

カーボンナノチューブネットワークの伝導メカニズムの解明

The study on the transition mechanism of carbon nanotube networks

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 栗原有紀

【概要】

単層カーボンナノチューブは、炭素原子のみからなり、グラフェンシートを円筒状に丸めた直径 1nm 長さ数 μm の擬一次元ナノ物質である。そのグラフェンシートの巻き方の違いにより金属の性質を示すものが 1/3 と半導体の性質を示すものが 2/3 の割合で存在することに加え、優れた機械的特性と化学的安定性を有することから、エレクトロニクス分野において実用化に向けて様々な応用が期待されている。その中でも、カーボンナノチューブのネットワーク構造を利用した薄膜トランジスタや透明導電膜の研究は盛んに行われており、フレキシブルデバイスやプリンタブルエレクトロニクスの研究分野において有力な材料である。我々はこれらの特性の向上に向けてカーボンナノチューブの構造の観点から研究を進めてきた。カーボンナノチューブは直径・長さ・カイラリティ（巻き方）と多彩な構造のものが混在している点に加え、容易にバンドル（束状の構造）を形成する。さらに、これらの違いによってカーボンナノチューブネットワークのモルフォロジーにも影響を与えてしまい制御すべきパラメータは多い。カーボンナノチューブのデバイスの性能に対し構造との相関をつかむにも、それぞれのパラメータを切り分けることは重要であるが困難であった。

これに対し我々は、生体分子の DNA で修飾したカーボンナノチューブを用いることにより孤立状態かつ一様な長さのカーボンナノチューブからなる均一なネットワークを作製することによって、薄膜トランジスタの特性についてカーボンナノチューブの構造の影響を明らかにしてきた。DNA の塩基は π - π 相互作用によりカーボンナノチューブの表面を修飾し、リン酸基の存在により水溶液中でカーボンナノチューブを安定に分散することができ、薄膜形成時においてもバンドル化が起こらないためにモルフォロジーへの影響が少ない。さらには、クロマトグラフィーを用いることで、カーボンナノチューブの長さ、電気的性質（金属・半導体）、カイラリティを分離することも可能であることが知られている[1]。

本研究では、この孤立ネットワークを利用することで、カーボンナノチューブの長さに着目し、カーボンナノチューブの長さや薄膜トランジスタの特性の相関について評価した。カーボンナノチューブの長さは、パーコレーション閾値と関係があることから、それに伴い接点の数も変わり、ナノチューブ間のコンタクト抵抗の大きさに与える影響は大きいと考えられる。カーボンナノチューブ薄膜トランジスタの抵抗はチャネル内の抵抗、すなわちカーボンナノチューブ間のコンタクト抵抗が支配的となることから、デバイス性能と長さとの相関を把握することは、性能向上の指針を得る点においても興味深いと考えた。カーボンナノチューブ薄膜トランジスタにおけるカーボンナノチューブの長さの影響について評価した結果、カーボンナノチューブの平均長を長くすることでオンオフ比、移動度ともに増加する傾向が得られた。カーボンナノチューブが短くなることによりオフ電流が大きくなり、結果としてパーコレーション理論から予想される密度以下においてショートするデバイスがでてきた[2]。

以上の研究結果について発表するとともに、本報告では当研究グループで開発しているカーボンナノチューブの電気的性質による分離法についても紹介する。

【謝辞】

最後になりましたが、本研究を遂行するにあたり支援して頂きました公益財団法人山田科学振興財団に心より御礼申し上げます。

【引用文献】

[1] X. Tu, S. Manohar, A. Jagota and M. Zheng, *Nature* 460, 250 2009.

[2] Y. Kuwahara, F. Nihey, S. Ohmori, and T. Saito, *Carbon*, 91, 370, 2015.