# 1,1‘-Bis(diphenylphosphino)ferrocene を内包した N 型単層カーボンナノチューブの熱電特性

## n-Type Thermoelectric Properties of Single-walled Carbon Nanotubes encapsulating 1,1'-Bis(diphenylphosphino)ferrocene

○飯原 友、野々口 斐之、河合 壯（奈良先端大物質）
○Yu Iihara, Yoshiyuki Nonoguchi, Tsuyoshi Kawai (Nara. Inst. Sci. Tech.)
E-mail: iihara.yu.is2@ms.naist.jp, nonoguchi@ms.naist.jp

n 型単層カーボンナノチューブ(SWNTs)は太陽電池[1]やトランジスタ[2]に用いるフレキシブルな pn 接合デバイスの開発のために研究されてきた。SWNTs は通常、大気下で p 型であるが適切な電子ドナーを添加することで n 型化が可能である。しかし n 型 SWNTs は一般的に不安定であり、研究用途や実現化に向け、その安定化は重要課題である。近年、安定な n 型 SWNTs を得るため、その内部空間への分子導入が検討されている[3]。ナノチューブの内部空間は疎水空間のためドーパント分子の酸化抑制が期待できる。

最近､我々はホスフィンを含む多数のドナー化合物が SWNTs を n 型材料に変換できることを見出している[4]。この知見を応用し本研究では、ホスフィン誘導体の SWNTs 内包とその熱電特性への影響について検討した。1,1'-Bis(diphenylphosphino)ferrocene(dppf)と SWNTs の複合膜を 200℃真空中で加熱することで dppf 内包 SWNTs(dppf@SWNTs)を作製した。透過型電子顕微鏡(TEM)観察ならびにラマン分光から dppf 分子が SWNTs 中に内包されたことが示唆された(図 1)。調整した dppf@SWNTs は p 型 SWNTs に比べ、高い電気伝導性(758S/cm)を示すことから顕著な電子ドーピングが示唆された。SWNTs への単純な ferrocene や dppf の添加では十分なドーピング効果は見られなかった。一方で dppf@SWNTs は中程度の負のゼーベック係数を示すことから、分子内包による n 型ドーピングの優位性が示されると共に､dppf@SWNTs は比較的優位な出力因子(195μW/mK$^2$)を与えた(表 1)。また、この n 型フィルムは大気中で 1 週間程度安定であった。

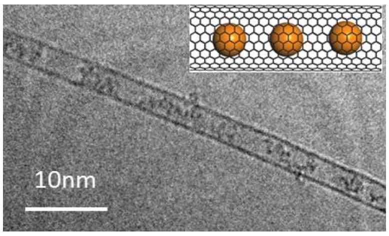


図 1 dppf@SWNTs の TEM 像

表 1 SWNTs、dppf 添加 SWNTs、dppf@SWNTs の熱電特性

| | Seebeck Coefficient (μV/K) | Conductivity (S/cm) | Power factor (μW/mK$^2$) |
|---|---|---|---|
| SWNTs | 48.4 | 600 | 141 |
| dppf添加SWNTs | -4.6 | 596 | 1.45 |
| dppf@SWNTs | -50.8 | 758 | 195 |

[1] Taylor, A. D. *et al*. *Nano Lett.* **2014**, *14*, 3388−3394.

[2] Dai, H. *et al. J. Am. Chem. Soc.* **2001**, *123*, 11512–11513.

[3]Fukumaru,T.*et al. Sci. Rep.***2015**,*5*,*7951*

[4] Nonoguchi, Y. *et al. Sci. Rep.* **2013**, *3*, 3344.

© 2016年 応用物理学会