

助成金対象研究の紹介文

単一分子熱電素子の創製

大阪大学産業科学研究所 助教 筒井 真楠

熱電効果を利用した熱電発電は、直接的に熱エネルギーを電気エネルギーに変換できるため、理想的なクリーンエネルギーのひとつと考えられている。熱電発電デバイスの実用化における最も大きな課題は、そのエネルギー変換効率の向上である。熱電変換素子のエネルギー変換効率は、熱電材料の無次元性能指数 $ZT (= \sigma S^2 T / \kappa)$; T : デバイス駆動温度; σ : 電気伝導率; κ : 熱伝導率; S : ゼーベック係数) で決められ、熱電発電モジュールの産業利用には $ZT > 3$ の達成が必要とされている。しかし、従来のバルク熱電材料開発では、 σ が κ に比例するというジレンマがあり、実用レベルに見合う高い熱電変換効率が達成できていない(ほとんどの場合 $ZT < 1$)。一方、最近注目を集めているのが超格子薄膜やナノワイヤーなどの低次元ナノ構造体である。その特長は、フォノンの表面・界面散乱の寄与による格子熱伝導率の低減と、電子の量子閉じ込め効果によるゼーベック係数の向上であり、これらの特長を活かすことで $ZT > 3$ の達成が理論的に見込まれている。そして実際にも、フォノン散乱による κ の低減効果の応用により、ここ 10 年間で無機系ナノ構造体を用いて $ZT > 1$ の熱電特性が報告されてきている。しかし κ の低減効果だけでは実用の目安である $ZT > 3$ は達成が困難といわれ、また、量子閉じ込め効果の利用には、BiTe 系などの無機熱電材料を 3 ナノメートル以下に加工する必要があるため、技術・コスト的に実現が難しい。従って、今、熱電エネルギーの産業利用には新たなブレークスルーが不可欠となっている。

一方、有機分子は、構造が明確に定義された精緻なナノ構造体であり、ナノ電極に配線することで、0 次元量子閉じ込め構造が構築できる。この電極/単一分子/電極接合系により、量子閉じ込め効果を利用した高 ZT 熱電性能を実証することで、今後の熱電材料開発に新たな指針を提供し、熱電発電の実用化を飛躍的に近づけることができる。本研究では、当方でこれまで開発してきた熱電特性測定用ナノデバイスを用いて、単一分子接合の熱電性能評価を行い、高 ZT 有機分子熱電素子の創製に向けた分子設計指針を明らかにする。