

## 二層カーボンナノチューブを使った

# 原子サイズのトランジスタ作製に成功

大理理工学部電気電子工学科准教授 春山純志

昨年冬の本誌226号で「カーボンナノチューブ」という炭素原子で出来たストロー状の物質が超伝導特性を示すことを解説しました。残念ながら、ご記憶の方は多分あまりいらっしやらないかと思いますが、私の研究室の専門分野である「ナノテクノロジー」は、10億分の1mという原子や分子ほど小さい領域に人間が物質を自在に加工・制御し研究する、あるいは、元々自然界に存在するそうした小さい物質を発見し研究するという先端的なもので、今世紀を担うテクノロジーの一つとして大きく期待されています。カーボンナノチューブはこの後者に属するナノ材料で、1991年に当時NECの研究所に在籍していた飯島澄男博士によって炭素棒の燃え煤の中から電子顕微鏡で発見されました。

この数年前に炭素原子が60個や82個集まって作るサッカーボール状のナノ物質(フラーレン)が発見されたばかりで(後にノーベル化学賞受賞)世間の注目はそちらに行っていました。飯島先生は流石に流されず独自の感性でこの新物質を発見した訳です。それ以後研究開発は大きく進展し、カーボンナノチューブは最近毎年ノーベル賞の最有力候補に挙がっています。さてこのカーボンナノチューブには様々な形態があつてファミリアを形成しています。中でも変わった構造として、ストローの内空間にたくさんのフラーレンを閉じ込めた「カーボンナノピーポッド」(図1)、二層のみが同芯軸状になつて形成した「二層カーボンナノチューブ」(図2(a))があります。我々の研究室ではこれらの物質を絶対零度(273度)近くまで

冷却し、電子を一個ずつ流したり磁場を印加したりするなどしてその性質を単念に調べて来ました。今回日経産業新聞の一面トップに大きく掲載されたのは、この後者の「二層ナノチューブ」で作った原子サイズのトランジスタとその整流特性の発見です。

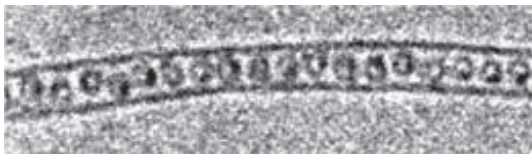


図1：カーボンナノチューブ内部空間にフラーレン分子を入れて出来たカーボンナノピーポッド(炭素でできたサヤエンドウ)の断面電子顕微鏡像。(名古屋大・篠原研究室提供)

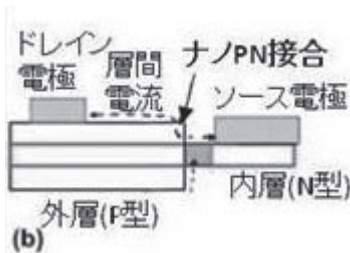
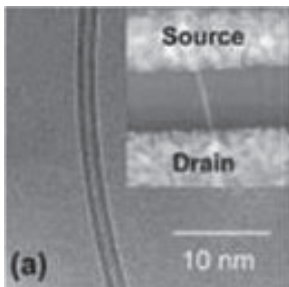


図2：(a) 二層ナノチューブの断面電子顕微鏡像(名古屋大・篠原研究室提供)。2つの層が実際に確認できる。挿入図：トランジスタ電極間にそれを接続した像。(b) (a)を使って開発したトランジスタの断面模式図。



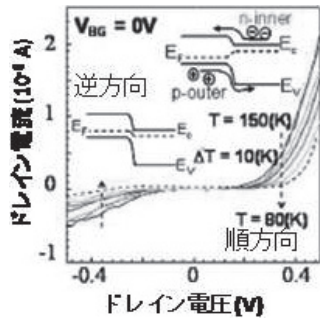


図3：図2 (b) で観察された整流効果。正のドレイン電圧でのみ大きい電流が流れている。数字は温度で、温度を上げると電流は増加する。

二層ナノチューブの作り方は、上述したピーポッドを加熱することでストロー内部のフラーレンが繋がって内層になって出来るもの、三層以上にならないようにガス反応を制御しながら作るもの、などいろいろです。今回は後者の方法で名古屋大学と共同で作製した試料を用いました。さて、我々研究者が究明しなかったのはこの二層の層間の電流の流れ方でした。ところが電流を流すためのトランジスタの電極は外層でカバーされた内層にはなかなか接続出来ず皆困

っていました。そこで今回我々は、微弱な電子線を外層の半分照射することで、そのエネルギーで照射部分のみを破壊し取り去って内層を露出させる技術を開発しました。これにより二層チューブの一端は外層に、もう一端では露出した内層にトランジスタ電極を形成することに成功し(図2(b))、層間の電流を観察することに世界で初めて成功しました。

この結果、層間に原子サイズのpn接合(説明下記)が形成されており、整流作用(ある一方向の電圧を印加した場合のみ大きな電流が流れること。(図3))が存在することを発見しました。さらに、作成直後は二層ともn型半導体的伝導(マイナスの電荷(電子)が電気を担う)を持っていたものが、大気中で加熱することで空気に接した外層のみがp型半導体伝導(プラスの電荷(正孔)が電気を担う)に変わっており、このナノpn接合形成に帰着していることも明らかにしました。pn接合は半導体の世界では当たり前の構造で、整流作用を持つことが特徴です。またこの接合部では電子と正

孔が結合して発光現象が起きることも知られていました。しかし我々の場合のように原子サイズでpn接合を創製できたのは世界でも初めてであり、二層ナノチューブの特徴をうまく使ったからこそと言えます。また、カーボンナノチューブの中ではこの電子と正孔の結合が非常に強く、チューブ直径を変えることで発光色が制御出来ることも知られています。従って、今後接合部での発光現象を詳しく観察することで、原子サイズの領域でも発光が可能であることを証明出来ます。さらにそれを集積化することで、針先位の極微サイズでも強く明るく綺麗に光り、かつ色を自在に変えられる発光ダイオードなどが創製出来ることが期待されます。

本研究は科学技術振興機構・戦略的創造研究推進事業、日本学術振興会・日中韓未来事業、のご支援の下、本春山研究室と名古屋大学理学部・篠原研究室との共同研究で実施されました。

春山純志 理工学部准教授のグループの研究成果が日経産業新聞の一面トップに掲載される

理工学部電気電子工学科の春山純志准教授のグループが、カーボンナノチューブを利用した原子サイズのトランジスタを作製することに成功し、5月15日付の日経産業新聞に掲載されました。

今回作製したのは「カーボンナノチューブ」という髪の毛の100万分の1ほど細いチューブが二層になった物質において、外層片側だけに電子線を照射して破壊した後にトランジスタの電極を両端に付けた構造を作製したものです。これにより、片端では内層に、もう一端では外層に電極が形成出来て、両層の接合を介した半導体のpn接合に相当する微小電流を観測することに世界で初めて成功しました。

研究室 URL : <http://www.ee.nagoya.ac.jp/Labs/haru-www/>

〈大学ウェブサイトニュースより転載〉