

ナノダイヤモンドから成長した金属フリーカーボンナノチューブ の薄膜トランジスタ特性とセンサー応用

The application of metal-free carbon nanotubes grown from nanodiamonds to thin film transistor and sensor

阪大院工¹, 日本化薬(株)² ○加瀬 寛人¹, 根岸 良太¹, 有福 達治², 清柳 典子², 小林 慶裕¹
Osaka Univ.¹, Nippon Kayaku², °H. Kase¹, R. Negishi¹, T. Arihuku², N. Kiyoyanagi², Y. Kobayashi¹
E-mail: kase@ap.eng.osaka-u.ac.jp

【はじめに】ナノダイヤモンドを核とした化学気相成長(CVD)法により金属不純物を含まないカーボンナノチューブ(CNT)の合成が可能であり[1]、半導体デバイスやセンサーへの応用が期待される。これまで我々は、ナノダイヤモンドからのCNT成長において、成長駆動力により得られるCNTの密度・長さ・径分布が制御できることを示してきた[2]。本研究では、ナノダイヤモンドから成長した金属フリーCNT薄膜を用いて薄膜トランジスタを作製し、電気特性評価とセンサー動作の検証を行った。さらに、成長駆動力の制御がセンサー性能向上に極めて有効であることを報告する。

【実験】熱酸化Si基板上に高純度ナノダイヤモンド(日本化薬製)を分散したものとCo触媒を蒸着したものを用意し、アセチレンやエタノールを炭素源ガスとしたCVD法を用いてCNTを合成した。ナノダイヤモンドからプロセスでは、成長駆動力を調整する目的で、一定気相条件(アセチレン分圧一定)と2段階気相条件(プロセス途中でアセチレン分圧を低減)とを対比した。得られた試料からフォトリソグラフィを用いて作製した薄膜トランジスタの電気特性評価とセンサー動作の検証を行った。

【結果と考察】作製した薄膜トランジスタにおけるCNT成長条件と密度、電気特性の関係をTable.1に示す。CNT密度はデバイスチャンネル部分から測定されたラマンスペクトルでのGバンドとSi基板からの信号強度比(I(G)/I(Si))により評価した。成長核に着目すると、ナノダイヤモンド核から成長したCNT薄膜はCo触媒に比べ、シート抵抗で1/2、移動度で10倍程度の値を示した。金属触媒はCNT成長後に酸化された状態で残留し、これによる抵抗率上昇がシート抵抗上昇・移動度低下の要因と考えられる。一方、ナノダイヤモンド核から成長した金属フリーCNT薄膜では、残留金属による特性劣化は生じない。成長条件による効果に着目すると、2段階気相条件では一定気相条件に比べ、成長したCNT薄膜のシート抵抗は1/4、移動度は4倍程度の値を示した。これまでの報告[2]から、2段階気相条件での成長持続時間延長によるCNT長尺化がシート抵抗低減の要因と考えられる。CNT間の接触抵抗がCNTの抵抗に比べ十分大きいことから、薄膜の抵抗率はCNT間接触の総数に支配的であるためである。移動度は薄膜中のキャリア密度が一樣であるとき抵抗率に反比例する。本研究で移動度上昇も、CNT長尺化によるCNT間接触数の減少と、それに伴う薄膜の抵抗率の低減に起因すると考えられる。次に、作製した薄膜トランジスタの性能検証のため、pH検出を行った結果をFig.1に示す。薄膜トランジスタを用いたセンサー動作では、帯電した物質の吸着によるゲートポテンシャル変化をドレイン電流値変化として検出する。そのため、センサーの信号変化量は移動度に依存する。同様なCNT密度の試料について、pHを4.0から8.2へ変えた場合のドレイン電流値変化量を比較すると、(a)は(b)の5倍、(c)は(d)の3倍程度であり、移動度に相応した電流値変化量が得られた。CNTに対する検出対象物質の吸着量が一定の場合、電流値変化量はセンサーの感度とみなすことができる。本研究の結果より、薄膜トランジスタのセンサーにおいて、金属フリーかつ長尺なCNTから構成された薄膜チャンネルが感度向上に有効であることが明らかとなった。

[1]D. Takagi et al., JACS 131(2009)6922. [2]小亀他、第60回応物講演会, 28a-G12-8(2013年3月、神奈川)、JSAP-MRS Joint Symposia, 17p-PM3-4(2013年9月、京都)

Table.1 Electrical properties of CNT thin film

Growth nuclei	Growth condition	I(G)/I(Si) (⇔CNT density)	Sheet resistance [kΩ/□]	Mobility [cm ² /Vs]
Co		1.57±0.21	9.15±0.25	0.41±0.07
Nano-diamond	Constant condition	1.34±0.14	5.67±1.81	7.40±2.44
	Two step condition	0.16±0.02	423±111	0.98±0.26
	Two step condition	0.15±0.02	94±27	3.83±0.85

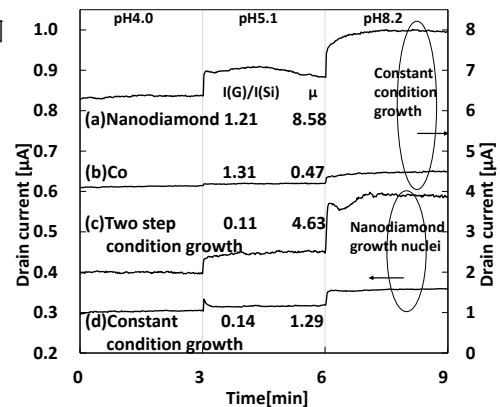


Fig.1 pH sensing using CNT-TFTs