19p-A3-17

かご状タンパク質を利用した熱・キャリア輸送制御による カーボンナノチューブナノコンポジットの熱電性能向上

Enhanced thermoelectric performance of carbon nanotube nanocomposites by the controlled heat/carrier transports using cage-shaped proteins

奈良先端大物質創成 °伊藤 光洋, 岡本 尚文, 阿部 竜,
小島 広孝, 松原 亮介, 山下 一郎, 中村 雅一
NAIST, °M. Ito, N. Okamoto, R. Abe, H. Kojima, R. Matsubara,
N. Okamoto, I. Yamashita, M. Nakamura
E-mail: i-mitsuhiro@ms.naist.jp

[背景・目的] 我々の身の回りの排熱を効果的に回収するために、大面積・低コスト・フレキシブルな熱電変換素子の開発が望まれる。一般に、熱電変換材料の性能は無次元性能指数 $ZT = \alpha^2\sigma T/\kappa$ (α, σ, κ, T はそれぞれ、ゼーベック係数、導電率、熱伝導率、絶対温度）で評価される。数ある材料候補の中で、カーボンナノチューブ（CNT）は、柔軟性を保ちつつ高い機械的強度と導電率が得られるという利点を有している。しかし、CNT 単体のゼーベック係数が低く、熱伝導率が極めて高いことが課題であった。これを解決するため、我々は、バイオナノプロセスを利用することによって、CNT 単繊維間をコアシェル型分子で橋渡しする接合構造を自己組織的に作り込み、その熱電特性を大きく向上させることに成功したので報告する[1]。

[実験] コアシェル型分子として図 1 に示すリステリア菌由来の Dps (DNA-binding protein from starved cells) タンパク質を遺伝子改変して用いた。このタンパク質は、CNT に選択的に吸着するペプチド（NHBP1-peptide[2]）を 12 本外表面に持つ(C-Dps)。このタンパク質を用いることで、水溶液から固体薄膜を形成する際に、自発的に図 1 のような橋渡し構造ができる。この構造に熱流を与えると、柔らかいシェルで CNT フォノンが反射されることにより分子接合部に温度差が生じ、内包された半導体コアにより電子あるいは正孔が選択的かつ方向性を持って透過する。すなわち、接合部に熱電材料の理想のひとつである“phonon-blocking and electron transporting”構造が実現され、高性能熱電材料の新カテゴリーが創出されると期待される。

[結果と考察] 図 2 に CNT(pristine)と CNT/C-Dps 複合材料の熱電特性評価結果を示す。ここでは、p 型半導体的性質を示す Fe 酸化物をコア材料として用いた。熱伝導率が大きく抑制され、元々 p 型的であったゼーベック係数も、接合部の起電力が加わることにより増加した。さらにコアからのキャリアドーピングにより導電率も増加し、熱電特性として重要な 3 つのパラメータすべてを同時に改善することに成功した。また、作製した素子を 1 年 6 ヶ月に渡り真空デシケータ中で保管し、その特性を長期的に評価したところ、大きな性能劣化は見られなかった。これは、タンパク質をそのまま利用した電子デバイスも、長期間の使用に耐えうることを示す結果である。

[1] M. Ito et al, Appl. Phys. Express **7**, 065102 (2014); [2] D. Kase et al, Langmuir **20**, 8939 (2004)

.

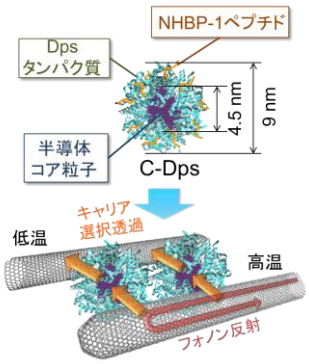

図 1　用いた Dps タンパク質（上図）、および、それが CNT 間を橋渡しすることによる局所的なゼーベック効果の概念図（下図）。

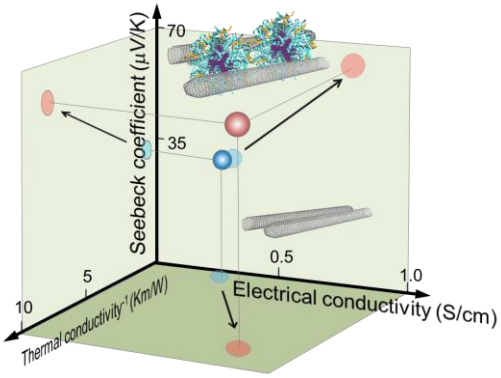

図 2　CNT(pristine)（青点）および CNT/C-Dps 複合材料（赤点）の熱電特性。熱伝導率のみ逆数表示してあり、原点から遠ざかるほど高性能である。

© 2014 年　応用物理学会