

「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

2018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. 研究成果の概要

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、一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。

2018年度に実施した主な研究の概要は以下のとおりである。

スピンと熱の相関を取り扱うスピントロニクス分野で盛んに研究されているが、まだ熱電応用への利用がほとんどなされていない、“ネルンスト効果”と呼ばれる熱磁気効果について、エネルギーハーベスティングへの応用の可能性を示した。主として強磁性体において観測される異常ネルンスト効果(ANE)が、最近新たに注目を集めている。ANEを熱電として利用するネルンスト素子は、広く用いられているゼーベック素子と比較して、構造が単純、素子設計の柔軟性が高い、製造コストが安いなどの長所があげられるため、高効率な環境発電デバイスへの応用が期待されている。

そこで、ゼーベック素子およびネルンスト素子の双方について、熱電変換効率の最大値(ξ_{\max})の無次元性能指数(ZT)依存性を計算して、両素子の性能評価を行った。図は、素子に与える温度差として、高温側を600 K、低温側を300 Kとし、電流により生じるジュール熱を無視した場合の計算結果である。両素子とも、 ξ_{\max} は ZT の増加に対して増加する振る舞いが見られたが、ネルンスト素子の ξ_{\max} は、いずれの ZT においてもゼーベック素子の ξ_{\max} より大きくなるのが分かった。これは、熱勾配の方向と電圧が発生する方向の関係が両素子において異なることに起因している。以上の結果は、ANEをエネルギーハーベスティング発電へ応用する上で、大きなメリットであり、 ZT の大きな材料ほど、この優位性は大きくなるのが明らかになった。

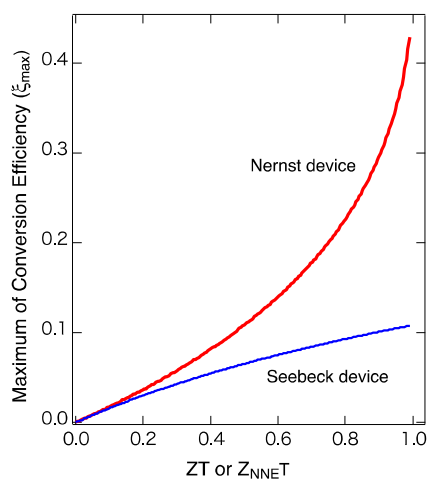


図: ゼーベック素子およびネルンスト素子における、熱電変換効率の最大値と無次元性能指数の関係を計算した図。

【代表的な原著論文】

1. Masaki Mizuguchi and Satoru Nakatsuji, “Energy harvesting materials based on the anomalous Nernst effect”, *Science and Technology of Advanced Materials*, vol. 20, pp.262-275, 2019
2. Takafumi Ishibe, Atsuki Tomeda, Kentaro Watanabe, Yoshinari Kamakura, Nobuya Mori, Nobuyasu Naruse, Yutaka Mera, Yuichiro Yamashita, and Yoshiaki Nakamura, “Methodology of thermoelectric power factor enhancement by controlling nanowire interface”, *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 10, pp.37709-37716, 2018
3. Naoya Arakawa and Jun-ichiro Ohe, “Inplane anisotropy of longitudinal thermal conductivities and weak localization of magnons in a disordered spiral magnet”, *Phys. Rev. B*, vol. 98, pp.014421-, 2018

§ 2. 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 (高知工科大学環境理工学群 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