

研究課題別事後評価結果

2015年度から2018年度まで実施したCREST研究の事後評価結果(黒字部)にステップアップCREST(2019年4月～2020年3月実施)の事後評価結果を赤字で追記。

1. 研究課題名：新規な磁性半導体熱電材料を用いた熱電発電デバイスの研究開発

新規な磁性半導体熱電材料を用いた熱電発電デバイスの研究開発と応用
(2019年4月～2020年3月)

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）

研究代表者

森孝雄（物質・材料研究機構国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 MANA 主任研究者）
(物質・材料研究機構機能性材料研究拠点 グループリーダー)

主たる共同研究者

小林 伸彦（筑波大学物理工学域 准教授）

ゴルバーグデミトリ（物質・材料研究機構国際ナノアーキテクトニクス研究拠点
ナノチューブグループ 主任研究者）

エルンスト パウアー（ウィーン工科大学固体物理学研究所 教授）

3. 事後評価結果

○評点：

A■ 期待通りの成果が得られている

A■ 期待通りの成果が得られている

○総合評価コメント：

■研究の達成状況および研究成果

- (1) $\text{CuGa}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}_2$ や Mn ドープ磁性半導体材料では、電子と Mn イオンとの強い磁気相互作用による大きな有効質量(磁気ポーラロン)が熱電性能の大幅な向上の原因であることを初めて明らかにした。
- (2) 磁性イオンやナノ空隙などを取り入れた熱電材料を新規に作製し、創り込んだナノマイクロ多孔によるフォノンの選択散乱により高い熱電性能 ($ZT \sim 1.6$: CoSb₃系スキュテルダイト)を実現した。
- (3) 金属強磁性体 $\text{Fe}_2\text{V}(\text{Al}, \text{Si})$ において、スピン揺らぎによって出力因子が2倍以上向上することを実験的に初めて見出した。
- (4) 安価な材料を主成分とする磁性半導体硫化物を用いた熱電発電モジュールで、最大 110mW(温度差約 90°C)の発電を実証した。
- (5) 走査透過電子顕微鏡を利用した、新しいナノスケール熱輸送評価法 (STEM-based thermal analytical microscopy, STAM 法)の開発に成功した。

ステップアップ後には、2018年度までに開発を進めた領域オリジナル技術（a. 磁気増強効果 b. ナノ構造制御による独自のフォノン選択散乱法、電子状態制御法、c. フォノン物性の高度な解明、d. 独自コードによる熱電物性の理論解析・予測と TEM in-situ プローブなどの先端ナノ評価）を結集し、短期間にもかかわらず以下の成果を得ることができた。

- (6) $ZT > 4$ の優れた熱電性能をもつホイスラー Fe_2VAI 型合金薄膜の作製に成功。パワーファクター増大の要因を探るべく、電子帯構造をベースに理論面からのメカニズムを解明中。
- (7) Bi_2Te_3 への非磁性イオン Ga および磁性イオン Cr のドーピングの実験を通して希薄磁性半導体における磁性による熱電増強の効果を明らかにした。
- (8) $\text{CuIn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}_2$ への Mn ドープの実験から、磁性イオンドープによる熱電特性の増大効果は磁性イオンとキャリアのオンサイト相互作用であることを示唆する結果を得た。

■得られた研究成果のインパクト

磁性半導体の熱電特性に及ぼす磁性元素の効果を学術的に解明した。

安価な材料を主成分とする磁性半導体硫化物の熱電材料の開発は元素戦略の観点からも価値が高く、すでに複数の企業と共同研究を開始している。

■研究の進め方において高く評価できること

本 CREST さきがけ領域の複数の研究者と連携して研究を進め、熱電性能測定の領域横断的なセンターとして機能し、本領域に対する貢献度と人材育成の両面でのシナジー効果が得られた。その結果、本研究領域内の CREST 他チーム、さきがけ研究者と、3 報の共著論文を発表している。

ステップアップ CREST では海外の研究者を主たる共同研究者に組み入れて本格的な共同研究を進めており、Nature 誌への共著論文を発表している。

薄膜のサーモフレクタンス信号から膜面内の熱伝導率を正確に測定できる解析・評価手法を開発。機器メーカーとの共願で、国内および PCT 特許出願を行っている。

■その他特記すべき事項

磁性イオンドープ、ナノ空隙などを取り入れた熱電材料については適宜知財化もおこなっている。基礎研究・応用技術開発の両面で優れた成果が得られた。国際共同研究や国際学協会活動を先導する等、当該研究分野における国際的求心力の向上も継続的に進められている。

研究代表者は、2020 年度の大規模プロジェクト型(技術実証研究)未来社会創造事業「センサ用独立電源として活用可能な革新的熱電変換技術」に応募、提案した研究開発課題「磁性を活用した革新的熱電材料・デバイスの開発」が採択され、ステップアップ CREST を早期終了。多額の研究開発費(総額 31 億円上限)の新規プロジェクトへの移行で、これまで本研究領域で得られた研究成果とあわせて、我が国全体の熱電発電の進展が期待できる。