

CNT サブモノレイヤー電界効果トランジスタによる CNT/タンパク質分子接合の電荷輸送特性評価

Characterization of charge transport through CNT/protein molecular junctions using CNT-sub-monolayer field-effect transistors



奈良先端大物質創成¹, [○](M1) 濱尾 爽一郎, 森岡 璃久, 趙 ヨンユン, 阿部 竜
岡本 尚文, Pandey Manish, 辨天 宏明, 中村 雅一

NAIST, [○]S. Hamao, R. Morioka, Y. Cho, R. Abe, N. Okamoto, M. Pandey, H. Benten, M. Nakamura
E-mail: hamao.soichiro.hn6@ms.maist.jp

[緒言] カーボンナノチューブ (CNT) は高い導電性、軽量性、および柔軟性の観点からウェアラブル熱電変換素子への応用が期待されており、広く研究が行われている。当研究室では、人工的に CNT に対する吸着能を付与させたコアシェル型タンパク質 (C-Dps) を CNT 間に接合させ、熱伝導率を抑えながら導電率を維持することで熱電性能を向上させ得ることを報告してきた[1]。しかし、これまで CNT:C-Dps 複合体のバルク状態での特性評価は行われているものの、接合部の局所的な電気輸送および熱輸送の機構については解明されていなかった。そこで本研究では、分子接合を持たないニート CNT およびタンパク質分子接合を有する CNT の網目状ネットワークを持つサブモノレイヤーをチャンネルとした電界効果トランジスタ (FET) を作製し、接合の有無による伝達特性の変化を調べることで接合部の電子輸送過程を考察した。

[実験] 熱電応用で使われているものと同様の半導体性と金属性が混ざった CNT (OCSiAl 製、TUBALL) を用いた。ニート CNT は NMP 中で超音波分散させ、CNT:C-Dps 複合体は超純水中で超音波分散させることで、それぞれの分散液を作製した。C-Dps には、コア粒子がないもの (C-Dps(apo)) とフェリハイドライトを内包させたもの (C-Dps(Fe)) を用いた。スピンコーターによって回転させた熱酸化膜付きシリコン基板 (SiO₂/Si) の中心にそれらの CNT 分散液を間欠的に滴下し、生じる放射状の流れによって CNT を配向吸着させた。その後、ソース/ドレイン電極を CNT 配向方向と電流方向が平行になるようにして Au のマスク蒸着によって形成し、基板 Si をゲート電極として用いるボトムゲート・トップコンタクト型の FET 構造を作製した。

[結果・考察] ニート CNT および CNT:C-Dps 複合体 (半導体コア有/無) の 3 種の網目ネットワークを活性層とする FET を作製し、伝達特性を比較した。得られた伝達特性をまとめて Fig.1 に示す。3 つの試料とも p 型の特性を示した。グラフの傾きを比較すると、

CNT:C-Dps (apo) > CNT:C-Dps (Fe) > ニート CNT の順でゲート変調が大きいことが明らかになった。ニート CNT については、1/3 の割合で含まれる金属性 CNT の影響で、フェルミ準位付近の状態密度が小さいながらも有限の値を持つため、ゲート変調が小さいと考えられる。一方、C-Dps はワイドギャップ半導体的性質を持つ[2]ため、CNT:C-Dps(apo)のゲート変調が大きくなったと考えられる。フェリハイドライトコアは半導体として C-Dps の空孔を埋めることで電荷輸送能力を大幅に改善するものの、その状態密度が C-Dps より大きいため、CNT:C-Dps(Fe)のゲート変調は C-Dps(apo)より小さくなっているものと考えられる。今回の結果より、CNT:C-Dps 複合体において、CNT/C-Dps/CNT 分子接合が電流経路に高周波で挿入され、電荷輸送特性に影響を与えていることが示された。発表では、特性の温度依存性を調べた結果についても報告し、接合部のエネルギーダイアグラムを考察する。

[謝辞] 本研究は、JST CREST (JPMJCR18I3) の支援を受けたものです。

[参考文献] [1] M. Ito, et al., *Appl. Phys. Express* 7, 1 (2014). [2] N.K. Gupta, et al., *Small*, 2203338 (2022).

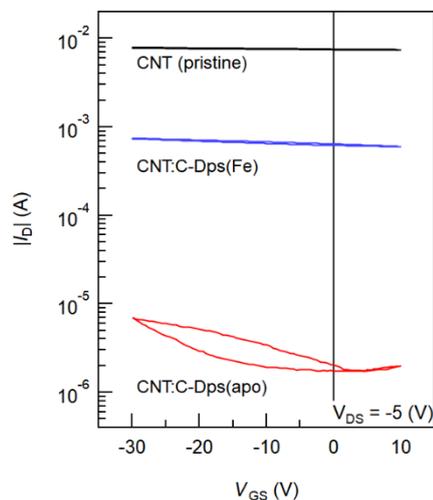


Fig. 1 Transfer characteristics of CNT-sub-monolayer FETs