

IoT 環境発電用高性能熱電材料の開発および応用要件の検討

Developing novel principle thermoelectric materials & devices to power IoT sensors and applicative considerations

○森 孝雄^{1,2} (1. 物材機構、2. 筑波大学)○Takao Mori^{1,2} (1.NIMS, 2.Univ. Tsukuba)

E-mail: MORI.Takao@nims.go.jp

熱を固体素子で電気に変換する熱電材料は、廃熱発電による省エネだけでなく、エネルギーハーベスティングによる無数の IoT センサーの動作電源としても期待される[1]。後者に関しては、従来の小さな熱電発電デバイス (TEG) などにおける材料費は総コストの微々たる割合で、例えば材料費の安さだけを売りにした低性能材料は不適當で、要請としては、熱電材料が高性能であることが要求されるだけでなく、産業プロセスに適したモジュール開発であることが要求される。我々は、バルク的なモジュールだけでなく、半導体熱電薄膜型デバイスやフレキシブルなハイブリッド熱電シートを目指した開発を行っている。

高性能材料が求められるが、 $ZT = S^2\sigma/\kappa$ (S : ゼーベック係数、 σ : 電気伝導率、 κ : 熱伝導率) には物性パラメータの相反する要請があり、凌駕する新原理開発が必要である[2]。最近の進展として、いわゆる欠陥制御により、相反する σ と κ に対するフォノンの選択散乱によるバルク材料高性能化による $ZT \sim 2$ だけでなく、それが従来難しかった材料系における p、n 制御も実現した[3]。一方で、出力因子 $S^2\sigma$ の増強に対して、我々は磁性を活用した熱電高性能化原理を開発している。比較的高温でも有効な磁気相互作用やスピン揺らぎに着目して、新規な高性能磁性半導体熱電材料やパラマグノンドラッグなどによる顕著な増強を発見した[4]。ホイスラー材料系の薄膜化によって、従来のチャンピオンの Bi_2Te_3 系の 10 倍以上のパワーファクターの超高性能 ($ZT > 4$) も見出された[5]。開発した高性能材料を活用した、薄膜型発電デバイスや、無機・有機ハイブリッドフレキシブル発電シートの開発を進めており、当日報告する。また、新規開発材料により作製したバルクモジュールは、 300°C 以下で長くチャンピオンとして君臨している Bi_2Te_3 系を代替し得る世界最高性能クラスの変換効率を実現した[6]。

謝辞：JST 未来社会創造事業プロジェクトメンバーに感謝する。

[1] T. Mori and S. Priya, *MRS Bulletin*, **43**, 176 (2018), H. Akinaga, et al., *Jpn. J. Appl. Phys.*, **59**, 110201 (2020), *Sci. Tech. Adv. Mater.*, **19**, 543 (2018), I. Petsagkourakis, et al., *Sci. Tech. Adv. Mater.*, **19**, 836 (2018), N. Nandihalli et al, *Nano Energy*, **78**, 105186 (2020).

[2] T. Mori, *Small*, **13**, 1702013 (2017).

[3] *Small*, **16**, 1906921 (2020), *NPG Asia Mater.*, **12**:66 (2020), *Adv. Energy Mater.*, **10**, 2002588 (2020).

[4] *Appl. Phys. Express*, **6**, 043001 (2013), *Angew. Chem. Int. Ed.* **54**, 12909 (2015), *Materials Today Phys.* **3**, 85 (2017), *Chem. Mater.* **29**, 2988 (2017), *J. Mater. Chem. A* **5**, 7545 (2017), *Inorg. Chem.* **57**, 5258 (2018), *J. Mater. Chem. C* **6**, 6489 (2018), **7**, 8269 (2019), *Materials Today Phys.* **9**, 100090 (2019), *Science Advances*, **5**, eaat5935 (2019).

[5] B. Hinterleitner, et al., *Nature* **576**, 85-90 (2019).

[6] p 型、n 型材料ともに特許出願。論文投稿中。