

熱輸送のスペクトル学的理解と機能的制御
2019 年度採択研究者

| |
|------------------|
| 2021 年度 年次報告書 |
|------------------|

石井 智

物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクニクス研究拠点
主幹研究員

光と構造制御による温調機能の開拓

§ 1. 研究成果の概要

温調機能のうち冷却に関しては 2020 年度から引き続き放射冷却を利用した環境発電に取り組んだ。2020 年度に実証した構造は、放射冷却によって冷える効果を熱電発電の温度差として利用したものである。他方、今年度は放射冷却と太陽熱を同時に利用できる構造を目指した。放射冷却と太陽熱を同時に利用するためには、試料上部は太陽光に対しては透明で中赤外域で不透明、試料下部は太陽光を吸収し、加えて試料中央部に太陽光に対して透明な熱電材料を用いる必要がある。このような制約を満たす材料の組み合わせとして、イットリウム鉄ガーネット(YIG)とプラチナ(Pt)を基本とする組み合わせを採用した。YIG は薄膜であると対応光に対して半透明で中赤外で不透明であり、Pt は数 nm の薄膜であると太陽光を吸収する。そして重要なことは、YIG と Pt はスピンゼーベック効果と呼ばれる新奇熱電効果を示すため、先述の条件を満たす。実際には YIG の成長のために YIG はガリウムガドリニウムガーネット(GGG)基板上にあり、Pt の太陽光吸収を補助するために Pt の裏側には黒体塗料を塗ったため、実際の試料は上から順に、GGG/YIG/Pt/黒体、となる。本試料を屋外で測定すると、昼は夜もスピンゼーベック効果による同符号の熱起電力が得られ、夜より昼の起電力の方が大きかった。これは、夜は放射冷却しか利用できないのに対し、昼は放射冷却と太陽熱の両方を利用して熱起電力を得られるためだと考えられる。屋外実験の結果は、屋外を模した室内実験と有限要素法による伝熱計算から妥当性を裏付けた。

加熱に関しては、広帯域に光吸収できて実効的な熱伝導率が小さな微細構造として窒化チタンの高アスペクト比構造を対象とした。周期 400nm、アスペクト比約 10 のチューブ構造とトレンチ構造への光照射による表面温度上昇は、微細構造部分の周期性を反映した実効的な熱伝導率を用いた伝熱計算で見積もれることを、顕微ラマン分光による実験との比較から明らかにした。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Satoshi Ishii, Asuka Miura, Tadaaki Nagao, Ken-ichi Uchida, “Simultaneous harvesting of radiative cooling and solar heating for transverse thermoelectric generation”, *Science and Technology of Advanced Materials*, 22 (2021) 441-448.
- 2) Satoshi Ishii, Makoto Higashino, Shinya Goya, Evgeniy Shkondin, Katsuhisa Tanaka, Tadaaki Nagao, Osamu Takayama, and Shunsuke Murai, “Extreme thermal anisotropy in high-aspect-ratio titanium nitride nanostructures for efficient photothermal heating”, *Nanophotonics*. 10 (2021) 1487-1494.
- 3) Satoshi Ishii, Manpreet Kaur, Tadaaki Nagao. 窒化チタンナノ構造を用いた太陽熱蒸留. 粉体工学会誌. 59 (2022) 79-8.