低次元材料における熱電効果の電界制御

Electric field control of thermoelectric effect in low-dimensional materials

電中研　清水 直

Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI)

E-mail: s-sunao@criepi.denken.or.jp

熱電効果は、その発見から約 200 年もの間、固体物理・材料科学の一分野として連綿とした研究が行われ、特に 20 世紀中ごろに半導体が金属に比べて大きな熱電効果を示すことが認識されてからは、Bi_2Te_3 系物質をはじめとする様々な優れた熱電半導体材料が発見されてきた。さらに近年では、この豊富な半導体材料のバリエーションに低次元性やナノ構造を組み合わせ、更なる熱電特性の向上を目指した研究が行われている。例えば、近年精力的に研究されている遷移金属カルコゲナイド等の層状物質では非常に結晶性の高い二次元シートが得られるようになり、これらは 1 ユニットセル程度の厚さでも金属的な電気伝導を実現できるため、熱電効果の低次元性を研究する理想的な対象であると考えられる。

本講演では、電気二重層トランジスタを用いた低次元物質における熱電効果の電界制御について報告する。電気二重層トランジスタとは、イオン液体をゲート絶縁体に利用した電界効果トランジスタ(FET)であり、様々な半導体材料に対して非常に高密度・高精度な静電キャリアドーピングを可能にする[1]。キャリア濃度は最大で 10^{21}~10^{22} cm^{-3} にも達し、通常の固体ゲート FET では観測が困難な電界誘起超伝導や金属絶縁体転移などが実現される[1]。また、物質によっては電圧印加により伝導帯から価電子帯へフェルミ準位をシフトさせることが可能であり、非常に広範囲なキャリア変調および物性探索が可能となる。この方法を熱電効果測定に応用すると、ゼーベック係数や電気伝導度を電界で精密に制御することができ、とくに複雑なバンド構造をもつ物質において系統的な熱電特性の研究が可能となる。

熱電材料の研究において、特に熱電素子としてのアプリケーションを考える場合には、材料の化学的な安定性や構成元素の希少性・毒性を考慮した上で、優れた熱電性能を有する材料を見つけ出すことが要求される。その一方で、実用化へ向けての様々な制約を度外視し、固体材料を用いて到達しうる熱電特性の上限を開拓するということは、将来的に熱電発電に求める目標を明確にする上でも、重要な課題ではないだろうか。当日は、これまで我々が行ってきた研究を報告し、二次元材料を中心とした熱電応答について議論したい。

本研究の一部は、JPSJ 科研費(JP26820298、JP17H02928、JP20H02830）の支援の下に行われた。また、発表内容は多数の研究者との共同研究に基づくものである。本研究で関わった多くの共同研究者に心から感謝する。

[1] S. Z. Bisri, S. Shimizu, M. Nakano, and Y. Iwasa, *Adv. Mater*. **29**, 1607064 (2017).

© 2020年 応用物理学会