

【助成 40-18】

省エネルギー技術の実現に向けた強磁性酸化物材料の開拓

研究者 東京大学 大学院工学系研究科 准教授 ヒルシュベルガー マクシミリアン

〔研究の概要〕

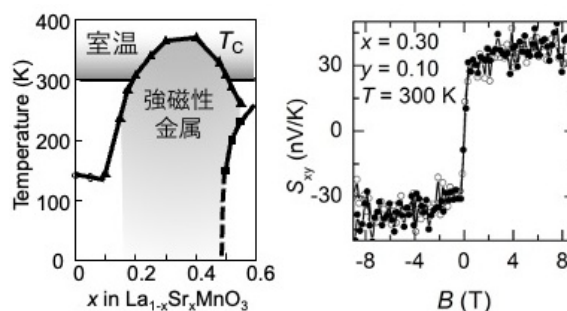
この研究プロジェクトの焦点は、ジュール熱によって廃熱として浪費されるエネルギーを有用な電気に変換するプロセスである熱電効果である。現在、多くの民生・産業プロセス、例えばコンピューター設備の大規模電子回路や自動車の燃焼エンジンなどでエネルギーが失われている。熱電効果はこの問題を解決するもので、2つのタイプに分類できる：ゼーベック効果とネルンスト効果である。最近の研究では、磁性材料におけるネルンスト効果が、熱変換のためのエネルギー効率の高い代替手段を提供することが示されているが、これはまだほとんど未解明である。具体的には、酸化物の熱電ネルンスト効果を対象とする。酸化物は、非常に高温でも化学的に安定な材料であり、腐食に強く、化学的置換プロセスによって高度に調整可能である。

〔研究経過および成果〕

この研究プロジェクトの焦点は、ジュール型加熱によって浪費されるエネルギーを有用な電気に変換するプロセスである熱電効果である。現在、多くの民生・産業プロセス、例えばコンピューター設備の大規模電子回路や自動車の燃焼エンジンなどでエネルギーが失われている。熱電効果はこの問題を解決するもので、2つのタイプに分類できる：ゼーベック効果とネルンスト効果である。最近の研究では、磁性材料におけるネルンスト効果が、熱変換のためのエネルギー効率の高い代替手段を提供することが示されているが、これはまだほとんど未解明である。具体的には、酸化物の熱電ネルンスト効果を対象とする。酸化物は、非常に高温でも化学的に安定な材料であり、腐食に強く、化学的置換プロセスによって高度に調整可能である。

本研究では、強磁性酸化物のネルンスト効果を探る。マンガン系ペロブスカイトのような酸化

物強磁性体は、300°Cまでの温度で化学的に安定であることが特徴であるが、そのネルンスト効果については詳しく研究されていない。我々は、これらの材料がネルンスト効果による熱電変換に適しているかどうかを調べることを目的としている。1990年代から将来の省エネルギー技術への可能性が注目され、広く研究されてきたゼーベック効果とは対照的に、ネルンスト効果はあまり研究されていない。しかし最近、Co₂MnGa [NPG Asia Materials **11**, 16 (2019)] などの金属強磁性体が巨大なネルンスト効果を示すことが報告された。



図、LSMIOの磁気相図と室温（300K）で観測された異常ネルンスト効果。

これらの金属の問題点は、熱電材料の最も重要な応用が想定される高温での腐食の可能性である。そこで我々は、化学的に強靱で耐食性に優れた材料である酸化物の熱電ネルンスト効果を提案した。酸化物では、遷移金属イオン（マンガン、Mn など）による強磁性状態が先行研究で観測されている。

室温に近い温度で強磁性を示す、ストロンチウム含有量 30% の高品質酸化物 $(\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3})(\text{Mn}_{1-y}\text{Ir}_y)\text{O}_3$ (LSMIO) 多結晶を合成した。3d 元素マンガンの代わりに少量 (5 ~ 10%) の重 5d 遷移金属元素イリジウムを使用すると、この材料のスピ軌道相互作用が増加し、ネルンスト効果が強化されることが期待される。合成した試料を、X 線回折測定、走査型電子顕微鏡、および元素固有 X 線分光法 (EDX) により特性評価した。私たちの研究室では、磁化と輸送特性を使用して、相転移、電子特性 (絶縁体/金属の特性) などを調べた。我々は、かなり強く置換された結晶 (Ir 10%) であっても、磁気転移温度 T_c が 320 K 以上と高いままであることを発見した。これは、強磁性状態の堅牢性とそれが研究目的に適していることを示す。熱電測定では、 T_c でのゼーベック効果の符号の変化と、 T_c の上下の間でネルンスト効果信号の明らかな変化が観察された。特に、磁石のスピ軌道結合によって生成される異常ネルンスト効果の特徴であるステップ異常は、強磁性状態でのみ現れる。このネルンスト効果は、 Fe_3Ga や Co_2MnGa などの標準金属化合物に比べて大幅に小さいにもかかわらず、多結晶で容易に製造できる原料を使用した耐食材料で実現された。将来的には、大きなネルンスト

効果を持つ酸化物、特に反強磁性体に焦点を当てて研究を拡大する予定である。反強磁性体は、親結晶構造に対して特定の対称性要件が満たされていれば、ゼロ磁場で大きな熱電応答を示す可能性がある [Phys. Rev. X **12**, 040501]。

[発表論文]

1. Kamil Kolincio, Max Hirschberger, Jan Masell, Taka-hisa Arima, Naoto Nagaosa, and Yoshinori Tokura, “Kagome Lattice Promotes Chiral Spin Fluctuations”, Physical Review Letters **130**, 136701 (2023)
2. Rinsuke Yamada, Takuya Nomoto, Atsushi Miyake, Akiko Kikkawa, Ryotaro Arita, Masashi Tokunaga, Yasujiro Taguchi, Yoshinori Tokura, and Max Hirschberger, “Nernst effect of high-mobility Weyl electrons enhanced by a Fermi surface nesting instability”, Submitted (2023)
3. Shun Akatsuka, Sebastian Esser, Shang Gao, Seno Aji, Yoshichika Onuki, Taka-hisa Arima, Taro Nakajima, and Max Hirschberger, “Non-coplanar helimagnetism in the layered van-der-Waals metal DyTe_3 ”, Submitted (2023)
4. Nguyen Duy Khanh, Susumu Minami, Moritz M. Hirschmann, Takuya Nomoto, Ming-Chun Jiang, Rinsuke Yamada, Daiki Yamaguchi, Yudai Hayashi, Yoshihiro Okamura, Guang-Yu Guo, Youtarou Takahashi, Shinichiro Seki, Yasujiro Taguchi, Yoshinori Tokura, Ryotaro Arita, and Max Hirschberger, “Gapped nodal planes drive a large topological Nernst effect in a chiral lattice antiferromagnet”, Submitted (2023)