

熱電性能向上を目指した特異構造による熱・フォノン輸送制御

Phonon transport control by using peculiar structures

for thermoelectric performance enhancement

阪大院基礎工¹, 高知工科大², [○]中村 芳明¹, 藤田 武志²,

Osaka Univ.¹, Kochi Univ. Technol.²,

[○]Yoshiaki Nakamura¹, Takeshi Fujita²

E-mail: nakamura@ee.es.osaka-u.ac.jp

【背景】現在、高度情報社会においてデバイスからの発熱が大きな問題となっており、放熱・熱の再利用を効率的に行う技術が必要とされている。その中で廃熱の再利用法の一つとして熱電変換が注目を集めている。高い熱電性能を得るためには、ゼーベック係数 (S)、電気伝導率 (σ) が高く、熱伝導率 (κ) が低い材料開発が必要である。高性能化の方法として、フォノンの界面散乱・閉じ込めによる κ 低減を狙ったナノ構造の導入がある。しかし、上記三物性の独立制御は難しく、高性能化のためには κ を低減しつつ出力因子 ($S^2\sigma$) を向上させる方法論が必要とされている。我々は、 κ の低減だけでなく、ナノ構造により材料中のフォノン輸送・熱流

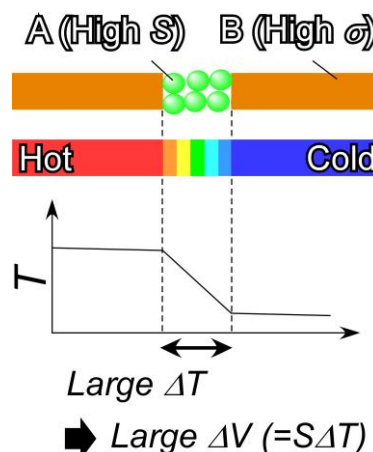


Fig. 1 Concept of our strategy.

を制御することで $S^2\sigma$ を増大する方法を考えた (Fig.1)。ナノ構造を導入して κ 低減した高 S 材料 A を開発し、そこに超高 σ をもつ金属 B (高 κ) を混ぜて複合化し、材料 A に主に温度差がかかるように制御することで、材料 A の高 S を維持しつつ金属混入により σ の増大が可能である。本研究では、産業利用に適した Si 系材料を舞台とし、 κ を究極低減する特異ナノ構造を高 S 材料を用いて導入し、これを利用したフォノン輸送・熱流制御による $S^2\sigma$ 増大の方法論について紹介する。

【実験手法と結果】極小 ND の熱電特性の知見を得るために、超高真空分子線エピタキシー法により極小エピタキシャル Si ナノドット (ND) 連結構造薄膜を作製した。Si ND 連結構造薄膜は、アモルファス Si の値を下回る極小の κ 値を示した [1]。また、他材料 ND を Si 中に導入しても、低い κ が得られた [2]。この特異な ND を含有する薄膜材料において、 S 、 σ に対する特異 ND 自体の影響は少なく、高 $S^2\sigma$ が得られることが分かった [3]。この極小 ND の知見を用いて、上述の方法論 (Fig.1) を実現するため、差圧鋳造法により ND 含有 SiGe と高 σ の Au による複合材料を形成した。本 SiGe/Au 複合材料の構造・組成解析を行った結果、SiGe 中への Au の混入と Ge-rich SiGe ND の形成を確認した。この特異 ND 含有 SiGe/Au 複合材料の熱電特性を測定し、SiGe と比較して約 2 倍の出力因子増大の観察に成功した。また、熱伝導率の低減も確認した。さらに計算とシミュレーションを用いて、この $S^2\sigma$ 増大がフォノン輸送・熱流制御に起因することを実証した [4]。

【謝辞】本研究は、CREST-JST、基盤研究 A (19H00853)、挑戦的研究 (萌芽) (19K22110) の支援により行われた。

【参考文献】 [1] Y. Nakamura, et al., *Nano Energy* 12, 845 (2015). [2] S. Yamasaka, et al., *Sci. Rep.* 6, 22838 (2016). [3] S. Sakane, et al. *Materials Today Energy* 13, 56 (2019). [4] S. Sakane, et al., *ACS Appl. Energy Mater* 3, 1235 (2020).