

「微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出」
平成27年度採択研究代表者

H27年度
実績報告書

中辻 知

東京大学 物性研究所
教授

トポロジカルな電子構造を利用した革新的エネルギーハーヴェスティングの
基盤技術創製

§1. 研究実施体制

(1) 「起電力機能」グループ(研究機関別)

研究代表者: 中辻 知 (東京大学物性研究所、教授)

研究項目

- ・カイラル反強磁性体 Mn_3Sn における様々な起電力効果の開拓とその置換効果の解明
- ・カイラル反強磁性体 Mn_3Sn における起電力効果の起源の解明*

(2) 「スピントロニクス機能」グループ(研究機関別)

主たる共同研究者: 大谷義近 (東京大学物性研究所、教授)

研究項目

- ・ Mn_3Sn の純良単結晶の微細加工条件の最適化
- ・ 微細加工した純良単結晶の素子作製プロセスの最適化
- ・ スピンポンピング機能や逆スピンホール効果による環境発電の技術開発の始動。

(3) 「理論」グループ(研究機関別)

主たる共同研究者: 有田亮太郎 (理化学研究所、チームリーダー)

研究項目

- ・ 反強磁性体の磁気構造と輸送係数の対称性の群論的考察
- ・ Mn_3Sn 、 Mn_3Ge の第一原理計算によるホール係数の評価

§2. 研究実施の概要

強磁性体において、電流を印加した際に、電流と磁化それぞれに垂直に自発的に電圧が発生することが知られている。この現象は異常ホール効果として知られ、これまで強磁性体でのみ見られていた。我々は、物質探索の結果、反強磁性体としては初めて Mn_3Sn が異常ホール効果を示すことを実験的に明らかにした。そのうえ、その異常ホール効果は室温以上から現れる。この反強磁性体において現れる起電力効果の研究は、さまざまな環境発電の技術開発に資する基礎的原理を提供すると同時に、強磁性体がもたらす漏れ磁場効果などの素子化にあたる本質的問題を取り除き、高密度な発電素子の開発へつなぐと期待される

今年度は、以下の点に注目し研究を行った。

1. Mn_3Sn の類縁物質 Mn_3Ge の純良単結晶を育成に成功し、この系において、 Mn_3Sn を凌ぎ、量子ホール効果の半分にも達する大きなホール伝導度が低温において現れることを明らかにした。また、 Mn_3Sn において、異常ネルンスト効果の温度依存性と磁場依存性の詳細を明らかにした。さらに、 Mn_3Ge の単結晶の異常ネルンスト効果の測定を行い、 Mn_3Sn と同等に大きな効果が室温、ゼロ磁場で現れることを確認した。
2. Mn_3Sn の大型単結晶の育成に成功し、共同研究により中性子散乱実験を行った。その結果、明瞭なスピン波分散が観測された。さらには、異常ホール効果の起源となる電子構造の異常に対応したスピン励起が理論的に期待され、その実験的検証を継続して行っている。
3. Mn_3Sn の系の純良単結晶の育成に成功し、その系を用いた光電子分光実験を物性研究所、辛・近藤研究室と共同で行い、フェルミ面近傍には Mn $3d$ 電子を起源とした強い電子相関を有したバンドが存在すること、また、その一つが線形分散を持つこと等を明らかにした。また、以下に述べる第一原理計算の結果を概ね再現することを示した。
4. Mn_3Sn の薄膜作製をマグネトロンスパッタリング法を用いて試みた。薄膜の育成の最適条件を入念に行っており、概ね単相薄膜が再現性よく得られる状況までになった。
5. Mn_3Sn のバルク単結晶に収束イオンビーム加工と電子線リソグラフィー等の微細加工技術を適用し、マイクロメートルオーダーの素子作製を行った。その結果、この系の巨大な異常ホール効果に起因すると考えられる非平衡スピン偏極(スピン蓄積)信号を観測した。現在その再現性の確認実験を継続して行っている。
6. Mn_3Sn および Mn_3Ge の電子状態計算を行った。スピン軌道相互作用と実験で観測されている磁気秩序を正しく考慮した計算をおこなった結果、フェルミ面近傍にワイル点とよばれる電子状態の特異点が多数あらわれることがわかった。この特異点が輸送現象をはじめとする低エネルギー物性に与える影響を計算している。