

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 11916 号
------	---------------

氏 名 苅田 基志

### 論文題目

その場透過電子顕微鏡法によるカーボンナノチューブと金属の接合及び電気特性に関する研究

(In-situ TEM Study on Changes in Structure and Electrical Conductance of Carbon Nanotube/Metal Contact)

### 論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	齋藤 弥八
委員	名古屋大学	教授	楠 美智子
委員	名古屋大学	教授	大野 雄高
委員	名古屋大学	講師	安坂 幸師

## 論文審査の結果の要旨

苅田基志君提出の論文「その場透過電子顕微鏡法によるカーボンナノチューブと金属の接合及び電気特性に関する研究」は、透過電子顕微鏡を用いたその場観察法 (in situ TEM) により、単一のカーボンナノチューブ (CNT) と金属との接合部のマイクロ構造と電気伝導特性を同時に計測し、CNTと金属の接合過程、および接合部の構造と電気伝導の関係を明らかにしている。各章の概要は以下の通りである。

第1章は序論である。近年のLSI配線の微細化に伴い、Cu配線における電気抵抗の増大、エレクトロマイグレーションによる断線などが近い将来問題とことが予想されている。これらの問題を克服する次世代の配線材料の候補として注目されているCNTについて、金属電極との接合と電気特性、CNTの切断及び接合形成に関する知見を得る事を本研究の目的としていることを述べている。

第2章では、試料作製方法およびin-situ TEM法に関して詳述している。分散固定したCNTと金属(Cu, Au, Ni)電極をTEM用特殊試料ホルダーにマウントし、TEM観察を行ないながら、1本のCNTの先端を金属電極表面へ接触させてCNTを架橋する。TEM内において、CNTへの通電によるCNT/金属電飾接触部の構造変化を動的観察しながら、電流-電圧特性を同時に測定する方法を述べている。

第3章では、CNTと金属(Cu, Au, Ni)電極の接合構造と電気伝導の関係について得られた知見が述べられている。CNT-金属電極接合部への通電によるCNT先端の金属電極への埋め込みの前後における電流-電圧特性とCNT-金属電極の接触面積の変化から、単位面積当りのCNT-金属電極間のコンダクタンスを見積もり、先端の開いたCNTでは、先端の閉じたCNTの場合よりもコンダクタンスが4倍程度大きいことを見出した。一方、電極金属の種類で比較すると、CNTと電極金属との仕事関数の差が小さいほど (すなわちCu<Au<Niの順で) 単位面積当りのコンダクタンスが増加することを明らかにしている。

第4章では、架橋通電時のCNT/金属電極界面の温度の測定について述べている。CNT表面に蒸着した金属ナノ粒子が通電により加熱され蒸発する。その蒸発速度から接合部の温度を測定している。CNT先端が埋め込まれるときの接合部付近の温度は、いずれの金属の場合もバルク金属の融点よりも高い温度に達していることを明らかにしている。

第5章では、CNT/金属ナノ粒子接合の電気伝導について述べている。2本のCNTの先端で金属(Au, Ni)ナノ粒子を挟んで通電し、この金属ナノ粒子を蒸発消失させることにより2本のCNTをグラフェン層で接合できることを示している。金属ナノ粒子が介在する場合よりもグラフェン層で直接接続したほうが接触抵抗を大幅に低減できることが明らかにしている。

第6章では、通電時のCNT内外のNiナノ粒子の移動について述べている。CNT表面に付着させたNiナノ粒子及びCNTに内包させたNiナノ粒子は、CNTへの通電により、電流密度が $3 \times 10^8$  A/cm<sup>2</sup>に達すると、Ni粒子は電子の流れる方向にエレクトロマイグレーションを起こすことを見出し、電圧極性の制御によりNiナノ粒子の移動方向を制御することに成功した。

第7章では、本論文を総括し、残された課題及び今後の展望を述べている。

以上のように本論文ではCNT-金属電極接合の形成に関して、TEMその場観察法により、接合部のマイクロ構造と電気伝導特性の関係を明らかにし、更に金属ナノ粒子のエレクトロマイグレーションを利用したCNT同士の低抵抗な接合方法を提案している。これらの評価方法並びに得られた結果は、CNTの配線材料としてのナノ電子デバイスへの応用において重要な知見であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である苅田基志君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。