

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名： 第二世代カーボンナノチューブ創製による不代替デバイス開発
2. 研究代表者： 片浦 弘道 ((独)産業技術総合研究所ナノシステム研究部門 研究グループ長)
3. 研究概要

カーボンナノチューブ (CNT) の持つ優れた電気的特性により、電子デバイス材料への応用が期待されている。近年の合成技術の革新により、高純度の CNT が得られるようになったが、CNT には金属型と半導体型の 2 種類が存在し、それらを選択的に合成することは未だに実現していない。そのため、相反する導電特性を持つ 2 種類の CNT が混ざった材料しか得られず、電子デバイス応用への大きな障害となっていた。本研究では、独自技術により CNT の金属・半導体分離を高度に実現し、さらに CNT の内側の空間に異種分子を挿入することにより、精密なキャリア制御の実現を目指す。これまでの CNT を第一世代とすれば、金属型と半導体型がきれいに分離され、さらに高度に電子状態を制御された CNT は第二世代 CNT と呼ぶべきものである。この第二世代 CNT を用いて、CNT でしか実現できない優れた特性を持つデバイスを開発する事が、本研究のメインテーマである。

本研究は、密度勾配超遠心分離法 (DGU 法) と呼ばれる手法をコア技術とし、それを改良することで、大量分離、高純度分離を実現する事を目指してスタートしたが、昨年度より、ゲルを用いた分離技術を導入することにより、DGU 法よりもずっと簡便に、高速に、かつ安価に金属型と半導体型を分離する独創的技術を可能にした。さらに、半導体型 CNT の直径の精密分離、さらには、単一構造 CNT の分離も実現する新たな分離技術開発に成功した。分離された CNT を用いた物性研究も成果が上がりつつある。一方、デバイス応用では、SAM 膜を用いた CNT 薄膜のパターニングや配向により、塗布型デバイスとしては高い性能を実現しつつある。

一方、分子内包 CNT の研究では、CNT に内包された酸素分子および水分子の詳細な解析を行った。分子動力学による解析で、CNT 直径の変化とともに CNT 内の酸素分子の配列構造が大きく変化する事がわかった。酸素分子は大きな磁気モーメントを持つ事から、通常の系では実現できない新たな磁気秩序の形成が示唆された。また、水を内包した系では CNT 内に Ice-nanotube が形成されるが、外部電場を変化させると、ステップ状の分極過程を示すことが明らかになり、極微小の多値誘電体メモリー材料として利用可能であることが示唆された。

4. 中間報告結果

4-1. 研究の進捗状況及び研究成果の現状

今回開発されたゲルカラムによる分離法はシンプルで一般性が高いのみならず、CNT の分離技術としては、世の中では一番進んだ分離を行い、今後のこの分野の基盤となり得るものである。この成果は、CNT の本来の物性を決められる状況を作り出していると高く評価される。ただし、原理が明らかでなく、操作プロトコルは必ずしも単純ではないと思われ、今後の努力に期待する。また、分離した半導体型、金属型の CNT についてその純度をどこまで高くする必要があるのか、それによって何が達成出来るのかはまだ模索をしている段階であり、CNT の直径により発色が変化することを利用したカラーディスプレイの可能性を示唆したことは意義深いものの、高純度化した CNT についてどのような研究展開をすべきか後半に向けて十分に考察する必要がある。

4-2. 今後の研究に向けて

CNT 分離の基礎研究としての成果の高純度化技術は、後半に向けその応用展開が大いに期待出来、その波及効果も大きい。しかし、不代替デバイスのイメージがまだ明確でない。高純度化し、特性の揃った CNT を得ることができるようになったので、それを活かした他にないデバイスが期待され、同時に、その開発には欠陥の制御も重要になると思われるが、これらを含めたデバイスを目指した研究に集中して欲しい。そのためには、最も適切な共同研究者を取り込んだ研究体制を構築していく必要があろう。

4-3. 総合評価

CNT の分離技術の開発は順調に進行しており、当初提案の密度勾配を利用する方法から脱し、ゲルを用いたオリジナルな高純度分離法を確立したことは高く評価できる。また、関連する基礎的な研究活動も十分な研究成果を出している。今後は分離技術をどのように活かして実用化に向けて進めてゆくかが一つの課題である。特に目標である不代替デバイスの開発に関しては、CNT の基本的物性はいくつか報告されているものの、デバイスとしての開発は進行しているようには思えない。今後はデバイスを目指した研究に集中する必要がある。その為には、更にリーダーシップを発揮して、新しい共同研究者を加えたり、あるいはデバイス開発に力があるグループと連携する等の一層の努力が必要である。