

論文審査の結果の要旨

氏名 森 本 高 裕

量子ホール効果の発見以来、磁場中の二次元電子系について多くの研究が行われており、最近でもグラフェンの量子ホール効果が発見されるなど活発な研究が継続して行われている。一方、テラヘルツ領域の光を用いたファラデー回転の実験が行われるようになり、光学ホール伝導度を直接測定する実験手法として最近になって注目を集めている。すでに量子ホール効果状態に対していくつかの光学ホール伝導度の測定が行われている一方で、量子ホール状態の光学伝導度についてはこれまであまり理論研究が行われていなかった。本学位請求論文では、二次元電子系およびグラフェン系の量子ホール効果状態に対する光学ホール伝導度に着目し、主に数値計算の手法を用いてさまざまな視点から理論研究が行われた。

本論文は英語で7章よりなる。まず第1章では、量子ホール効果やグラフェンに関するこれまでの研究が紹介された。グラフェンを記述する有効模型およびそのランダウ準位が説明されたのち、トポロジカル不変量およびアンダーソン局在などの基本概念が説明された。最近の光学ホール伝導度測定の実験についてもまとめられた。第2章では、本論文の計算で用いられる久保公式および数値計算手法が説明された。

論文の主要な結果は、第3章から第6章にまとめられている。

第3章では、磁場中の二次元電子系および単層グラフェンに対し、ポテンシャルの乱れを導入した有効モデルを厳密対角化によって解析することで、光学伝導度の周波数依存性が議論された。二次元電子系については、通常の直流ホール伝導度と同じように、有限の振動数においてもホール伝導度にプラトー構造が現れることが示された。ただし量子化はされず、光学ホール伝導度の大きさは直流のものからずれる。ポテンシャル乱れの強さに対するプラトーの安定性も議論され、現実の実験状況でも光学ホール伝導度にプラトー構造が現れる可能性があることが指摘された。この結果は、最近の二次元電子系に対するファラデー回転の実験で観測された。さらにグラフェンに対する同様の計算が行われ、やはり光学ホール伝導度にプラトー構造が現れることが示された。ただしこの場合には、グラフェンの特異なバンド構造を反映して、光学ホール伝導度の周波数依存性は二次元電子系のものに比べて複雑になる。さらにグラフェンを記述するハニカム格子のタイトバインディング模型も調べられ、カイラル対称性を破らない乱れに対して粒子正孔対称点で生じるプラトー間遷移が非常に鋭くなることが、数値計算の範囲内で示された。

第4章では光学ホール伝導度のプラトーの安定性についてより詳しい知見を得るた

めに、プラトーの長さに関する臨界現象が研究された。二次元電子系・グラフェンともに、局在長の臨界指数 ν は 2.1 ± 0.2 、動的臨界指数 z は 1.8 ± 0.2 と得られ、拡散領域の局在現象としてこれまで知られている指数と矛盾しない結果を得た。第5章では2パラメータスケーリングによる解析が行われ、数値計算結果から周波数 ω は繰り込みのフローの始点をずらす効果を持つことが示唆された。これらの解析を通して、光学ホール伝導度の周波数依存性は周波数に対応する特徴的な長さ L_ω とサンプルサイズ L の間の大小関係によってよく理解できることを明らかにした。

第6章では、多層グラフェンの光学ホール伝導度が調べられた。多層グラフェン中の次近接ホッピングの効果 (**trigonal warping** 効果) によって、単層グラフェンで観測されるサイクロトロン振動数に加えて、新しい選択則に対応する光学応答が得られることが示された。

最後の第7章では得られた結果がまとめられた。

以上、各章の紹介と共に本論文で得られた知見を解説した。本論文は、量子ホール効果の光学ホール伝導度に関する先駆的理論研究として意義あるものと認められる。光学ホール伝導度におけるプラトーの存在を明らかにしただけではなく、局在やスケーリングなどの視点から多面的に研究が行われている。また第6章では直流伝導度では観測が難しい **trigonal warping** 効果を、光学伝導度によって検証する新しい実験方法を提案している点が評価される。量子ホール効果の動的応答についてより深い理解を得ることは今後の重要な課題であるが、本論文はその理論研究の端緒となるものと期待される。以上の評価により、審査員全員が学位論文として十分なレベルにあり、博士(理学)の学位を授与できると判断した。

なお、本論文の第3章と第4章の内容は、**Physical Review Letter** 誌および **Physical Review B** 誌で公表されている。この論文は、論文提出者が主体となって計算および結果の解釈を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断される。またこの件に関して、共同研究者の青木秀夫氏、初貝安弘氏、Yshai Avishai 氏から同意承諾書が提出されている。