

# 論文審査の結果の要旨

氏名 越野 幹人

1980年に von Klitzing によって発見された量子ホール効果は、半導体の界面で実現された2次元電子系が強磁場中で示す特異な現象であり、ホール抵抗が基本物理定数である Planck 定数  $h$  と素電荷  $e$  の自乗の比,  $h/e^2$  の分数倍になるということから、微細構造定数の新たな測定法及び、標準抵抗への応用という点で大きな注目を集め、また、関連して発見された分数量子ホール効果は強相関電子系の研究の発展に大きな貢献をした。これらの発見の重要性は2度にわたってノーベル物理学賞が授与されたことから明かであろう。これらの現象の研究の発展の1つの方向として3次元系でも量子ホール効果が見られないかということ調べるのは必然であり、実際、これまでの研究において、電子間相互作用が無視できる3次元電子系において、何らかの原因で1電子状態にエネルギーギャップが生じた場合には、フェルミ準位がそのギャップ内に来ればホール伝導率がある意味で量子化されることが理論的に示されていた。問題は3次元系ではエネルギーギャップはできにくいと思われていたことであるが、本研究では量子ホール効果実現の必要条件であるエネルギーギャップが、予想されたよりも容易に実現することを初めて明らかにし、合わせて、ホール抵抗値の新たな計算方法なども提示された。

本論文は8つの章からできている。初めの3つの章にはこれまで他の研究者により行なわれた研究のまとめが述べられている。第1章はイントロダクションであり、従来の研究の概略と、本研究での目的が述べられている。第2章では周期ポテンシャル中の電子が磁場中でどのように振る舞うかがまとめられ、特に本研究で用いられる強結合模型 (tight binding model) での電子状態がどのように記述されるかが述べられている。また、第3章では、フェルミ準位がエネルギーギャップ中にあるときの伝導率テンソルがどのような式で表わされるかが述べられている。

第4章から第7章では本研究で得られた新たな知見が述べられている。先ず第4章では、3次元単純立方格子強結合模型の場合についての結果が述べられている。本研究以前は、この模型ではエネルギーギャップは生じ得ないと思われていたが、これは磁場が高い対称性をもった結晶軸方向を向く場合のみが考察されていたためであり、一般の磁場方向の場合に

は容易にギャップが得られることが初めて示され、この場合に可能となる量子化ホール伝導率の値が求められた。更に、ギャップが生じる理由が半古典描像に基づいて考察され、この描像を用いると、従来の理論とは異なり、運動量空間での電子の軌道を追跡するという方法でホール伝導率の値が得られることが明かにされた。第5章ではより容易にエネルギーギャップが得られると思われる遷移確率が非等方的な立方格子についての研究が行なわれ、この場合に得られる Hofstadter 蝶図の生因が磁場中の2次元系との比較で明らかにされ、ホール伝導率の値も計算された。第6章では、フェルミ準位が自動的にエネルギーギャップに位置するため、量子ホール効果が実現する磁場誘起スピン密度波状態についての研究が述べられ、実験での実現可能性が調べられた。第7章では、有限の大きさの試料において、電流が試料の表面のみを流れると考えた場合の考察が行なわれた。これは2次元系では、試料端のみを電流が流れるとしたときにも量子ホール効果が説明できるという事実が、3次元系でも成り立つか否かを調べたもので、実際3次元系でも、試料表面の電流のみを考えても、試料全体を一様に電流が流れる場合と同じ結果となることが示された。

最後の第8章はまとめとして、本研究で得られた新しい知見がまとめられ、実験での観測可能性と将来の課題が述べられている。

以上のように本論文は3次元での量子ホール効果について様々な観点から研究を行ない、新しい知見を得たものとして高く評価できる。なお、本論文の第4章以下は青木秀夫、黒木和彦、鹿兒島誠一、Bertrand Halperin、長田俊人との共同研究であるが、論文提出者が主体となって研究を進めたもので論文提出者の寄与が十分であると判断した。

以上の理由により、博士（理学）の学位を授与できるものと認める。