

ディビジョン番号	14
ディビジョン名	ナノテク・材料化学

大項目	4. ナノ機能・応用
中項目	4-3. エネルギー
小項目	4-3-8. エネルギー変換

概要（200字以内）

ナノ構造制御に基づく熱電変換効率の高い材料・素子の開発が世界的に盛んである。人工超格子、量子ドット、ナノボイド分散など、ナノ構造の次元制御による高性能の発揮が可能になってきた。また、ナノブロックを組み合わせた自然超格子バルク材料の研究開発、酸化物モジュールによる実証試験も進み、実用化への期待が高まっている。将来的には、ナノ構造制御による更なる材料性能の向上を図り、様々な応用展開を模索してエネルギーの有効利用を促進し、地球環境保全へ貢献していくことが期待される。

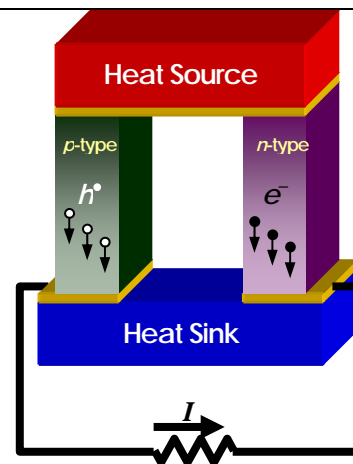


図 熱電発電の原理

現状と最前線

ナノ構造制御で熱電変換機能を生み出すという観点に立って、現状と最前線を見てみる。

$\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 系で各層がナノメートル厚みの交互積層体（人工超格子）が2001年に作られ、積層と垂直方向の無次元熱電性能指数  $ZT@300\text{K}=2.4$  が発表された<sup>1)</sup>。実用化の目安である  $ZT=1$  を大きく凌ぐ値で、その後類似の材料系を組み合わせた超格子が構築され、ペルチエ冷却素子や局所温度センサなどとして欧米を中心に実用化が始まっている。一方、最近発見された  $\text{SrTiO}_3/\text{Nb-SrTiO}_3$  系人工超格子では、単位格子厚みの Nb ドープ層に生成した伝導電子が量子閉じ込め効果によって 2 次元電子ガスとなり、これが積層と平行方向に巨大熱起電力を発生する<sup>2)</sup>（図参照）。Nb ドープ層のみの  $ZT$  を、 $\text{SrTiO}_3$  単結晶の熱伝導率の値を用いて見積もると 300 K で約 2.4 となり、ナノ構造構築が有効であることを示唆する。ただし、必要なバリア層（ノンドープ絶縁体）が 15 単位格子層以上必要なため、超格子素子としての性能は低い。如何にバリア層を薄くできるかが今後の課題である。

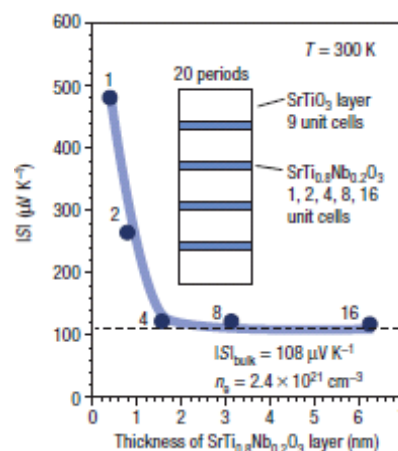


図 人工超格子の熱起電力<sup>2)</sup>

Ag-Pb-Sb-Te 系マトリックス中に組成変調を利用してナノ粒子（量子ドット）を分散した材料は、700 K で  $ZT=1.4\sim 1.7$  を示すことが発見された<sup>3)</sup>。また、Al-ZnO マトリックス中にナノボイドを分散させると、導電率は若干低下するがフォノン散乱の助長により熱伝導率が大幅に低下し、熱起電力も増加して全体の熱電性能が上がるのが最近発見された<sup>4)</sup>。

ナノ機能ブロックをインテグレートする戦略に基づいて、層状コバルト酸化物誘導系や層状ペロブスカイト酸化物系などの自然超格子材料の研究開発も進んできている<sup>5)</sup>。さらに、酸化物モジュールの発電特性の評価も進み、実用化への期待が高まっている<sup>6)</sup>。

#### 文献

- 1) R. Venkatasubramanian et al., *Nature*, **413**, 597(2001).
- 2) H. Ohta et al., *Nature Mater.*, **6**, 129 (2007).
- 3) K.F. Hsu et al., *Science*, **303**, 818 (2004).
- 4) M. Ohtaki et al., Abstract of 31<sup>st</sup> Int. Cocoa Beach Conf. & Expo. Adv. Ceram. & Composites, The American Ceramic Society, pp. 32 (2007).
- 5) K.H. Lee, S.W. Kim, H. Ohta, K. Koumoto, *J. Appl. Phys.*, **100**, 063717 (2006); K. Sugiura, H. Ohta, K. Koumoto, *Appl. Phys. Lett.*, **89**, 032111 (2006).
- 6) R. Funahashi, M. Mikami, *J. Appl. Phys.*, **99**, 066117 (2006).

#### 将来予測と方向性

・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題

1. 酸化物人工超格子のバリア層の極薄化による性能向上（トータル  $ZT > 1$ ）
2. n型バルク酸化物材料の  $ZT > 0.8$
3. 酸化物モジュールの変換効率（温度差 500 K）8%以上

・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題

1. 自動車排熱回収、人体熱利用素子の開発と普及
2. 燃料電池、太陽電池等との組み合わせ融合技術の開発

#### キーワード

熱電変換、人工超格子、自然超格子、ナノ構造、次元制御

（執筆者：河本邦仁）