

別紙 1-1

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 今井 悠介

論 文 題 目

磁性トポロジカル絶縁体表面におけるスピントロニクス現象
の微視的理論

論文審査担当者

主 査	名古屋大学大学院理学研究科	教 授	理学博士	河野 浩
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	教 授	博士(理学)	宮崎 州正
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	教 授	博士(工学)	谷山 智康
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	教 授	博士(理学)	原田 正康
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	准教授	博士(理学)	小林 義明

論文審査の結果の要旨

別紙 1 - 2

トポロジカル物質は、近年発見された秩序相とは異なる相を示し、そのバルクのトポロジカルな性質によって生じる表面状態は興味深い物理現象を引き起こす。ビスマス化合物などで実現する三次元トポロジカル絶縁体の表面電子は実験的に観測されており、スピンを高効率で生成するためスピントロニクス の舞台として注目されている。

この表面電子は、通常は線形分散をもつ2次元ディラック電子モデルで記述されるが、このモデルでは、電気伝導とスピン応答の振る舞いが等しく、また磁化との相互作用にゲージ不変性が課されるため、生じる物理現象は強い制約を受ける。実際の物質では、波数の高次の項が存在するため、そのような制約は緩和され、より多彩な現象が実現すると予想される。

申請者は、表面ディラック電子が強磁性磁化と結合した場合に示す電気伝導、および磁化へ与える影響であるスピントルク（電流誘起スピン分極）について、結晶の対称性から許される波数の高次項の効果を調べた。まず、波数の三次の項は電気伝導とスピン応答に差を生じさせ、特に高ドーピング領域では電気伝導度がスピン応答に比べて大きく増大することを明らかにした。さらに、空間変化する磁化に作用するスピントルクは非常に多くの種類のものが生じることを示し、それらを対称性の観点に加えて代数的構造に着目して整理することにより、スピン波の分散関係や電流による磁壁移動などの物理現象に各トルクが与える物理的効果を明らかにすることに成功した。他にも、磁壁駆動の非断熱トルク、面直スピン分極によるトルク、電流による反対称交換相互作用（ジャロシンスキー・守谷相互作用）の変調、といった効果の存在を明らかにした。

次に申請者は、波数の二次の項を考慮したディラック電子モデルが、空間反転対称性の破れた系におけるスピン軌道相互作用のモデルとしてより広く用いられているラシュバモデルと類似していることに着目して、2つのモデルを併せて解析した。特に、磁化の面内成分により生じる、トルクと電気伝導度の面内異方性を詳しく調べた。波数の二次の項はディラック電子の粒子・正孔対称性を破るが、伝導帯より価電子帯の方が面内異方性が大きくなることを見出した。また、化学ポテンシャルの関数として、ディラックモデルでは物理量に不連続性は生じないが、ラシュバモデルの場合には、種々の不連続性が生じることを見出した。

本論文では、磁性トポロジカル絶縁体の表面ディラック電子系が示す磁気輸送現象およびスピン応答について、通常の線形分散モデルを超えた効果を考慮した解析がなされ、線形分散モデルでは得られなかった多彩な効果の存在、およびそれらの特徴が明らかにされた。これらの結果は、基礎的な意義に加えて、トポロジカル物質の応用の可能性を広げる指針となるものでもあり高く評価できる。参考論文は、線形ディラックモデルの範囲でも、磁化のゆらぎ（マグノン）の効果により電気・熱輸送に新たな様相が現れることを調べたもので価値がある。以上の理由により、申請者は博士（理学）の学位を授与されるに相応しいと認められる。