



## 大きく広がった電子を閉じ込めて熱電変換効率UP – 廃熱の再資源化に向けて –

研究者所属・職名 : 電子科学研究所・教授

ふりがな おお た ひろ みち

氏名 : 太田 裕道

主な採択課題 :

- [新学術領域研究\(研究領域提案型\)「界面制御による高機能薄膜材料創製」\(2019-2023\)](#)
- [基盤研究\(A\)「熱電材料の高ZT化に向けたナノ周期平行平板構造の熱伝導率解明」\(2017-2020\)](#)
- [基盤研究\(A\)「酸化物半導体一次元電子ガスの電界誘起と超巨大熱電能変調」\(2013-2016\)](#)
- [若手研究\(A\)「二次元電子ガスを有する酸化物超格子の作製と熱電変換物性」\(2006-2008\)](#)

分野 : 材料科学、無機材料

キーワード : 熱電変換材料、酸化物、超格子、熱伝導率、熱電能

### 課題

● **なぜこの研究をおこなったのか？**

熱電材料は、温度差を与えると発電し（ゼーベック効果）、逆に電気を流すと冷える（ペルチェ効果）性質を示すことから、利用されことなく捨てられている廃熱の再資源化で注目されている。廃熱を効率よく電気に変換するためには、電気を通しやすく、温度差を与えた時に発生する電圧が大きく、熱を通しにくい、性能の優れた熱電材料が必要だが、導電率と電圧（熱電能）の間のトレード・オフ関係が障害となり、性能向上が進んでいない。

● **研究するにあたっての苦労や工夫**

1993年にMITのドレスセルハウス教授らによって提案された「狭い空間に電子を閉じ込めると、導電率を変えずに熱電能を高められる」という理論に加え、2016年に新たに提案された理論「大きく広がった電子を狭い空間に閉じ込めることで、より大きな熱電能増強が起こる」の実証に取り組んだ。従来よりも約30%大きく広がった電子を人工超格子に閉じ込めた結果、バルク比約10倍の熱電能増強を達成し、人工超格子全体の性能を従来比2倍に高めることに成功した。

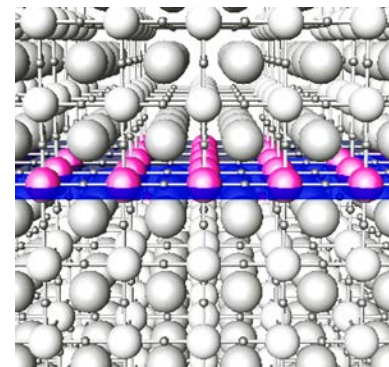


図1 チタン酸ストロンチウム人工超格子の模式図

# 大きく広がった電子を閉じ込めて熱電変換効率UP —廃熱の再資源化に向けて—

## 研究成果

図2に、電気を通す極薄層（1～12単位格子、1単位格子の厚さは0.4 nm）を、厚さ約4 nmの絶縁体層で挟み込んだ人工超格子の熱電能増強度合を示す。電気を通す層の厚さが減少するにつれて熱電能が増大し、本研究の人工超格子の熱電能増強度合（赤）は10倍に達することがわかる。次に、電気を通す極薄層の厚さを1単位格子に固定して、導電率と熱電能を計測した。バルクと同様に、人工超格子の導電率は電子キャリア濃度にほぼ正比例して変化するが、人工超格子の熱電能はバルクよりも大きくなることがわかった。これらのデータを用いて、熱電出力因子（＝熱電能×熱電能×導電率）を算出したところ（図3）、従来比約2倍に相当する5.5 mW/mK<sup>2</sup>の熱電変換出力を示すことを発見した。これらの結果は、ドレスレルハウス教授らによって提案された理論が正しいことを実験的に証明するものであり、本研究で用いたチタン酸ストロンチウム以外の熱電材料に適用することで、その熱電変換出力が大幅に高められることを示している。本成果は、英科学誌ネイチャー・コミュニケーションズ（電子版）に、2018年6月20日に公開された。

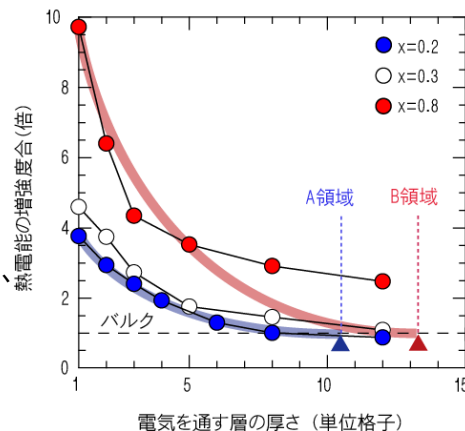


図2 人工超格子の熱電能の増強度合

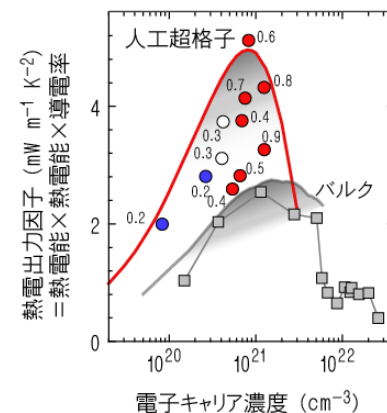


図3 人工超格子の熱電出力因子の電子キャリア濃度依存性

## 今後の展望

今回の発見は、電子が大きく広がった材料を低次元化し、電子を無理矢理狭い空間に閉じ込めることで、熱電材料に温度差を与えた際に発生する電圧に相当する熱電能をバルク比 1 桁増強するという画期的な結果となった。現在、世界中で活発に研究されている熱電材料を高性能化するための有力な材料設計指針となると期待される。将来、工場や火力発電所、自動車やコンピュータなどの廃熱を電気に変えて有効利用する技術に繋がることが期待される。

図4 人工超格子の熱電変換の概念図（解説論文の背表紙に掲載）→

