

「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

H27 年度
実績報告書

水口 将輝

国立大学法人東北大学
金属材料研究所

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 (東北大学原子分子材料科学高等研究機構、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で、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 27 年度に実施した主な研究の概要は以下のとおりである。

1. 金属系強磁性ナノ構造における熱電効果の調査

空間を利用した高い熱電変換効率を有する新規熱電素子の開発を目指し、強磁性多層構造における熱電効果と界面磁気異方性の相関の解明を行った。その結果、2種類の異なる強磁性金属薄膜を交互に多層化した構造において、熱電効果が顕著に増大することが示された。また、薄膜の垂直磁気異方性と熱電効果との関係を調べた結果、両者には密接な関係があり、多層構造における界面磁気異方性が、熱電効果に大きく関与していることが示唆された。

また、異常ネルンスト効果を増加させる別の要素として注目しているスピン波スピン流（純スピン流）による熱磁気効果の詳細に調べ、その増幅効果を実験的に実証することを試みた。その結果、強磁性体に熱勾配が付与されると、スピン波スピン流（純スピン流）が発生することが分かった。この純スピン流が電圧に変換され、熱電効果の増加として観測されていることが示唆された。

2. 発電機能を有する半導体ナノドット微細空間構造の創製

これまでは熱電材料として、主に母体材料中にナノ結晶を導入したナノコンポジット材料が研究されてきた。しかしながら、その材料中の界面・結晶方位は制御されておらず、ナノ構造制御による熱電物性の制御が困難となっていた。特に、ストランスキ・クラスタノフモードにより作製されるナノドットの超格子でも、その界面での材料ミキシングの制御・ナノメートルスケールでのナノドットのサイズ制御、等が困難であった。そこで、Si 中に Ge ナノドットを結晶方位を揃えて埋め込んだ構造を作製した。その伝導特性を調べたところ、電気伝導率が高い一方で熱伝導率が低いことが示された。またその熱電材料としての発電効率を算出することに成功した。これにより、わずか一原子層の極薄 Si 酸化膜を用いる分子線エピタキシー法により、熱電材料中の異種材料ナノ構造の界面・結晶方位を原子レベルで制御し、それにより界面のエネルギー構造をエンジニアリングすることが可能となった。また、伝熱特性と電気特性を分離して制御できる可能性が示された。

なお、平成 27 年度の代表的論文は以下の論文である。

1. “Independent control of electrical and heat conduction by nanostructure designing for Si-based thermoelectric materials”, Shuto Yamasaka, Kentaro Watanabe, Shunya Sakane, Shotaro Takeuchi, Akira Sakai, Kentarou Sawano, and Yoshiaki Nakamura, *Scientific Reports*, **6**, 22838 (2016).