

カーボンナノチューブの変形の原子直視観察

名大難処理人工物研究センター、名大院工応用物理、科学技術事業団

木塚徳志

カーボンナノチューブをはじめとする原子クラスターの機械的性質は、光学的性質や磁性などのように、その凝集塊を用いて解析することができない。本研究では、高分解能電子顕微鏡内部で、こうしたクラスターを1つ1つ変形させ、変形挙動を原子レベルでその場観察している。

図1は、ナノチューブを変形させたときの電子顕微鏡像である。図1(c)のように鋭角になるまで曲げても、応力を除けば直線状に回復する。このような弾性限界の著しい増加は、ナノメートルに微細化にされた金やシリコンでも観察されるクラスター特有の性質である。

ナノチューブの変形を繰り返すと、徐々に疲労する。図2は、その過程を連続的に観察した高分解能像である。繰り返し変形させた後のナノチューブの形状は直線的ではあるが(図2(a))、その内部の原子層は歪んでいる。応力を負荷するとチューブ内側の原子層は波状に歪む。特に中央の内部壁(矢印A)より少し右の湾曲内側に応力集中が起き、局所的に中心部へくぼみが生じる(矢印B)。これと対応する湾曲外側の最外殻原子層は矢印Cで示されるように破断し始める(図2(b))。中央部の微小な内部壁が、曲げ強度の向上に大きく寄与していることがわかる。この後、応力を除去しても、ナノチューブは直線状には戻らない。再び応力を加えると湾曲内側全体の原子層はさらに大きく波状に歪む(図2(c))。矢印Cの位置では、外側原子層はさらに大きく破断している。応力除去後の変形量(図2(b))のときよりも大きくなっている。この観察結果は、ナノチューブの疲労が、変形時に導入される原子層の歪、湾曲内側のくぼみ、および湾曲外側の破断によって生じていることを直接示している。このようなナノメートルサイズ素材の機械的性質の実験的評価によって、より精度の高い材料設計が可能になる。

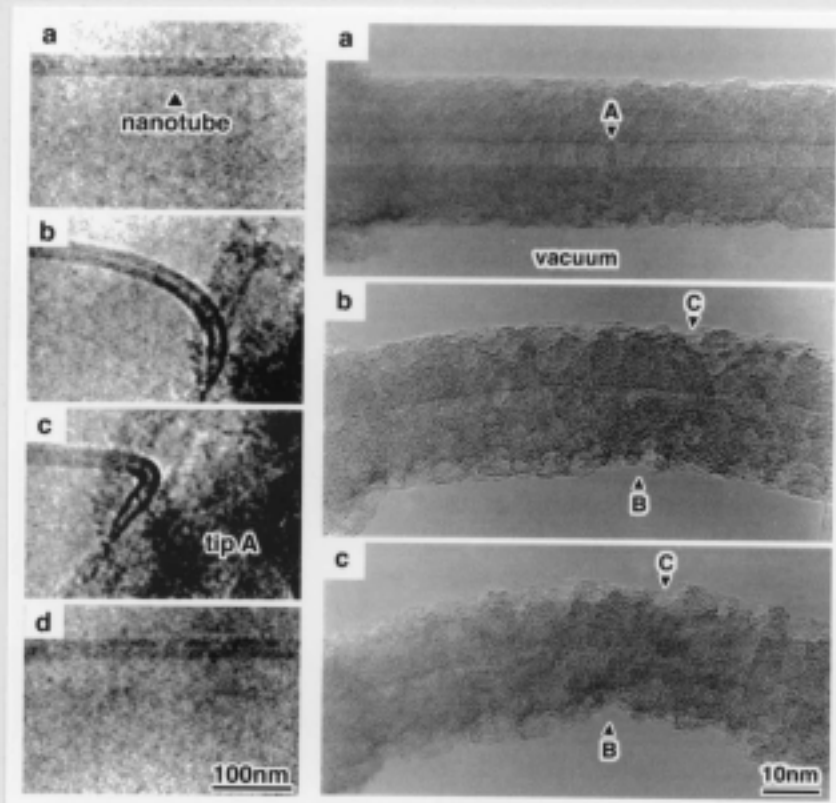


図1

図2