

(1091-7)

【ナノテク・材料(ナノテク)】 カーボンナノチューブ(CNT) カーボンデバイス  
【情報通信(半導体)】 トランジスタデバイス

仮訳

## IBMラボ：シリコンの代替となるCNTの商業生産への最初の一步 (米国)

2012年10月28日

- ◆ 史上初、主流の製造プロセスを使用して1万個を超えるCNTデバイスを1チップ上に精密に配置。
- ◆ 新しいプロセス技術が次世代コンピュータのシリコンの代替と成りうるカーボン技術の道を開く。

10月28日 ニューヨーク州 ヨークタウン・ハイツ：IBM(ニューヨーク証券取引所上場企業の [IBM](#))の科学者らが、劇的により小さく、速く、パワフルなコンピューター・チップの商業生産への道を切り開く新しいカーボン技術を実証した。ナノサイズのカーボンナノチューブ(CNT)からできた作動可能なトランジスタ1万個超を標準的な半導体プロセス技術を用いて1チップ上に精密に配置し、試験を実施した。これらのカーボンデバイスは、コンピュータ部品の微細化をさらに促進して次世代マイクロエレクトロニクスへの道を開き、シリコン技術に代替し、これを超えるだろう。

過去40年間に起こった急速なイノベーションに支えられ、シリコンマイクロプロセッサ技術では微細化と性能の向上が継続して進展し、IT革命を促進してきた。チップ上に情報を載せている小さなスイッチであるシリコントランジスタは、サイズの微細化が毎年のように進んできたが、今や物理限界に近づきつつある。現在ではナノスケールのサイズとなった、ますます小さくなるトランジスタのサイズにより、シリコンの性質と物理法則からその性能は向上することがないだろう。従来のスケールアップと微細化では、この先数世代の内に、産業界がこれまで慣れ親しんできた低電力、低コスト、高速プロセッサの大きな利益を生み出さなくなるだろう。

CNTは、特に、直径が原子数十個分であるナノスケールのトランジスタデバイスの製造において、その電子特性がシリコンよりも魅力的な新しい種類の半導体材料である。カーボントランジスタ中の電子は、シリコンベースのデバイス中より移動が容易なため、より速くデータが転送される。ナノチューブはまた、トランジスタには理想的な形状を原子スケールで持っており、これもシリコンと比較した場合の優位点である。これらの特性が、

従来のシリコントランジスタをカーボンと代替する理由のいくつかであり、新しいチップの設計アーキテクチャと組み合わせれば、微細スケールの次世代のコンピューターイノベーションが実現化するだろう。

今回、IBM ラボの開発したアプローチは、基板の所定の位置に多数の CNT トランジスタを持つ回路製造への道を切り開いた。最終的には商業用チップへの集積に 1 兆個を超えるトランジスタが必要となるため、半導体ナノチューブを分離させてウェハー上にカーボンデバイスを高密度に配置する能力は、技術に対するそれらの適性を評価するのに大変重要である。科学者らはこれまで、一度に最高で数百個の CNT デバイスの配置に成功していたが、商業的な利用にはまったく不十分であった。

「化学から生まれた CNT は、マイクロエレクトロニクスへの応用に関する限り、研究室が大変興味を持っていたものでした。従来のウェハー製造インフラで CNT トランジスタを製造することにより、技術への最初の一步を踏み出そうとしているのです。」と IBM Research の Physical Sciences のディレクターである Supratik Guha 氏は述べ、以下のように続ける。「極小のナノスケール寸法が、他のどの材料から製造されたトランジスタの性能を超えるということが、CNT トランジスタの研究へのモチベーションとなっているのです。しかし超高純度の CNT や狙った場所へのナノスケールでの配置など、課題は多くあります。この両課題において、私たちは大きく前進しました。」

原子レベルの寸法と形状に起因する物理（特性）として研究されていた CNT は、世界中の科学者により IC、エネルギー貯蔵と変換、バイオメディカルセンサーや DNA 塩基配列の決定など様々なアプリケーションが研究されている。

この度の研究結果は、ピアレビュー誌である [Nature Nanotechnology](#) に掲載されている。

## カーボンへの道

ダイヤモンドの硬さ、鉛筆の「芯」の柔らかさまで様々な結晶を作れ、入手が容易で基本的な元素であるカーボン(炭素)は、幅広く IT に利用することが可能である。

CNT は単層の炭素原子シートが筒状に巻かれたものである。現行のシリコントランジスタの様に機能するトランジスタデバイスのコアを形成し、より高性能となる。データを高速処理するサーバー、高性能コンピュータや超高速スマートフォンなどに電力を供給する

チップのトランジスタの代替としての利用が可能である。

IBM の研究者らは今年初め、10 ナノメートル以下の分子サイズ、すなわち人の毛髪 1 本の 10,000 分の 1、最先端のシリコン技術で可能なサイズの 2 分の 1 を下回るサイズの CNT トランジスタが優れたスイッチとして動作することを [実証](#)した。電子回路の包括的モデリングにより、シリコン回路の約 5~10 倍の性能向上が可能であることが示された。

既に述べたように、デバイスの純度と配置の問題で、CNT が商業用技術となるには特に実用上の課題が存在する。CNT では金属型と半導体型が混在して合成され、電子回路を作るにはウェハー表面に正確に配置される必要がある。デバイスの動作には半導体型のみが利用され、回路のエラーを防止するために金属型 CNT を完全に排除することが必要となる。また、大規模な集積の場合では、基板上的 CNT デバイスの配列と配置場所をコントロールできることが重要となる。

IBM の研究者らはこれらの障害を克服するために、以前の研究結果と比べて 2 桁分高い高密度で、整列した CNT の基板上への正確な配置を可能とする、イオン交換技術に基づいた新しい技術を開発した。これにより 1cm<sup>2</sup>あたり約 10 億個という高密度で個々の CNT を配列させることが可能となった。

このプロセスは、石鹼の一種である界面活性剤と CNT を混合して、CNT を水溶性にすることから始まる。基板は化学修飾した酸化ハフニウム(hafnium oxide: HfO<sub>2</sub>)と酸化シリコン(silicon oxide: SiO<sub>2</sub>)の 2 種の酸化物のトレンチから構成される。この基板を CNT 溶液に浸すと、化学結合により CNT が HfO<sub>2</sub> 領域に付着し、他の面をクリーンに残す。

こうして IBM の研究者らは化学、プロセス技術およびエンジニアリングの専門知識を結集して、1 つのチップ上に 1 万個を超えるトランジスタを製造することに成功した。

さらに、標準的な商業的プロセスとの互換性により、高容量評価ツールを利用したデバイス数千個の迅速試験も可能である。

今回新たに開発されたデバイス配置技術は、一般的な化学物質と既存の半導体製造方法を利用して手軽に実施可能なため、産業界によるより大きなスケールでの CNT への取り組みを可能とし、カーボンエレクトロニクスへのイノベーションをさらに進展させるだろう。

より詳しくは [www.research.ibm.com](http://www.research.ibm.com) を参照。

連絡先窓口 : Christine Vu

IBM Media Relations

1 (914) 945-2755

[vuch@us.ibm.com](mailto:vuch@us.ibm.com)

翻訳 : NEDO (担当 総務企画部 松田 典子)

出典 : 本資料は、IBM の以下の記事を翻訳したものである。

“Made in IBM Labs: Researchers Demonstrate Initial Steps toward Commercial Fabrication of Carbon Nanotubes as a Successor to Silicon”

(<http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/39250.wss>)

(Used with Permission of IBM)