間伝導についての研究結果が述べられている。超格子のような多層系の量子 Hall 状態では、各層のエッジ状態が結合したカイラル表面状態が形成され、温度依存性などに特異な伝導特性が現れることが理論的に議論されている。本論文では多層量子 Hall 系の表面状態による伝導の温度磁場依存性を広い領域で実験的に調べることを企図している。表面伝導を調べるためには、測定された層間伝導からバルク伝導の寄与を除かねばならない。そのために表面伝導を強調するよう設計された異なる形状を持つ複数の試料を作製し、バルク伝導の寄与をキャンセルするようデータ処理を行っている。その結果、温度磁場空間において表面伝導は量子 Hall 領域の縁で増大することを見出している。そしてその起源を表面状態とバルク状態の混成により説明している。

第6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、本研究は半導体超格子の磁場中層間伝導の諸問題を総括的に整理・解明したもので、多くの新しい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。