

磁性体中で電流を曲げるだけで熱制御できる 新しい物理現象

SATテクノロジー・ショーケース2019

■ はじめに

磁性体中で電流を曲げるだけで加熱や冷却ができる熱電変換現象「異方性磁気ペルチェ効果」を観測することに世界で初めて成功した。熱電変換現象で加熱・冷却するためには、これまで2つの異なる物質を接合した構造が用いられてきたが、本研究により、接合のない単一の物質において、その磁気的な性質のみによって熱制御できる新しい機能が実証された。磁性体における基本的な熱電変換現象であるにもかかわらず未観測であった異方性磁気ペルチェ効果が初めて観測されたことで、熱電分野やスピントロニクス基礎科学や応用技術のさらなる進展が期待される。

■ 活動内容

1. 熱電変換技術

金属や半導体において、電流と熱流は相互に変換することができる。これは熱電効果と呼ばれ、代表的な例として電流で加熱・冷却するペルチェ効果が知られている(図1(a))。ペルチェ効果は200年近く前に発見された現象であるが、コンピュータのさらなる省エネルギー化などを目指して、現在でも世界中で熱電変換の効率や汎用性を向上させるための研究が進められている。

2. 磁気をもたらす新しい熱電変換機能

今回我々は、ロックインサーモグラフィ法と呼ばれる熱計測技術を用いて、典型的な強磁性体であるニッケルに電流を流した際に生じる温度変化を詳細に測定した。その結果、ニッケルの磁化方向と電流方向のなす角度に依存して、ペルチェ効果の性能が変化する振る舞いが観測された(図1(b))。磁性体において、電子のスピン(磁気)の効果によって、温度差を電気に変換するゼーバック効果が磁化方向に依存して変化する現象は以前から観測されていたが、その逆過程である異方性磁気ペルチェ効果については本研究が初めての観測例である。

異方性磁気ペルチェ効果を用いれば、従来のペルチェ効果では実現できなかった以下の熱制御機能が得られる。

- 異物質接合の無い、単一の磁性体による電子冷却
 - 磁性体の形状や磁化分布を変えることによる熱電変換特性の再構成
 - 局所的に磁化させることによる任意箇所の温度変動
- ニッケルにおける異方性磁気ペルチェ効果は磁場に依存しない成分(従来のペルチェ効果)の数%程度の小さな信

号であったが、ペルチェ係数の磁化方向依存性が大きい磁性材料が見つければ、上記の機能を活かすことで、汎用性が高くコンパクトな熱制御デバイスの創出に繋がる可能性がある。本研究では、ニッケルにスピン軌道相互作用の大きな元素(白金など)を少量加えるだけで温度変化が数倍大きくなることも実証しており、すでに大きな異方性磁気ペルチェ効果を示す材料の探索・設計指針が得られ始めている。最近では異方性磁気ペルチェ効果の第一原理計算手法も構築されており、大きなペルチェ係数の異方性を示す材料を電子構造から予測することも可能になってきている。異方性磁気ペルチェ効果によってもたらされた新しい熱電変換コンセプトをエレクトロニクス・スピントロニクス素子のサーマルマネジメント技術へと展開することを目指し、現在も物理・材料研究を進めている。

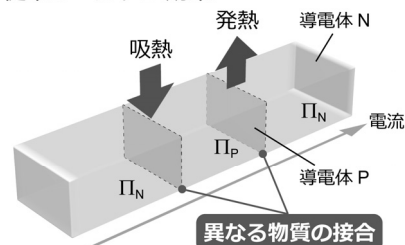
■ 関連情報等(特許関係、施設)

国内特許：特願2017-089924「熱電変換装置」

内田健一、大門俊介、井口亮、齊藤英治

謝辞：本稿で紹介した研究は、主に科学技術振興機構CREST (JPMJCR17I1)、科学研究費補助金 基盤研究(A) (JP15H02012)の支援を受けて実施された。

(a) 従来のペルチェ効果



(b) 異方性磁気ペルチェ効果

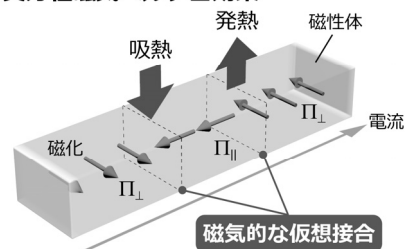


図1 従来のペルチェ効果(a)と異方性磁気ペルチェ効果(b)の概念図

代表発表者 内田 健一(うちだ けんいち)
所 属 国立研究開発法人 物質・材料研究機構
磁性・スピントロニクス材料研究拠点
スピエンエネルギーグループ
問合せ先 〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1
TEL: 029-859-2062 FAX: 029-859-2701
UCHIDA.Kenichi@nims.go.jp

■キーワード: (1) スピントロニクス
(2) 磁性材料
(3) 熱電変換技術