

「超空間制御に基づく高度な特性を有する革新的機能素材等の創製」  
平成27年度採択研究代表者

H29 年度  
実績報告書

水口 将輝

東北大学金属材料研究所  
准教授

ナノ超空間を利用した熱・スピン・電界交差相関による高効率エネルギー変換材料の  
創製

## § 1. 研究実施体制

### (1)「水口」グループ

- ① 研究代表者:水口 将輝 (東北大学金属材料研究所 准教授)
- ② 研究項目
  - ・金属系磁性ナノドット構造の創製と機能評価
  - ・パターンド三次元構造の創製と機能評価

### (2)「中村」グループ

- ① 主たる共同研究者:中村 芳明 (大阪大学大学院基礎工学研究科 教授)
- ② 研究項目
  - ・新規熱電ナノ材料の形成技術開発
  - ・熱電ナノ材料性能向上の検証・予測

### (3)「藤田」グループ

- ① 主たる共同研究者:藤田 武志 (東北大学材料科学高等研究所 准教授)
- ② 研究項目
  - ・ナノポーラス材料を応用した材料創製
  - ・電子顕微鏡観察

### (4)「大江」グループ

- ① 主たる共同研究者:大江 純一郎 (東邦大学理学部 准教授)
- ② 研究項目

- ・磁気・電気・熱エネルギー変換の基本原理探索、理論構築
- ・熱電デバイス設計ツールの開発

## § 2. 研究実施の概要

地球温暖化に代表される環境面における大規模な変動や、世界人口の爆発的な増加は、今般のエネルギー消費を飛躍的に増大させる一因となっている。そのため、クリーンで経済的なエネルギーシステムの構築が喫緊の課題とされており、特に、エネルギーの変換効率や輸送現象において高い性能を持ったエネルギー材料創成のブレークスルーが必要不可欠である。このような背景の下、空間空隙を巧みに利用した超空間を、積極的にエネルギー変換に活用する施策が注目されている。そこで、本研究では、ナノ超空間と全く新しいエネルギー変換手法の 2 つの基軸を組み合わせることにより、革新的に高効率なエネルギー変換材料の創製を目指している。

平成 29 年度に実施した主な研究の概要は以下のとおりである。

鉄と窒素という身近な元素から作製した磁性材料 ( $\gamma$ 型  $\text{Fe}_4\text{N}$ ) で、熱を加える方向によって熱電気変換効率が大きく変化することを発見した。単結晶の $\gamma$ 型  $\text{Fe}_4\text{N}$  薄膜を作製し、その物性を調査した結果、電気伝導や異常ホール効果などには異方性が見られないのに対し、図に示すように、異常ネルンスト効果には大きな異方性が観測された。磁石を用いた熱電変換デバイスの開発に応用することで、熱電変換効率を自在にかつ効率よく制御することが可能になる。

また、磁性ナノドット含有構造の作製とその熱磁気特性の測定も進めた。酸化マグネシウムの母相中にコバルトの磁性ナノ微粒子が分散したグラニューラー構造を作製し、室温で異常ホール効果および異常ネルンスト効果を測定した。その結果、異常ホール効果については、グラニューラー構造においてホール角の顕著な増加は確認されなかった。一方、異常ネルンスト効果については、グラニューラー構造において Co 薄膜と比較してネルンスト角の大きな増加が確認された。

さらに、スピン波スピン流による異常ネルンスト電圧の増加効果について理論的な解析を行った結果、スピン波から誘起される伝導電子純スピン流によって、異常ネルンスト効果が増大することが明らかになった。この結果は、スピン流を用いた高効率熱電変換素子の設計指針を与える結果である。

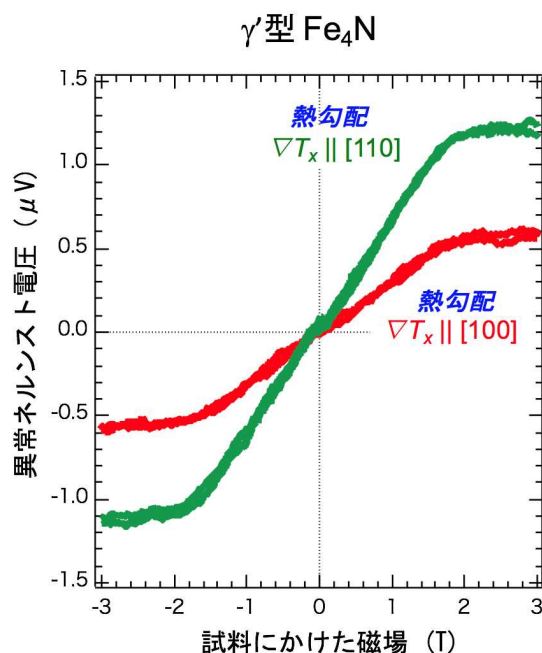


図:  $\gamma$ 型  $\text{Fe}_4\text{N}$  薄膜におけるネルンスト電圧の磁場依存性。

- 1) S. Isogami, K. Takanashi, and M. Mizuguchi,  
“Dependence of anomalous Nernst effect on crystal orientation in highly ordered  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N films with anti-perovskite structure”, Applied Physics Express, **10**, 073005 (2017).