

学位論文の審査結果の要旨

本博士論文は単層カーボンナノチューブ(SWCNT)の新たな分散手法の研究と透明導電膜などへの応用可能性についての検討を行ったものである。新たな SWCNT 分散剤として Zn/Al をベースにしたものを提案し、その分散能が従来の SDS や SDBS よりも数倍優れた分散剤となっていることを明らかにした。

単層カーボンナノチューブはグラフェンが円筒状になった構造をもつ物質で巻き方(カイラリティ)によって半導体から金属的な性質まで変化する電氣的性質や非常に高い引張り強度を持つ物質である。単層カーボンナノチューブの大量合成法や高純度生成法が開発されて時間が経ち、応用として電子回路やキャパシタ、透明導電膜などの電気電子デバイスや複合材料、バイオ材料などが活発に研究されている。しかし、大量合成された単層カーボンナノチューブを効果的に分散する手法が不足しているために用途開発が進まない状態と、本来単層カーボンナノチューブから期待されるべき特性をフルに発揮できない状態が生じている。

そこで本研究では単層カーボンナノチューブの透明導電膜への応用を目指し、効果的な単層カーボンナノチューブの分散手法の検討、透明導電膜の成膜法に関する研究を行った。

単層カーボンナノチューブ高分散水系インクの調製を行うために亜鉛アセテートとアルミナイトレートに基づいた Zn/Al 系の分散剤を開発し、分散機構として単層カーボンナノチューブ表面への親油基の効果的な付着と親水基による水への分散が生じていることが明らかになった。これにより長期間放置しても安定な単層カーボンナノチューブ分散インクの作製に成功した。この分散剤のメリットは低濃度硝酸での短時間の洗浄で容易に分散剤を除去できる点で、従来の分散剤では濃硝酸への長時間処理などを行わなくてはならなかったことと比較しても非常に簡便かつ安全である。

得られた単層カーボンナノチューブ高分散水系インクを利用して、バーコーティング法によって光透過度が 90%でシート抵抗が $150 \Omega/\square$ の透明導電膜の作製に成功した。均一に単層カーボンナノチューブが分散した膜生成のためには粘度の調整が重要な要素であることを明らかにし、特に局所的なインクの流れによるインク乾燥の遅れを防ぐことで均一な膜が生成できることを解明した。

以上より本論文は巻物状カーボンナノチューブの高効率高純度生成への道筋を実験により拓き、構造解析や電気伝導解析を通して巻物状カーボンナノチューブの基礎特性を明らかにした。また理論計算により巻物状カーボンナノチューブの生成機構の解明、特異な電気伝導機構の解明を体系的に行った。またエネルギーデバイスとしての可能性を検討しており、申請学位論文は審査付き筆頭著者原著論文 3 編に基づいてまとめられている。本論文の学術的新規性及び貢献度は高く、本研究の成果はナノカーボン科学の基礎と応用に貢献するもので、審査委員全員一致で博士の学位に値するものと判断した。

公表主要論文名

1. R. Kukobat, D. Minami, T. Hayashi, Y. Hattori, T. Matsuda, M. Sunaga, B. Bharti, K. Asakura,

- and K. Kaneko, "Sol-gel chemistry mediated Zn/Al-based complex dispersant for SWCNT in water without foam formation", *Carbon* 94, 518-523, 2015.
2. R. Kukobat, T. Hayashi, T. Matsuda, M. Sunaga, T. Sakai, R. Futamura, and K. Kaneko, "Zn/Al complex-SWCNT ink for transparent and conducting homogeneous films by scalable bar coating method" *Chem. Phys. Lett.* 650, 113-118, 2016.
 3. R. Kukobat, T. Hayashi, T. Matsuda, M. Sunaga, R. Futamura, T. Sakai, and K. Kaneko, "Essential Role of Viscosity of SWCNT Inks in Homogeneous Conducting Film Formation", *Langmuir*, 32, 6909-6916, 2016