



分野：工学系

キーワード：半導体、熱物性、熱電材料、ゼーベック係数、電気伝導率

身近な生活廃熱の発電利用に向けた室温 SiGe 熱電材料

—宇宙船で使われる材料を身近に：独自方法論により熱電変換出力 3 倍増大を実証—

【研究成果のポイント】

- ◆ 環境に調和したシリコンゲルマニウム (SiGe) ※¹ 熱電材料において、電気伝導率とゼーベック係数 ※² の同時増大を実現し、室温近傍で高い熱電変換出力因子を得ることに成功した。
- ◆ 熱電変換において、大きな電気伝導率とゼーベック係数が必要であるが、相関があるため両物性値を同時に増大させることは困難であった。このことが廃熱を電気に変える最大の障害となっていた。
- ◆ 本成果は、無毒な材料を用いて室温近傍の未利用熱をエネルギー源とした熱電発電の実現への道を拓くものである。

❖ 概要

大阪大学大学院基礎工学研究科の中村 芳明教授、高知工科大学 環境理工学群の藤田 武志教授、東邦大学 理学部の大江 純一郎教授、九州シンクロトロン光研究センターの小林 英一主任研究員らの研究グループは、革新的な熱電性能向上の方法論を提案し、環境調和型 SiGe 材料で最高の熱電変換出力因子 (= (ゼーベック係数)² × (電気伝導率)) を室温近傍で達成しました (既存 SiGe の約 3 倍増大)。

室温近傍の膨大な廃熱を電気に直接変換することが可能な熱電材料は、新規グリーンエネルギー源として期待されています。しかし、トレードオフ関係にあるゼーベック係数と電気伝導率を同時に増大することは長年の課題でありました。

本研究グループは、急冷法※³ を用いて SiGe と Au のコンポジット材料※⁴ を作製し、SiGe 中の Au 不純物が形成する共鳴準位※⁵ によりゼーベック係数を増大させるだけでなく、Au 結晶の優れた電気伝導性を活かして、電気伝導率も同時に増大することに成功しました。結果として、宇宙船に搭載されている電源 (RTG、Radioisotope Thermoelectric Generator) に利用されている SiGe 熱電材料の値を 3 倍上回る最高熱電出力因子を室温近傍で達成することに成功しました (図 1)。

従来、環境調和性が高いものの、SiGe 材料は宇宙船の電源として高温領域でしか利用されていませんでした。本成果により、高性能 SiGe 材料を用いることで、生活に密接した室温近傍の廃熱が電気エネルギーとして再利用可能となる“新エネルギー社会”実現が期待できます。

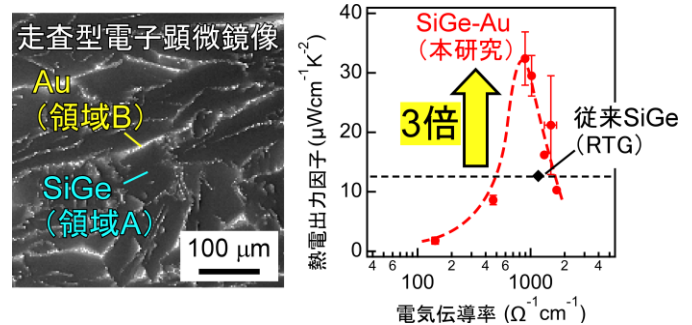


図 1 SiGe と Au のコンポジット材料の走査型電子顕微鏡像と熱電変換出力因子の電気伝導率依存性

Press Release

本研究成果は、英国王立化学会「Journal of Materials Chemistry A」に、1月29日（金）（日本時間）に公開されます。

❖ 研究の背景

我々の身の周り（室温近傍）には、膨大な量の廃熱が存在します。熱を電気に直接変換することができる熱電材料は、駆動部が必要ないため小型かつメンテナンスフリーな新規グリーンエネルギー源として期待されています。熱電材料は、ゼーベック係数と電気伝導率が高く、熱伝導率が低い材料が高い熱電変換効率を示します。しかし、これら3つの物性値には互いに相関があるため、独立に制御することは至極困難でした。

これまで、ゼーベック係数の増大方法として、不純物を添加して共鳴準位を形成する戦略が有力視されてきましたが、同時に電気伝導率が低下してしまうため、高いゼーベック係数と高い電気伝導率を同時に実現することは難しいと考えられてきました。

一方で中村教授らのグループでは、温度分布を制御することで母体熱電材料のゼーベック係数を保ちつつ電気伝導率を高める方法論を確立してきました（サーマルマネージメント法）。これは、母体熱電材料に対して高い電気伝導率を有する材料を添加することで電気伝導率を増大し、低い熱伝導率すなわち高い熱抵抗を有する母体熱電材料に大きな温度差が生じることで母体熱電材料のゼーベック係数を保つことができるという手法です。

❖ 研究の内容

本研究では、これまで確立してきたサーマルマネージメント法によるゼーベック係数を維持した電気伝導率増大効果と共鳴準位効果によるゼーベック係数の増大効果を融合することで、ゼーベック係数と電気伝導率を“同時に増大”させることを提案しました。この方法論の実証を狙って、SiGeとAuのコンポジット材料を作製しました。本コンポジット材料は、AuドーピングされたSiGeの領域（領域A：Au原子由来の共鳴準位による高いゼーベック係数、及びSiGe由来の低い熱伝導率）とAu結晶の領域（領域B：Au結晶の高い電気伝導率、及び高い熱伝導率）の2つの領域から構成されていることがわかりました（図1左）。温度差が印加された際、低い熱伝導率の“領域A”に主に温度差が生じることで、全体として、“領域A”由来の高いゼーベック係数を得ることができます。実際に、従来SiGeと比較して高いゼーベック係数と高い電気伝導率が同時に実現されていることがわかりました。結果として、熱電材料から得られる電力の指標である熱電変換出力因子は、宇宙船に搭載のRTG（Radioisotope thermoelectric generator）に利用されているSiGe材料と比較して、室温近傍で3倍程度高い値を示しました（図1右）。

❖ 本研究成果が社会に与える影響（本研究成果の意義）

今回注目したSiGeは、宇宙船の電源の熱電材料として、高温環境において熱エネルギーを電気エネルギーに変換することに利用されています。本研究では、室温近傍において、このSiGe材料の高性能化に成功しました。これにより、宇宙船の電源として高温で利用されているSiGe材料を改良することで、身の周りに膨大に存在する室温近傍の廃熱をエネルギー源として再利用可能となる“新エネルギー社会”の実現が期待できます。



東邦大学



高知工科大学
KOCHI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



国立大学法人 大阪大学

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-1

TEL: 06-6877-5111 (代)

www.osaka-u.ac.jp

Press Release

❖ 特記事項

本研究成果は、2021年1月29日（金）（日本時間）に英国王立化学会「Journal of Materials Chemistry A」(オンライン)に掲載されます。

タイトル：“Anomalous enhancement of thermoelectric power factor by thermal management with resonant level effect”

著者名：Shunya Sakane, Takafumi Ishibe, Kosei Mizuta, Takeshi Fujita, Yuga Kiyofuji, Jun-ichiro Ohe, Eiichi Kobayashi, and Yoshiaki Nakamura

なお、本研究は、科学研究費補助金・基盤研究 A(19H00853)、挑戦的研究(萌芽)(19K22110)、科学技術振興機構(JST) 戦略的創造研究推進事業チーム型研究(CREST)「超空間制御に基づく高度な特性を有する革新的機能素材等の創製(研究総括：瀬戸山亨)」の研究課題「ナノ超空間を利用した熱・スピン・電界交差相関による高効率エネルギー変換材料の創製(研究代表者：水口将輝)」の一環として行われました。

❖ 用語説明

※1 シリコンゲルマニウム (SiGe)

第 14 族元素のシリコンとゲルマニウムの化合物。

※2 ゼーベック係数

材料に温度差を与えたときに起電力として変換される現象をゼーベック効果といい、その際の単位温度差あたりに発生する起電力のことをゼーベック係数という。

※3 急冷法

固体材料を高温に加熱して溶かしたのちに、急激に冷却することによって固体材料を作製する方法。

※4 コンポジット材料

異なる 2 種類以上の材料を複合した材料。

※5 共鳴準位

材料に不純物を添加した時に、伝導帯のエネルギー中に形成される電子準位。適切なエネルギー準位に共鳴準位を形成することでゼーベック係数が増大する。

❖ 本件に関する問い合わせ先

<研究内容に関すること>

大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授 中村芳明（なかむら よしあき）

TEL：06-6850-6315 FAX：06-6850-6315

E-mail: nakamura[at]ee.es.osaka-u.ac.jp

<JST 事業に関すること>

嶋林 ゆう子（しまばやし ゆうこ）

科学技術振興機構 戦略研究推進部 グリーンイノベーショングループ

TEL：03-3512-3531 FAX：03-3222-2066

E-mail: crest[at]jst.go.jp





東邦大学



高知工科大学
KOCHI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



国立大学法人 大阪大学

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-1

TEL: 06-6877-5111 (代)

www.osaka-u.ac.jp

Press Release

<プレスリリースに関すること>

大阪大学 大学院基礎工学研究科 庶務係
TEL : 06-6850-6131 FAX: 06-6850-6477
E-mail: ki-syomu[at]office.osaka-u.ac.jp

高知工科大学 広報課
TEL : 0887-53-1080 FAX: 0887-57-2000
E-mail: kouhou[at]ml.kochi-tech.ac.jp

学校法人東邦大学 法人本部経営企画部
TEL : 03-5763-6583 FAX: 03-3768-0660
E-mail: press[at]toho-u.ac.jp

科学技術振興機構 広報課
TEL : 03-5214-8404 FAX: 03-5214-8432
E-mail: jstkoho[at]jst.go.jp

❖ 参考 URL

中村 芳明教授 研究者総覧 URL <http://www.dma.jim.osaka-u.ac.jp/view?u=5889>

【中村教授のコメント】

室温近傍の低い温度領域での熱電変換の性能向上は、次世代の持続的なエネルギー社会構築へとつながりうるものです。環境調和型の材料で性能の向上を示したのは、重要な意味を持つものと思っています。

