

「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

H28 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

- ① 研究代表者: 中辻 知 (東京大学物性研究所、教授)
- ② 研究項目
  - ・カイラル反強磁性体における巨大な異常ネルンスト効果の起源の解明
  - ・カイラル反強磁性体における巨大な異常ネルンスト効果の組成依存性の解明

### (2)「スピントロニクス機能」グループ

- ① 主たる共同研究者: 大谷義近 (東京大学物性研究所、教授)
- ② 研究項目
  - ・トポロジカル物性測定用の微小素子作製プロセス及び測定手法の確立
  - ・巨大スピン流源およびスピン流電流変換機能の開拓

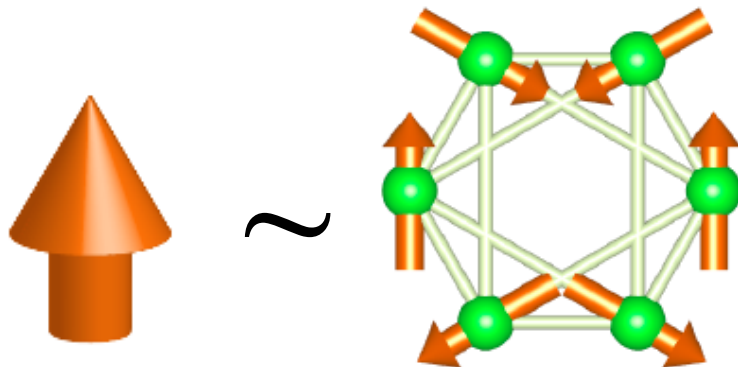
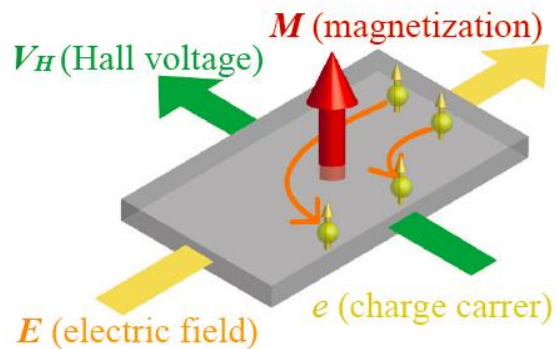
### (3)「理論」グループ

- ① 主たる共同研究者: 有田亮太郎 (理化学研究所創発物性科学研究センター)
- ② 研究項目
  - ・クラスター多極子理論による異常ホール効果、異常ネルンスト効果の解析
  - ・カイラル反強磁性体の第一原理電子状態計算

## § 2. 研究実施の概要

1. これまで異常ネルンスト効果は強磁性体においてのみ現れること、また、その大きさは磁化に比例すると考えられてきた。我々はその常識を破り、反強磁性体  $Mn_3Sn$  において世界で初めて自発的な巨大異常ネルンスト効果を観測することに成功した。起電力は通常の強磁性体において磁化から期待される値より 100 倍以上大きい。この大きな起電力はカイラルな磁気構造がつくるトポロジカルな電子構造に由来すると考えられる。この異常ネルンスト効果は室温で現れるのみならず、従来の強磁性体で見られた異常ネルンスト効果と同等の起電力を持つにも関わらず漏れ磁場がない為、高集積化を可能にする新しい熱電技術を可能にするとして期待される。[1]
2. 集束イオンビームと電子線リソグラフィ法を併用して単結晶や配向薄膜からマイクロサイズのトポロジカル物性測定用素子を作製する手法を確立した。この手法が、スピン流・電流変換機能測定用素子や熱電素子の作製に適用できることを実験的に確認した。
3. 作製した素子を用いて、昨年度観測した電流・スピン相互変換現象を、強磁性体電極によるスピン蓄積検出手法とスピンプンピングによるスピン流注入法を用いて詳細に調べた。その結果、従来のスピンホール効果とは磁場応答の性質の異なる新奇なスピンホール効果が生じる事を見出した。
4. 上述の微細加工法を用いてバルク単結晶  $Mn_3Sn$  からサーモパイル(熱電対列)の要素となるマイクロサイズの熱電素子を作製した。この素子を用いて、異常ネルンスト効果と異常ホール効果の両物理量を測定し、異常ネルンスト係数や異常ホール係数などが微細加工前のバルク測定から得られた値とほぼ同程度であることを確認した

5. 強磁性体では、スピン軌道相互作用によって自発磁化の方角に応じてホール電圧が生じる。この状況を絵であらわしたのが右図である。これに時間反転操作を施すと磁化ベクトル(赤矢印)が逆方向をむき、これにともなってホール電圧は逆方向に働くようになる。一方、空間反転操作を施した場合は、磁化の方角はかわらず、ホール電圧の方向にも



反転、鏡映、回転といった対象操作に対し、強磁性体の磁化ベクトルと同じ変換性をもっているか、という観点から判断することができる。例えば、下図に示すような磁気構造は、

時間反転、空間反転、回転、鏡映の対象操作に対して、ひとつの上向きスピンと全く同様に振る舞う。つまり、磁化がゼロでもスピン構造がクラスター全体で双極子と同じ変換性を持っていれば有限のホール電圧を産み出しうる。

このことに着目し、磁気構造の対称性を、異常ホール効果や異常ネルンスト効果との関連が明らかになるような系統的分類法を考案し、これを  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  をはじめとするカイラル反強磁性性に適用した。その結果、これらの反強磁性体と強磁性体の異常ホール効果を同じ枠組みで統一的に議論できるようになった。[2]

[1] M. Ikhlas, T. Tomita, T. Koretsune, M.-T. Suzuki, D. Nishio-Hamane, R. Arita, Y. Otani, and S. Nakatsuji, “Large anomalous Nernst effect at room temperature in a chiral antiferromagnet” *Nature Phys.* (2017) accepted.

[2] M.-T. Suzuki, T. Koretsune, M. Ochi, R. Arita, “Cluster multipole theory for anomalous Hall effect in antiferromagnets”, *Phys. Rev. B*, 95 094406/1-11, (2017).

Editors' suggestion