

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 : 塩見 雄毅

磁性体においては、ローレンツ力による通常のホール効果に加え、磁化による異常ホール効果や、非共面的な磁気構造に由来するトポロジカルホール効果が生じることが知られており、その量子論的な理解は、スピンと電荷の両方を活用する電子技術においても重要である。強磁性金属における異常ホール効果の起源は古くから研究されており、外因性起源（スキュー散乱）と内因性起源と呼ばれる二種類の機構が、散乱率の関数としていずれが重要となるかが変遷することが理解され始めている。また内因性起源による異常ホール効果やトポロジカルホール効果は、伝導電子の量子ベリー位相と関係していることが近年指摘され、特に多くの理論・実験研究の対象となっている。従来の研究が電氣的なホール効果測定を用いた研究が大多数であったのに対し、本論文では、熱流によって駆動されるホール効果（熱ホール効果、ネルンスト効果）を用いることで、新たな視点からベリー位相やスキュー散乱などに由来するホール効果の特異な性質を明らかにしている。本論文は6章から構成されており、以下にその概要を述べる。

第1章・第2章では、本研究の背景、即ち異常ホール効果とトポロジカルホール効果についての過去の研究のまとめと実験手法について述べている。

第3章・第4章では強磁性金属（Fe、Co、Niとそれらに不純物をドーブした試料）における異常ホール効果を考察している。第3章では、内因性起源において予測される異常ホール流の非散逸性の検証と電子の散乱過程に対する非散逸性の安定性について、ローレンツ比と呼ばれる量を用いて調べている。ローレンツ比は、熱ホール効果の測定によって得られ、非弾性散乱に敏感であるという性質を持つ。内因性起源が主な寄与を占める有限温度の領域で、異常ホール効果に対するローレンツ比は弾性散乱において期待される値と一致し、抵抗率がある閾値を超えるとローレンツ比が減少を始めることが明らかとなった。これは内因性起源に由来する異常ホール流が散乱に依らない性質を本質的に持つが、内因性起源に重要なスピン・軌道相互作用のエネルギーよりも散乱強度が上回るようになると、その非散逸性が壊れることを意味している。

第4章では、Feにおけるスキュー散乱機構の異常ホール効果について調べている。Feにおいては、温度を下げていくと、約100Kで内因性起源からスキュー散乱起源が支配的な領域に移り変わることが知られていた。まず、異常ホール流に対するローレンツ比を用いた研究により、内因性—外因性クロスオーバーが起きる温度で、ローレンツ比が負値や発散などの異常を示すことを示した。これは非弾性散乱に依りにくい内因性起源の異常ホール流と、非弾性散乱に依存するスキュー散乱起源の異常ホール流の競合を考慮することで理解できる。さらに、不純物種を変えた時のスキュー散乱の変化を系統的に調べることで、3d金属をドーブしたときは不純物の3d軌道がフェルミエネルギー付近に位置することで

共鳴的なスキュー散乱が起き、一方 Si などをドーピングした際は共鳴的な機構によるスキュー散乱は起きず、温度変化に関して簡単な経験式によって異常ホール伝導度が記述できることが明らかとなった。

第5章では、螺旋磁性金属における (Fe_{1+x}Sb 、 MnP 、 MnGe) トポロジカルホール効果について研究を行っている。螺旋磁性金属において磁場下で存在する局所的なスカラースピンカイラリティは全体で和をとると打ち消し合うことが多く、トポロジカルホール効果を示す物質例は非常に少なかったが、本研究では Fe_{1+x}Sb や MnP という2つの例を新たに見出した。共にジャロシンスキー・守谷相互作用によるスピン構造の変調がスカラースピンカイラリティにおいて重要であることを明らかにした。また、 MnGe において最近観測されていたトポロジカルホール効果に対し、熱流によって駆動されるトポロジカルホール効果の性質を調べた。熱ホール効果においては、トポロジカルホール項は20 K以下でしか認識できないのに対し、ネルンスト効果においては140 K以下の広い温度領域でトポロジカル項が見られた。これらの対照的なトポロジカルホール項の振る舞いをローレンツ比やモットの式などを用いて説明した。

第6章では、本研究によって得られた成果についての総括をおこなっている。

以上をまとめると、本論文では、電流及び熱流に駆動されるホール効果（熱ホール効果、ネルンスト効果）の測定を相補的に用いることで、強磁性金属の異常ホール効果と螺旋磁性金属におけるトポロジカルホール効果に対して包括的な研究を行い、新たな視点から様々な特異な性質を明らかとした。本研究の結果は、様々な起源によるスピン流の性質を明らかにしており、将来のスピン流の応用の面でも、非常に重要な知見が得られたといえる。今回得られた成果は、物性科学・物理工学の発展に大きく寄与すると期待され、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。