

サブミクロン長カーボンナノチューブにおける トンネルコンダクタンスの観測

(東北大院理) ○古橋匡幸, 道祖尾恭之, 米田忠弘

【序】 カーボンナノチューブ (CNT) は金属または半導体的な特性を持ち、電子デバイスに応用することが期待されている。しかしながら、長さのばらつきや欠陥の存在が大きな問題となることが懸念されている。走査型トンネル顕微鏡 (STM) は個々の CNT の構造評価と、電子状態の特定が同時に可能であるという特徴を持つ。本報告では STM を用いて CNT を切断するという技法により長さ数十 nm の CNT を作成し、軸方向でのトンネル分光 (STS) の変化を観測した。

【実験】 STM 像および STS の取得には JSTM-4500XT (JEOL 製) を用い、試料を液体窒素温度に冷却して測定を行った。測定試料には単層 CNT を付着させた Au 薄膜を用いた。Au 基板は劈開した mica 上に Au を真空蒸着したものをを用いた (厚さ 80-100nm)。CNT を付着させる直前に、Au 基板を水素バーナーでアニール処理して不純物や欠陥の除去を行った。その表面は STM 測定にて原子的に平坦であることを確認した。CNT は、超音波洗浄機を用い 1,2-ジクロロエタン溶媒中に拡散させ、それを乾燥 N_2 で Au 基板に吹き付けることで測定試料とした。

【結果と考察】 CNT はフェルミ準位近傍でのギャップの有無により、金属的または半導体的なものに分類できる。図 1 に切断した金属的 CNT の STM 像を示す。CNT の切断は、フィードバックを切った状態で、Sample bias に +4V のパルスバイアスを印加させることで行った。CNT の I-V 特性を軸方向に比較したところ、中央と終端部分で大きな違いは見られなかった (図 2)。切断した金属的 CNT では、軸方向で状態密度がほとんど変化しないことを示している。

半導体的な CNT では、軸方向での I-V 特性の比較で明確に違いが見られた。切断後の半導体的 CNT の STM 像 (図 3) と、軸方向に比較した I-V 特性 (図 4) を示す。Au 基板の I-V 特性も比較として図示してある。CNT 中央付近では、I-V 曲線においてバンドギャップに起因したトンネル電流が増加しない領域 (-0.5 V から +0.7V) が見られることから、切断後も半導体的な性質を示していることがわかった。一方で、CNT 終端部分に進むに従って I-V 曲線の構造が不明瞭になり、終端部分では Au と同じ I-V 特性になる結果が得られた。詳しく解析すると、終端部分は結晶構造が見られず、アモルファスカーボンになっていることがわ

かった。I-V 特性が変化する理由としては、以下の二つが挙げられる。一つは、切断した半導体型 CNT の末端で、金属的なアモルファスカーボンと接合を形成していることが考えられる。この接合により、CNT 中央と末端部分では状態密度が異なり、I-V 曲線が変化したと思われる。もう一つの理由としては、切断のエネルギーによる欠陥の発生が挙げられる。欠陥に起因して五員環や dangling bond が CNT 末端に発生し、状態密度を変化させたことが考えられる。

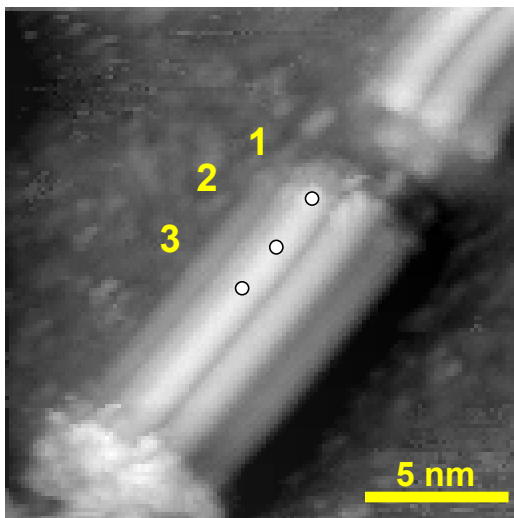


図 1 切断した金属的 CNT の STM 像

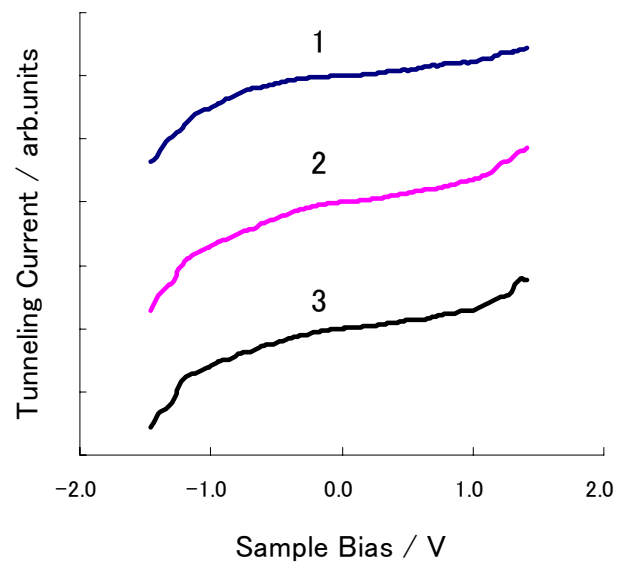


図 2 金属的 CNT の I-V 特性

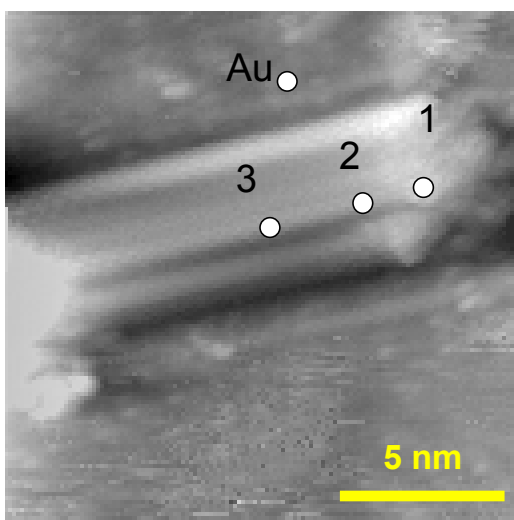


図 3 切断した半導体的 CNT の STM 像

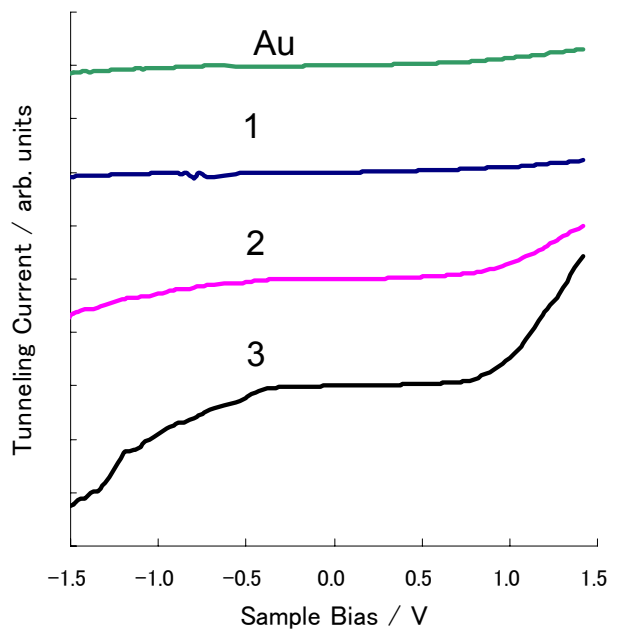


図 4 半導体的 CNT の I-V 特性