

安定動作を実現したCNTトランジスタ

高感度バイオセンサーへの応用も視野に

従来のカーボンナノチューブ・トランジスタは、時間や電圧に対して特性が大きく変動する大きな欠点があり、これが実用化の大きな障害となっていた。われわれは、これらの不安定性が、カーボンナノチューブ表面に付着した水や酸素だけではなくレジストの残渣も原因であることを突き止め、この残渣が付着しない新しい作製プロセスの開発に成功した。これにより、時間に対する特性の変動やヒステリシス（履歴現象）がほとんどなくなり、実用化が可能な安定動作を実現することができた。

Carbon nanotube transistors, so far reported, had large problems such as a large time fluctuation of drain current and a large hysteresis characteristic. A cause of these fluctuations was found to be a photo-resist adhered to the surface of carbon nanotubes, as well as oxygen and water. New fabrication process for a carbon nanotube transistor was established in which the residue of the photo-resist as well as the water and oxygen never adhere to the carbon nanotubes. The new carbon nanotube transistor shows almost no fluctuation of the current and no hysteresis characteristic.

カーボンナノチューブ・トランジスタの問題点

カーボンナノチューブは、エレクトロニクス素子への応用が期待され、さまざまな応用法が研究されてきた。特にカーボンナノチューブをチャンネルに用いた電界効果トランジスタは、従来のシリコンの電界効果トランジスタに比べて、10～100倍高い増幅率をもつため、次世代のトランジスタとして世界中で活発に研究開発が行われてきた。ところが、このように優れた特性をもつカーボンナノチューブ電界効果トランジスタには、トランジスタ特性が安定しない致命的な欠陥があった。電流が時間の経過とともに大きく変動したり、電圧を往復印加すると大きなヒス

テリシスを示したりする。このような不安定性があると、カーボンナノチューブ・トランジスタを安心して使用することができない。そのため、カーボンナノチューブ電界効果トランジスタを実用化するには、安定性の向上が不可欠であった。

カーボンナノチューブ・トランジスタの構造

図1 (A)は、われわれが作製したカーボンナノチューブ電界効果トランジスタの構造図である。シリコン基板の上の酸化シリコン薄膜の上にカーボンナノチューブが形成され、チューブの両端には電流を取り出すソース・ドレイン電極(金属)が形成されている。重要な

松本 和彦 まつもと かずひこ

k.matsumoto@aist.go.jp

ナノテクノロジー研究部門 総括研究員
(つくばセンター)

大阪大学産業科学研究所教授、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業チームリーダー。

化合物半導体電子デバイス、走査プローブ顕微鏡を用いた微細加工と室温動作単一電子デバイス、カーボンナノチューブフィールドエミッタ、カーボンナノチューブ電子デバイスとバイオセンサー応用などの研究開発に従事。

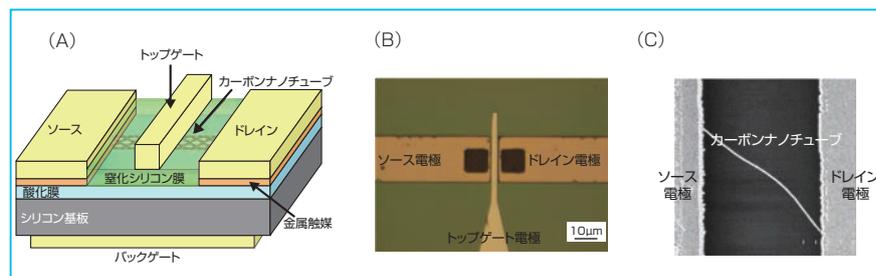


図1 カーボンナノチューブトランジスタ

(A) カーボンナノチューブ・トランジスタの構造図、(B) われわれが作製した素子の光学顕微鏡写真、(C) ゲート電極形成前のカーボンナノチューブの電子顕微鏡写真。

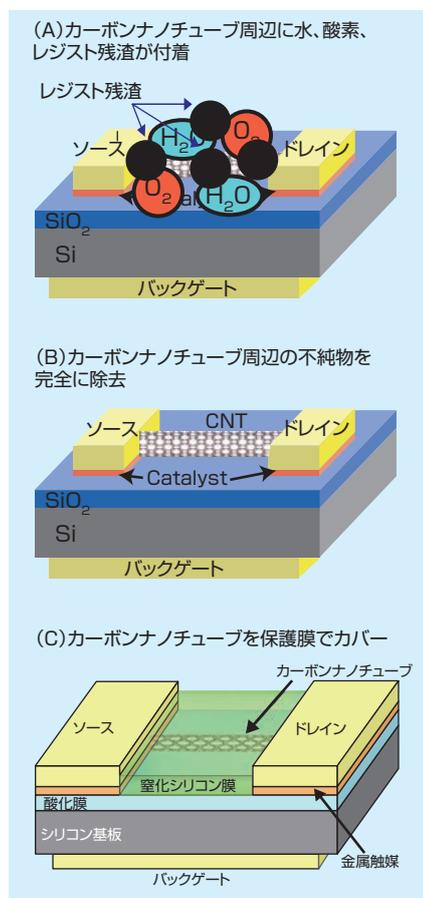


図2 不安定性の要因

カーボンナノチューブ・トランジスタの不安定性の要因は、カーボンナノチューブの表面に付着した水、酸素、レジストの残渣である。これらを完全に除去した後、保護膜として窒化シリコン薄膜を形成する。

ことは、カーボンナノチューブが窒化シリコン薄膜で覆われており、表面に露出していないことである。さらに、この窒化シリコン薄膜の上には、カーボンナノチューブを流れる電流を制御するトップゲート電極が、またシリコン基板の裏側にはバックゲートが形成されている。図1 (B)は作製したトランジスタの顕微鏡写真である。ゲート電極形成前に電子顕微鏡でカーボンナノチューブを観察したものが図1 (C)で、電極間にカーボンナノチューブがあることがわかる。

従来、カーボンナノチューブ素子を作製すると、図2 (A)に示すようにカー

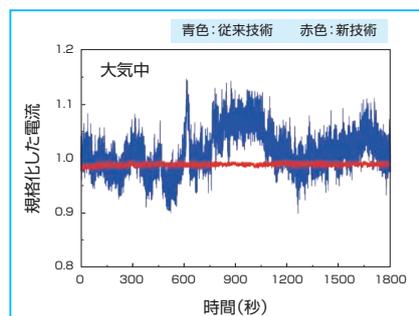


図3 電流安定性の比較

従来の作製方法で形成したトランジスタは、電流が時間に対して20%も変動する。これに対して新プロセスで作製したものは、ほとんど電流の変動が生じないことが分かる。

ボンナノチューブの表面には大気中の水、酸素のほかに、レジストの残渣が多く付着している。これらの不純物が電子を奪ったり、与えたりするため、動作が安定しなかったのである。これまで、この水と酸素は除去されていたが、フォトリソを完全に除去することはできなかった。われわれは、図2 (B)に示すように、水、酸素、レジストの残渣などのすべてがカーボンナノチューブ表面に付着しない作製プロセスを開発した。さらに図2 (C)に示すように、カーボンナノチューブ表面

を保護膜で覆って汚染から完全に保護した。

新しいトランジスタの特性

図3は、このようにして作製したカーボンナノチューブ電界効果トランジスタを流れる電流の時間変動を示したものである。従来のカーボンナノチューブ電界効果トランジスタの電流の時間変動は20%にも達していた。これに対して、新しく開発したものは電流がほとんど変動していないことがわかる。電圧に対する変動を図4に示す。従来のものは電圧を $-5V$ から $+5V$ まで往復印加すると、 $2\sim 3V$ という大きなヒステリシス特性を示す。ところが新技術で作製したトランジスタは、ヒステリシス特性を全く示さなかった。

以上のように、安定して作動するカーボンナノチューブ・トランジスタの作製に初めて成功した。これにより、カーボンナノチューブ・トランジスタの信頼性が大きく向上し、将来、さまざまなナノエレクトロニクスデバイスに应用されていくものと期待される。

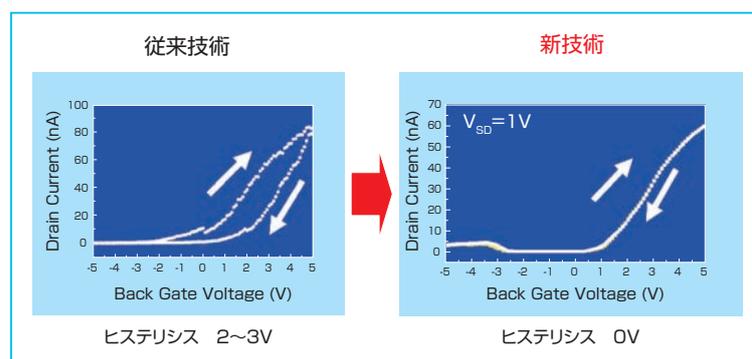


図4 ヒステリシス特性の比較

従来の作製方法で形成したトランジスタは、ヒステリシスが数ボルトも生じてしまうが、新プロセスで作製したものは、ヒステリシスが全く生じない。

関連情報：

- 1) A. Kojima, M. Shimizu, C. K. Hyon, T. Kanimura, M. Maeda and K. Matsumoto, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 44, No. 10 (2005) pp. L 328
- 2) D. Kaminishi, H. Ozaki, Y. Ohno, K. Maehashi, K. Inoue, and K. Matsumoto, Applied Physics Letters 86, 113-115 (2005). Applied Physics Letters 86, 113-115 (2005).