

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 : 横内 智行

カイラルな結晶構造を有する磁性体では、強磁性相互作用とジャロシンスキー・守谷相互作用の競合により、ナノスケールのトポロジカルな渦状スピン構造であるスキルミオンやらせん構造といった多彩なカイラル・スピン構造が発現する。これらのスピン構造と伝導電子の相互作用によって生じる物理現象は大きな関心を集め、精力的に研究されている。特にスキルミオンは非自明なトポロジを有するスピン構造体であり、そのトポロジゆえに様々な新奇物理現象が生じる。中でも、強磁性磁壁に比べ低電流密度で駆動可能であるという特長から、スキルミオンを情報担体として用いる次世代の低消費電力不揮発性記憶素子が提唱・研究されており、スキルミオンの電流誘起ダイナミクス、更にはそのダイナミクスが誘起する輸送現象の詳細で深い理解が期待されている。またトポロジに加え、スピン構造のカイラリティーも輸送特性や電流誘起ダイナミクスに重要な役割を果たすと予想されているが、いまだ多くは未解明である。本論文では、スキルミオンおよびカイラルスピン構造を有するカイラル磁性体 **B20 型 MnSi** における輸送現象について多角的に研究を行っている。そして、スピン構造のトポロジとカイラリティーおよび電流誘起ダイナミクスが引き起こす輸送現象の観測とその機構の解明に成功している。本論文は七章から構成されており、以下にその概要を述べる。

第一章では本研究の背景として、スキルミオンおよびカイラルスピン構造についての先行研究を述べており、第二章では本研究で用いた実験手法について記述している。

第三章では、スキルミオンおよびカイラルスピン構造におけるプレーナーホール効果について述べている。バルク試料において、スキルミオン相とらせん相の相境界で、プレーナーホール抵抗率が急峻に変化することを観測している。その起源として、この系におけるプレーナーホール効果がスピン構造の変調に起因する異方性磁気抵抗効果に起因し、スキルミオン相境界で生じる変調方向の 90 度の変化を反映して観測された急峻な変化が生じるという描像を提唱している。このプレーナーホール効果は、以下の章で述べるスキルミオン相の検出に応用されている。

第四章では、カイラルな対称性の下で許容される電流磁気カイラル効果と呼ばれる非相反非線形伝導現象の測定を詳細に行っている。微細加工技術によりマイクロスケールの試料を作成することで、スピン構造のカイラリティーに起因する電流磁気カイラル効果の観測に初めて成功している。温度、磁場、圧力

を制御し、様々なカイラルスピン構造で測定を行い、この電流磁気カイラル効果が相転移点近傍の、カイラルスピン構造のゆらぎ・乱れが大きいと考えられる領域で増大することを示し、その微視的機構にスピンゆらぎによる非対称的な電子散乱が重要であることを示している。

第五章では、スキルミオンの電流駆動とその結果として生じる非相反非線形応答について調べている。マイクロスケールの試料のスキルミオン相で、閾値電流以上で非相反非線形ホール効果が生じることを発見している。三次元系におけるスキルミオンをしなやかに変形できる弦状の物体として扱い、非相反非線形ホール効果が観測された領域では不純物の影響により弦状のスキルミオンが曲折しながら並進運動している可能性を指摘している。そして理論計算から、カイラルな性質によりスキルミオンの変形が非対称的であり、この非対称性によりスキルミオンのトポロジーに起因する創発電磁場が非零になり非相反非線形ホール電圧が生じる可能性を議論している。

第六章では、輸送現象の測定からスキルミオン相を決定することで薄膜におけるスキルミオンの安定性について議論している。**MnSi**のエピタキシャル薄膜を作製し、トポロジカルホール効果と第三章で述べたプレーナーホール効果を測定することにより、薄膜の面直に磁場を印加した場合と面内に磁場を印加した場合で、スキルミオンが安定する温度領域が大きく異なることを明らかにしている。そして、それぞれに対するスキルミオンを安定化する支配的要因を議論し、膜厚と磁気異方性の制御の重要性を示している。

第七章では、本研究で得られた成果についての総括を記述している。

以上をまとめると本論文では、スキルミオンおよびカイラルスピン構造を有する**MnSi**において、様々な輸送現象の研究を行い、スピン構造のトポロジーとカラリティー、そして電流誘起ダイナミクスが引き起こす輸送特性に対して重要な知見を得ている。さらに、特性を明らかにした輸送現象の測定を薄膜で行うことにより、応用で重要となる薄膜でのスキルミオンの安定性の解明も行っている。したがって本研究の結果は、磁気輸送現象に対する基礎科学的に重要な知見を与えるとともに、スキルミオンの応用の観点からも重要である。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。