

直径変動カップスタック型カーボンナノチューブ：生成の触媒金属依存性及び機能性探索

Diameter-modulated cup-stack type carbon nanotubes: dependence of the growth on catalyst metals and investigation of functionalities

1205021 林 哲士
Tetsushi Hayashi

カーボンナノチューブ(CNT)は優れた電氣的・機械的特性や高い熱的・化学的安定性をもつ。また、CNTの形状には様々なバリエーションがあり、例えば内部に仕切りを持ったバンブー型CNTや、円錐台型のグラフェンチューブが積み重なったカップスタック型CNTなどがある。これらは、CNTの優れた特性を継承しつつ、その形状に起因した付加的な特性を持つ可能性があり、新しい応用が期待できる。私は卒業研究において、直径が周期的に変動する直径変動CNTを創製した。直径変動CNTは直径の周期変動に加え、カップスタック型の構造であることや内部に仕切りを持たない特徴があり様々な応用が期待される。例えば、材料に混合して強化剤として利用したり、修復剤を内包させて材料に混合する事による自己修復材料としての利用、屈曲を利用した電気基板への立体な配線、物質内包などによる特性変化を用いたデバイスへの利用などである。本研究ではこれら応用展開を視野に、曲げ・引張・ジュール加熱に対する挙動を調べた。また、熱による元素置換およびエレクトロマイグレーションによる物質内包を試みた。また、これまでの触媒に鉄・ガリウム合金を用いた生成法では直径変動CNTの生成効率が低く、改善の余地があった。そこで高効率生成を目的に、鉄とガリウムに別の金属を組み合わせ、生成されるCNTの触媒依存性を調べた。

曲げ実験の結果、直径変動CNTは最も細い所(ネック)で破断することなく曲がった(図1a)。ネックで曲がったのはその箇所の直径が小さく壁も薄いため、他よりも強度が低かったのだと考えられる。引張実験の結果、CNTはネックから少し離れた箇所で破断した(図1b)。これは直径変動CNTを構成するグラフェン層の傾きが場所により異なり、ネックから少し離れた場所で傾きが大きくなり、グラフェン層間の結合面積が最小になる為だと考えられる。ジュール加熱実験の結果、ネックで焼き切れた。これは、ネックの断面積が他と比較して小さいためその部分での抵抗が大きくなりジュール加熱によって局所的に温度が上昇したと考えられる。また、アンモニアボランあるいは酸化ホウ素を用いて炭素原子のホウ素・窒素置換を試みた。アンモニアボランを用いた実験では、直径変動CNTを包み込むようにホウ素・窒素・炭素の化合物が析出した。酸化ホウ素を用いた際には、直径変動CNTのネック部分が複数箇所破断し短いCNTが連なる形になった。エレクトロマイグレーションによる物質内包実験では、直径変動CNTを破断させたのち、断面にガリウムを接触させて通電するという手法を用いた。しかし今回の実験では通電の最中に直径変動CNTが破断してしまい、ガリウムは内包できなかった。触媒に鉄、ガリウム、ニッケル、インジウムのうちいくつかを組み合わせ合わせた合金を用い、直径変動CNTの生成触媒依存性を調べたところ、鉄・インジウム合金を用いることで直径100 nm程度の直径変動CNTが高効率で生成できることを見出した。

上記結果より、例えば引っ張り応力で破断することから修復剤を内包させて材料に混合することによる自己修復材料としての利用が可能であろう。また柔軟な屈曲を利用した配線やデバイスへの応用が可能であると考えられる。

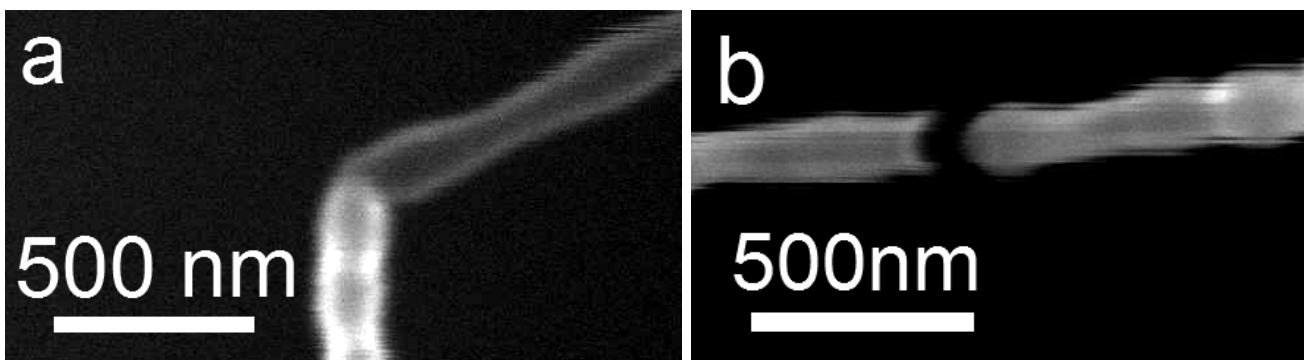


図1: (a) 直径変動CNTの曲げのSEMその場観察, (b) 引っ張りによる破断のその場観察