

イオン液体を用いた電気二重層キャリア注入による 半導体型単層カーボンナノチューブの熱電物性の制御

Control of Thermo-Electric Properties of Semiconducting Single Wall Carbon Nanotubes by Electric Double Layer Techniques Using an Ionic Liquid

首都大理工 °北村 典雅, 大島 侑己, 神田翔平, 河合 英輝, 中井祐介, 真庭豊, 柳 和宏

Tokyo Metropolitan Univ., °Yoshimasa Kitamura, Yuki Oshima, Shouhei Kanda, Hideki Kawai,

Yusuke Nakai, Yutaka Maniwa, Kazuhiro Yanagi

E-mail: yanagi-kazuhiro@tmu.ac.jp

はじめに

廃熱の有効利用などの観点から高効率な熱電変換素子の開発は極めて重要な課題である。物質の熱電変換性能の向上においては、ドーピングを制御し、そのフェルミレベルを精密に制御することが極めて重要である。近年、半導体型単層カーボンナノチューブ (SWCNT) ネットワークが大きなゼーベック係数を示すことが明らかになった。¹これまで我々は、イオン液体を用いた電気化学ドーピング法により SWCNT の様々な物性制御を行ってきた。²本研究では、イオン液体を用いた電気二重層キャリア注入により高純度に分離した半導体型 SWCNT にキャリアドーピングを施すことにより SWCNT のフェルミレベルをシフトさせた時のゼーベック効果の変化を明らかにすることを目的に研究を行った。

実験方法

本研究では密度勾配遠心分離法によって高純度に分離した直径 1.4nm の半導体型 SWCNT を用いた。パリレン基板上のソース・ドレイン電極間に半導体型 SWCNT の薄膜を架橋した。2 対の熱電対を SWCNT 薄膜の両端に接触させ、片端には温度差を生じさせるためのヒーターを設置した。ゲート電極と SWCNT が浸るようにイオン液体を垂らし、電気二重層トランジスタを作製した。測定に関してはゲート電極に電圧を印加し、SWCNT への電気二重層によるキャリアドーピングを行った。各ゲート電圧または各チャンネル電圧において、ヒーターを用いて SWCNT の両端に温度差を生じさせた際の SWCNT 間の温度差と電位差を測定しゼーベック係数 $S = \Delta V / \Delta T$ を算出し、評価を行った。

実験結果

チャンネル電圧とゼーベック係数との関係を右図に示す。チャンネル電圧を変化させることにより半導体型 SWCNT の極性の P 型から N 型への連続的な変化が観測された。

ゼーベック係数の極大・極小値はそれぞれ P 型において $137 \mu\text{VK}^{-1}$ 、N 型においては $-68 \mu\text{VK}^{-1}$ となり、これらの値は実用 Bi_2Te_3 系熱電材料に匹敵する大きさである。

まとめ

半導体型 SWCNT を用いた電気二重層トランジスタにおいて、ゲート電圧を変化させることによる SWCNT の極性の制御に成功した。また観測されたゼーベック係数も実用熱電材料に匹敵する大きさをもっており、高効率の熱電変換材料として期待される。

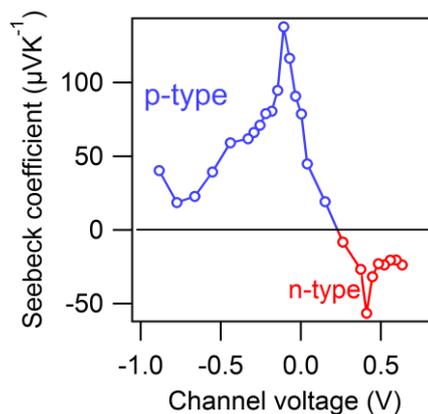


図 1 半導体型 SWCNT のゼーベック係数のチャンネル電圧依存性

参考文献:

1. Nakai et al., APEX 7, 025103 (2014)
2. Yanagi et al., Adv. Mater 23, 2811 (2011), Yanagi et al., Phys. Rev. Lett. 110, 086801 (2013)