同時発表:

筑波研究学園都市記者会(資料配布) 文部科学記者会(資料配付) 科学記者会(資料配付)



電気伝導率の高いカーボンナノチューブの簡便な合成法の発見 -ナノ配線や透明電極への応用を目指して-

平成19年 3月15日 独立行政法人 物質·材料研究機構

概要

- 1. 独立行政法人物質・材料研究機構(理事長:岸輝雄)ナノシステム機能センター(センター長:青野正和)ナノフロンティア材料グループの高野義彦グループリーダーと石井聡 NIMSポスドク研究員は、高い電気伝導率を示すカーボンナノチューブを簡単に作製することが可能な合成法を考案した。
- 2. カーボンナノチューブは、細長く丈夫であることから、ナノ配線や透明電極、電子放出 材料など様々な分野での応用が期待されている。しかし、カーボンナノチューブは巻き方 (カイラリティー)により、金属的伝導を示したり半導体になったりとその性質は大きく 変化する。そのため、カイラリティー制御などが試みられているが、未だに成功していな い。カーボンナノチューブをナノ配線などに用いるためには、カイラリティーによらない 高い電気伝導率が不可欠であり、その作製法が待ち望まれていた。
- 3. 当グループでは、簡便な気相成長法を用い合成時にホウ素を添加することによって、電気伝導率の高いカーボンナノチューブの作製に成功した。電気伝導率は、電子線リソグラフィーを用いて、1本のカーボンナノチューブに4端子を設置し評価した。ホウ素を添加したカーボンナノチューブは電気伝導率が高く、一般の多層カーボンナノチューブは低温で電気伝導率が低下し絶縁体になることが多いのに対し、本研究のカーボンナノチューブは、極低温(-272.5℃)まで高い電気伝導率を保つことが分かった。

また、ホウ素濃度は、原料のメタノールに添加するホウ酸の濃度により制御可能であり、 様々な特性のカーボンナノチューブを作り分けることができる。

- 4. 本発見は、樹脂に導電性カーボンナノチューブを添加して作製する透明電極や伝導性フィルムを始め、将来のLSIのナノ配線、カーボンナノチューブFET、 SPM の探針、電子放出デバイス、燃料電池などへの応用が考えられる。
- 5. 本成果は、3月18日からの日本物理学会で発表の予定である。

研究の背景

カーボンナノチューブは、ナノテクノロジーから航空機用タイヤなど、さまざまな分野で応用が期待されている。中でも、ナノ配線やSPMの探針、電子放出デバイス、燃料電池、透明電極、伝導性フィルムなどの応用には、電気伝導率の高いカーボンナノチューブが好ましい。しかし、カーボンナノチューブの電気特性は、カイラリティーに依存して変化する。カーボンナノチューブのカイラリティーには、らせん型、ジグザグ型、アームチェアー型の3種類があり、それぞれ、半導体、金属又は半導体、金属的な電気特性を示すことが知られている。このため、カイラリティーを制御してナノチューブを作り分ける試みがなされているが、未だに成功しておらず、応用上の大きな障害となっている。このような背景に鑑み、カイラリティーに依存しない高い電気伝導率を示すカーボンナノチューブの合成が求められている。

カーボンナノチューブへの臭素やカリウムのドーピングによる、キャリア注入の試みがこれまでに知られている。これらは、カーボンナノチューブにホールや電子のキャリアを導入できることを示唆しているものの、臭素やカリウムは格子の隙間に存在し、安定な状態ではなく応用には適さない。また、カーボンナノチューブをホウ素とともに高温でアニールし、後からホウ素を添加する手法や、ホウ素を含む炭素棒を用いアーク放電によりホウ素を含むカーボンナノチューブを合成する手法がある。これらの手法では、温度が高いためカーボンナノチューブに欠陥が入りやすく、単層・多層カーボンナノチューブの作り分けやホウ素濃度の制御が難しい。さらに、目的の場所にカーボンナノチューブを成長させる選択成長は困難である。

成果の内容

本研究では、メタノールを原料とし、ホウ素を添加するためにホウ酸を原料に予め熔解した。シリコン基板に金属触媒を塗布した後、電気炉の中に設置し、気相成長法により原料液体の蒸気よりカーボンナノチューブを基板上に作製した(図1)。カーボンナノチューブは、触媒のあるところにのみ成長するため、触媒をパターニングするなどして、目的の場所に選択成長させることが可能である。触媒の条件により、単層カーボンナノチューブと多層カーボンナノチューブを作り分けることができる。このように、本作製法はとても簡便で制御性が良く、装置も安価で大量生産に適している。

電気伝導率を精密に評価するため、電子線リソグラフィー法を用い、1本の多層カーボンナノチューブに4端子を設け(図2)、室温から極低温まで電気伝導率を測定した。ホウ素を添加したカーボンナノチューブは電気伝導率が高く、一般の多層カーボンナノチューブは低温で電気伝導率が低下し絶縁体になることが多いのに対し、本研究のカーボンナノチューブは、極低温(-272.5℃)まで高い電気伝導率を保つことが分かった(図3)。ホウ素を添加することによりホールのキャリアが導入され、金属的な電気伝導率を示すようになるものと思われる。ホウ素濃度は、原料に添加するホウ酸の濃度により制御可能であり、様々な特性のカーボンナノチューブを作り分けることができる。

当研究グループでは、気相成長ダイヤモンドの超伝導について研究を進めてきており、 ダイヤモンドへホウ素を添加することにより、絶縁体、半導体、金属、超伝導と作り分けられることを示してきた(平成16年8月4日プレスリリース参照)。今回の研究では、これにヒントを得て、ホウ素添加によりカーボンナノチューブの特性制御を試みたものである。

波及効果と今後の展開

電気伝導率の高いホウ素添加カーボンナノチューブは、様々な分野で応用が期待される。カーボンナノチューブの電気伝導性を制御することによって、さらに多くの可能性が広がると考えられる。たとえば、選択成長を用いた将来のLSIのナノ配線やカーボンナノチューブを用いたFET、樹脂に伝導性カーボンナノチューブを添加することによる透明電極や伝導性フィルム、電子放出デバイスや燃料電池、SPMの探針など、ナノサイエンスやIT、環境エネルギー材料として、今後、様々な分野で応用の可能性があると思われる。

問い合わせ先:

〒305-0047 茨城県つくば市千現1-2-1 独立行政法人物質・材料研究機構 広報室 TEL:029-859-2026

研究内容に関すること:

独立行政法人物質・材料研究機構 ナノシステム機能センター ナノフロンティア材料グループ 高野 義彦 (たかの よしひこ)

TEL: 029-859-2842

E-mail: takano. yoshihiko@nims. go. jp

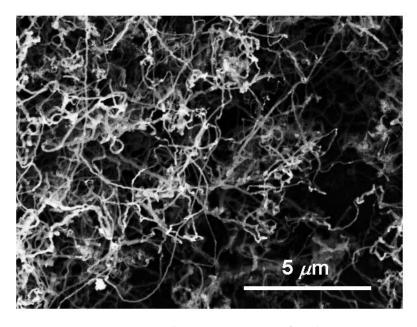


図1 ホウ素添加カーボンナノチューブの走査電子顕微鏡写真. 白く細い繊維状に見えるものが、ホウ素添加カーボンナノチューブ.

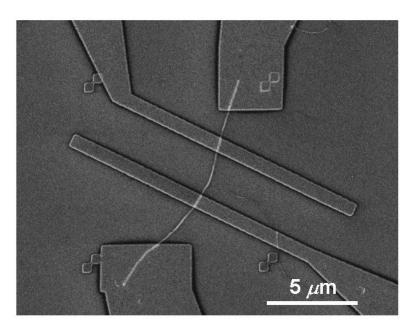


図2 電気特性を評価するために、1本の多層カーボンナノチューブに4端子を設置した試料の走査電子顕微鏡写真.正確な電気伝導率の評価が可能である.

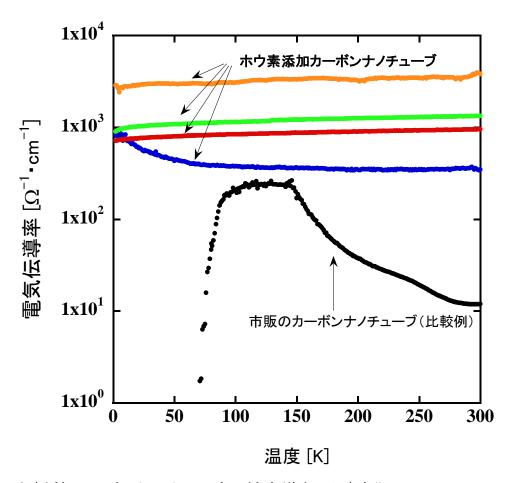


図3 ホウ素添加カーボンナノチューブの電気伝導率の温度変化. 本研究のホウ素添加カーボンナノチューブは、市販のカーボンナノチューブに比べて、高い電気伝導率を示し、極低温でも高い電気伝導率を維持している.