

平成 21 年 6 月 26 日現在

研究種目：若手研究（A）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19681012
 研究課題名（和文） カーボンナノチューブ - 酸化物複合化センサの NO₂ 検知機構の解明
 研究課題名（英文） NO₂ Detection Mechanism for Oxide – Carbon Nanotubes Composite Sensor
 研究代表者
 橋新 剛（HASHISHIN TAKESHI）
 立命館大学・生命科学部応用化学科・助教
 研究者番号：20336184

研究成果の概要：

p 型半導体であるカーボンナノチューブ（CNT）に n 型半導体である酸化タングステン（WO₃）、酸化スズ（SnO₂）などの酸化物を微量添加した時に、p-n 接合の形成にともない電荷が存在しない空間電荷層が半導体表面に形成される。NO₂ などの酸化性ガスがその空間電荷層に吸着するとホールが注入され、電気抵抗が減少することを明らかにした。また、酸化物を CNT の筒の内側に導入することで、NO₂ の吸着量が大幅に増加することを見出した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	17,100,000	5,130,000	22,230,000
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	18,200,000	5,460,000	23,660,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学 ・ ナノ材料・ナノバイオサイエンス

キーワード：CNT-酸化物センサ、NO₂ 吸着、p-n 接合、空間電荷層

1. 研究開始当初の背景

近年、国内外で CNT のガスセンサとしての応用が NO₂、NH₃、CO₂ などを被検ガスとして検討されている。これらのほとんどは MEMS によって Au あるいは Pt 電極（対向あるいは楕形）を形成させた後に市販あるいは合成した CNT をマウントする電極架橋型 CNT センサである。これに対して、電極間に CNT を直接成長させたセンサは、多くのチューブを電極間に充填できること、チューブ面に平行な方向ではなく垂直方向の電流を測定すること、など新規なセンサ特性が期待できるが、このような視点からセンサ素子を作製した例は無い。そこで、平成 17 年度科学研究費補助金若手研究（B）[2 年間]の援助により、SiO₂/Si 基板上的マイクロギャップ Au 電極間に CNT を直接成長させた素子を作製することに成功した。この素子の 5ppmNO₂ に対するセンサ応答を調べた結果、室温で最も高い応答特性を示すこと、CNT の成長温度が低いほど CNT の欠陥量が多く（ラマンスペクトルにおける G/D 比が減少し）センサ応答が増大することが明らかとなった。このことは硝酸処理によって CNT に欠陥を導入した CNT においてセンサ応答

が増大したことから裏付けられた。これらの知見は直接成長型 CNT をセンサに応用する上で基礎となるものの、NO₂ の環境基準（0.02ppm で二桁の感度）に近づけるためにはさらなる工夫が必要である。半導体ガスセンサではガス感度やガス選択性を増大させるため、種々の添加物による表面修飾がよく用いられる。しかし、CNT ガスセンサにおいてこのような表面修飾は全く行われてこなかった。そこで、CNT-酸化物複合化センサのプロトタイプである CNT-WO₃ 複合化センサを作製し、NO₂ に対する応答（NO₂ 吸着前後の電気抵抗値の変化）を調べた結果、CNT に対して 0.1wt% の WO₃ を添加し、200 °C で測定する条件が最適であり、WO₃ 無添加時よりも 4 倍ほどの応答の増加が認められた。

2. 研究の目的

上記のような背景から、本研究では、マイクロ・ナノサイズの Au 対向電極ギャップ間に CNT を直接成長させ、ガス吸着材としての酸化物（WO₃、SnO₂）を CNT 表面上に点在させた CNT-酸化物複合化センサを作製し、p 型である CNT と n 型である酸化物の表面で

の NO₂ との相互作用を明らかにすることで、CNT-酸化物複合化センサの NO₂ 検知メカニズムを解明することとした。

3. 研究の方法

センサ基板の作製 MEMS技術(UVフォトリソ、EB描画、エッチング、リフトオフ)によりSiO₂基板(4×10mm)上に図1に示すような2タイプのAu電極(対向電極、ナノギャップ楕形電極)を作製した。
 タイプAは2-10μmのギャップを有する対向電極のライン幅が10-50μmで、このギャップを有するパターンをデザインしたマスクを用いて、通常の紫外線を用いたフォトリソグラフィーによりSiO₂基板上にAu対向電極を形成する。タイプBはナノサイズ(200-800 nm)のギャップが楕形に形成された電極で、電子ビームリソグラフィーと紫外線フォトリソグラフィーを組み合わせる手法によりナノギャップ楕形電極を形成する。

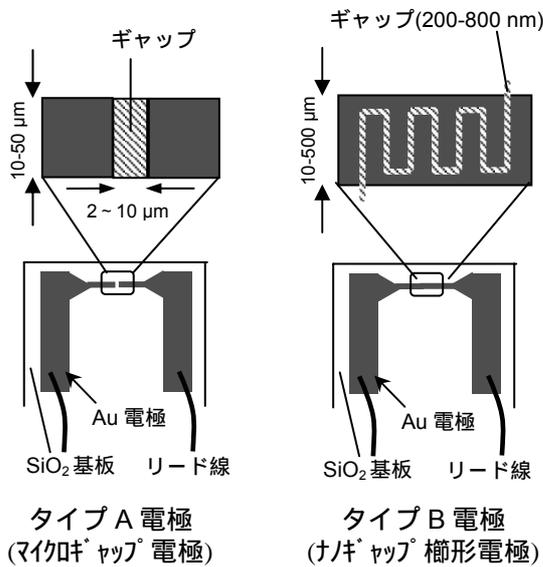


図1. マイクロ・ナノギャップ Au 電極の模式図。

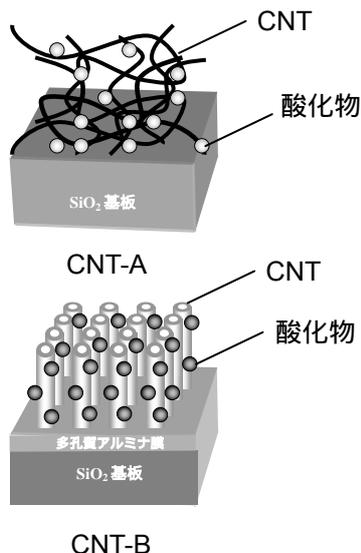


図2. CNT-酸化物複合化膜の概念図 (Au 電極ギャップ部)。

センサ基板への CNT の成長 最終的には図2に示すように、センサ基板にCNTを成長させた後、酸化物をCNT表面に点状させたCNT-酸化物複合化膜を作製する。前段階として、ギャップ部に形成するCNTは、曲がりくねったCNTが絡み合った状態で3次元網目のネットワークを形成し、酸化物粒子がその表面上に点状するタイプ(図2 CNT-A)と個々のCNTが基板に対して垂直に配向し、そのCNT表面上に酸化物粒子が点状するタイプ(図2 CNT-B)を作製する。

酸化物粒子のCNTへの担持

WO₃ 粒子の担持 WO₃ 粒子を水溶液滴下法によりCNT上に担持する。パラタングステン酸アンモニウム((NH₄)₁₀W₁₂O₄₁·5H₂O)水溶液を硝酸溶液に滴下し、生じた沈殿(H₂WO₄)を濾過、洗浄、乾燥後、得られた沈殿の一部を所望の濃度となるようにイオン交換水に溶かして(1wt%の場合、0.05gを50mlのイオン交換水に溶解)十分に攪拌することでタングステン酸水溶液を得る。次にマイクロインジェクションセットおよび実体顕微鏡を用いて、タングステン酸水溶液の微量をAu電極ギャップ部(図2のCNT-AあるいはCNT-Bが形成されている場所)に滴下し、乾燥後、CNTがタングステン酸に含まれる酸素によって酸化されないように不活性雰囲気(Ar)中で300~450で3時間焼成することで、CNT-WO₃複合化センサを得る。

SnO₂ 粒子の担持 SnCl₄·2H₂O水溶液を炭酸水素アンモニウム溶液で中和することで得られる沈殿(Sn(OH)₄)をアンモニア水に溶かし、遠心分離後、200で3時間水熱処理することで透明なSnO₂ゾル(約3~5nm)を得る。これを上述の担持法と同様に、CNT上に滴下、乾燥後、不活性雰囲気中で焼成して、CNT-SnO₂複合化センサを得る。

センサ特性の評価 得られたCNT-酸化物複合化センサデバイスをセンサ特性評価装置にセットし、被検ガス(NO₂)に対する検知特性を測定する。タイプAあるいはタイプB電極にCNT-AあるいはCNT-Bを形成したCNT-酸化物複合化センサにおいて、数ppm程度の被検ガスに対して種々の動作温度でセンサ特性を調べ、CNTの結晶構造、ギャップ間隔、応答回復特性との相関を明らかにすることで、センサ特性の基礎データを得る。次に最高感度が得られた動作温度において、CNT-酸化物複合化センサのガス検知特性を調べる。特に、CNTの形態、結晶構造、各種酸化物の担持量によるセンサ特性の違いを調べる。結果として明らかになったセンサ特性をベースとして、NO₂に対してセンサ応答が高くなる酸化物担持量の最適条件を検討することにより低濃度NO₂(0.05-1 ppm)に対する高感度化(前述のギャップ効果、界面効果を利用)を試みる。

4. 研究成果

センサ基板の作製 図3にマイクロギャ

ップ対向電極の SEM 像を示す。厚み 300 nm の Au 電極部が灰色部で、厚み 525 μm の Si 表面を 1000 $^{\circ}\text{C}$ で 10 時間の熱酸化することで厚み 250 nm の SiO_2 膜を形成させた部分が黒色部である。なお、「3. 研究の方法」で記した SiO_2 基板とは厳密には $\text{SiO}_2(250 \text{ nm})/\text{Si}(525 \mu\text{m})$ を意味する。このように、UV フォトリソによる Au 対向電極のパターン形成は均質であることがわかる。

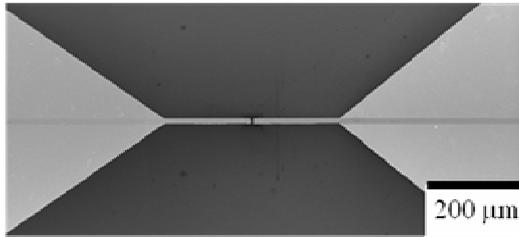


図 3. マイクロギャップ対向電極の SEM 像 (タイプ A 電極). ギャップ部は 5 μm

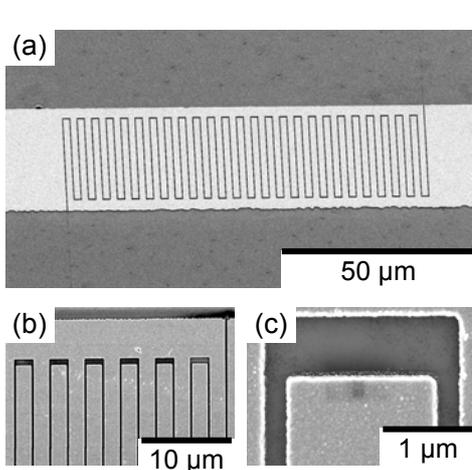


図 4. ナノギャップ櫛形電極の SEM 像 (タイプ B 電極). (a) 45 $^{\circ}$ 傾斜観察 (50 本櫛歯、200 nm ギャップ), (b), (c) 拡大像.

図 4 にナノギャップ櫛型電極の SEM 像を示す。(a)の 45 $^{\circ}$ 傾斜観察像は Au 電極が 50 本の櫛歯から形成されていることがわかる。また、(b)の電極拡大像から均質にナノサイズのギャップが形成されていることがわかる。(c)のギャップ部拡大像はコーナー部が 600nm、パターンを形成する直線部が 200 nmであることを示している。コーナー部を 200 nm とした場合、リフトオフの工程でギャップ部のレジスト上部に蒸着された Au を完全に除去することができない。このような実験的背景からコーナー部は 600 nm としている。

センサ基板への CNT の成長 図 3 のマイクロギャップ対向電極間に CNT を直接成長させた様子を図 5(a)に、CNT 部の拡大像を図 5(b)に示す。これは CNT-A に該当する。タイプ A 電極では CNT-A の作製に成功したが、タイプ B 電極ではギャップ間に存在する

酢酸 Ni の酢酸成分の分解および炭素源である炭化水素系ガスとの反応により、電極ごと剥離した。一方、CNT-B は図 6 (a)に示すように、CNT のガイド成長には成功したが、タイプ A および B 電極ともに蒸着膜とともに電極ギャップ部から剥離してしまった。そこで、高周波 (13.65 MHz) プラズマ誘起気相成長法により、350 $^{\circ}\text{C}$ という低温で CNT アレイの成長に成功した (図 6 (b))。これは、CNT のタイプとしては CNT-B と同じ系列と考えてよい。当初の予定では、Au 電極と CNT との間に余分な導電パスとして陽極酸化ポラスアルミナが存在することになるが、図 6 (b)のように SiO_2/Si 上に CNT アレイを直接成長させた構造は NO_2 と CNT の電子的相互作用をモニターする上で望ましい。しかしながら、 Ar/CH_4 のプラズマ下では CNT-B が形成されても Au 電極部が剥離する問題が残されている。現時点では Au 電極部の剥離を改善する方法を見出せていない。上記経緯から、タイプ A 電極に CNT-A を形成した CNT センサを CNT-酸化物複合化センサの下地に用いることにした。

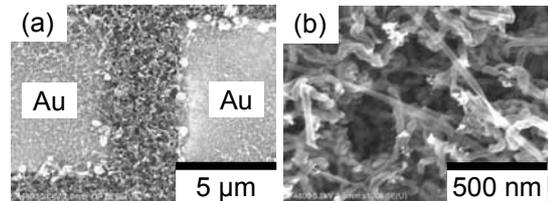


図 5. マイクロギャップ対向電極間に成長した CNT の SEM 像 (CNT-A) .

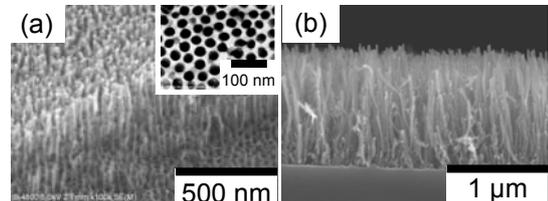


図 6. CNT アレイの SEM 像.

(a) 陽極酸化ポラスアルミナの細孔壁からガイド成長した CNT (CNT-B), (b) プラズマ誘起化学気相成長 (PE-CVD) 法.

酸化物粒子の CNT への担持

WO_3 粒子の担持 CNT-A に WO_3 を担持した様子を図 7 に示す。0.1 wt% では WO_3 同士が凝集せずに分散担持されていることがわかる (図 7 (a))。1.0 wt% では CNT の隙間に WO_3 の凝集粒子が存在し (図 7 (b))。7.0 wt% では CNT の存在が確認できないほど WO_3 粒子が多い (図 7 (c))。他方、 WO_3 を CNT に内包させるために、パラタングステン酸アンモニウム ($(\text{NH}_4)_{10}\text{W}_{12}\text{O}_{41} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 水溶液に CNT を入れ、減圧下で同液を CNT 内筒に導入した CNT 懸濁液を硝酸溶液に滴下したが、CNT 内筒に H_2WO_4 が形成されず、CNT 外壁のみに析出した。パラタングステン酸アンモニウムの分子が大きいので、同分子を CNT 内筒に導入できなかったと考えられる。現在、

塩化タングステン () 水溶液に懸濁させた CNT を攪拌することで、内包条件を検討中である。

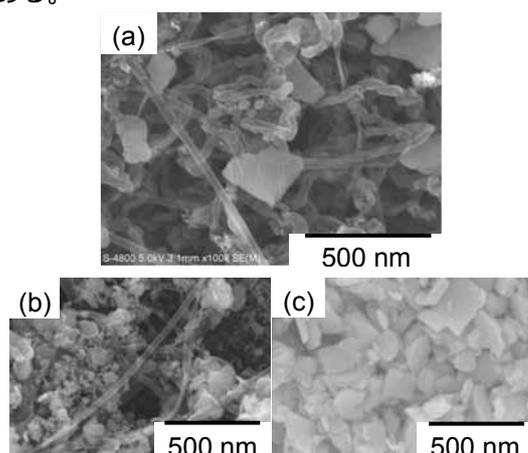


図 7. CNT-A に WO_3 を担持した SEM 像。(a) 0.1 wt% (b) 1.0 wt% (c) 7.0 wt%.

SnO₂ 粒子の担持

「3. 研究の方法」で述べた SnO₂ ゼルの滴下で CNT-A への SnO₂ の担持を実施した。SnO₂ ゼルの CNT 内筒への導入には、SnO₂ ゼル溶液に CNT-A を浸漬後、アスピレーターで減圧して SnO₂ ゼルの導入を行った。しかしながら、減圧導入後の洗浄過程 (CNT-A 部に残留した余剰な SnO₂ ゼルを除去) でタイプ A 電極から CNT-A の剥離が生じた。CNT-A は SiO₂/Si 上の Au 電極ギャップ部に滴下した Ni 成分から成長しているため、CNT と SiO₂ との密着性が弱い。このことが、前述の CNT-A の剥離につながったと考えられる。そこで、Sn 成分を SnCl₂ 水溶液に変更し、同液体内に長時間浸漬することで (毛細管現象により) CNT 内筒への Sn 成分の導入を試みた。しかし、Sn 成分の酸化を防ぐために SnCl₂ 水溶液に微量添加した塩酸が CNT-A と SiO₂ との間に存在する余剰な Ni 成分を浸食し、CNT-A がタイプ A 電極から剥離した。Sn 成分を CNT に内包させる次の手段として、市販の多層カーボンナノチューブ (MWNT) を SnCl₂ 水溶液に長時間分散させることで、Sn 成分の MWNT 内筒への導入を試みた。引き続き、空気中での熱処理およびアルゴン中での熱処理によって、Sn 成分の内包だけでなく MWNT 内外の SnO₂ の担持状態を制御することに成功した。具体的な方法を以降に示す。

市販の MWNT (和研薬 (株)) を濃硝酸に浸漬し、120 °C で 6 時間攪拌することで、MWNT の先端を開き、成長触媒である Ni と MWNT 表面に存在する非晶質炭素を除去した。80 °C で 1 日乾燥後、SnCl₂ 水溶液に対し 0.1 wt% の MWNT を浸漬した。30 分の超音波照射後、室温で 20 時間攪拌し、遠心分離により MWNT を単離した。単離後は洗浄の有無でサンプルを分けた。80 °C で 1 日乾燥後に空気中あるいはアルゴン中で 3 時間の熱処理を行うことで、SnO₂-MWNT 複合体を得た (図 8)。遠心分離で MWNT を単離後に

空気中 400 °C × 3 hr の熱処理を行った場合、数十 nm の SnO₂ 粒子で MWNT が覆われていることがわかる (図 8-(a))。遠心分離後に洗浄し、空気中 400 °C × 3 hr の熱処理を行った場合、数 nm の SnO₂ 粒子が MWNT を覆うようになる (図 8-(b))。一方、図 8 (a) のサンプルをアルゴン中で 400 °C × 3 hr の熱処理を行うと、MWNT 外に数十 ~ 100 nm、MWNT 内には内壁の直径と同程度のサイズの SnO₂ 粒子が存在している (図 8 (c))。アルゴン中での熱処理は炭素の欠陥修復、結晶化度の向上が報告されている。MWNT 外壁の荒れた表面が平滑になることで、同種結晶同士の融合 (ホモエピタキシー) が生じ、MWNT 内外の粒子が大きくなったと考えられる。また、MWNT の外壁では物理的障害が無いため、粒子の流動性が増したことも外壁上の粒子のサイズ増大に寄与すると思われる。図 8 (d) のように、MWNT 単離後に洗浄し、アルゴン中で 400 °C × 3 hr の熱処理を行うと、MWNT 内筒内のみ内径と同じサイズの粒子が残ることも前述の考え方で説明できる。この MWNT 内筒に存在する粒子は高分解能像からの面間隔および制限視野電子線回折パターンから、Sn および SnO に同定された。したがって、酸化をさらに促進させるために、空気中 400 °C × 3 hr の熱処理を行った。このことで、内包粒子は全て SnO₂ に転化した。図 9 に示した 4 種類の SnO₂-MWNT 複合体を次のように呼称する。図 8 (a) : SnO₂ 被覆 MWNT、図 8 (b) : SnO₂ 内外 MWNT、図 8 (c) : SnO₂ 内外 MWNT2、図 8 (d) : SnO₂ 内包 MWNT。

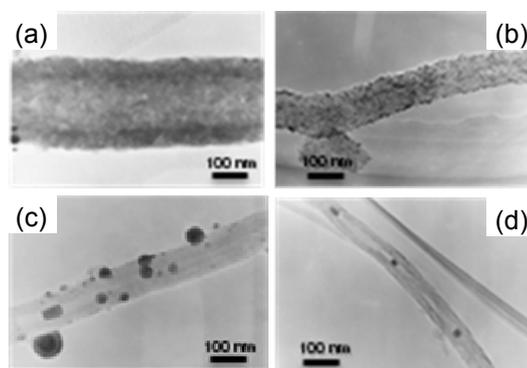


図 8. MWNT に SnO₂ を担持した TEM 像。(a) 洗浄無し、400 °C × 3 hr (空気中) (b) 洗浄有り、400 °C × 3 hr (空気中) (c) (a) の後、400 °C × 3 hr (アルゴン中) (d) 洗浄有り、400 °C × 3 hr (アルゴン中) の後、400 °C × 3 hr (空気中)

センサ特性の評価

図 9 に CNT-A、0.1 wt% WO_3 担持 CNT の 5 ppm NO₂ に対する応答特性を示す。CNT-A では 31.7 kΩ であった空気中の抵抗が WO_3 を僅か 0.1 wt% 添加することで、4.4 GΩ に増大している。これは、p-n 接合によって空間電荷層が形成されたことを示している。また、NO₂ に曝露した時の電気抵抗変化は

CNT-A において 1.05 倍であったが、WO₃ 担持によって 3.80 倍の抵抗減少を示した。これは、p-n 接合が NO₂ 吸着量増大に寄与していると考えられる。図 10 に WO₃ 添加量がセンサ応答 ($S=Rg/Ra$) と空気中の抵抗 (Ra) に及ぼす影響 (200 °C) を示す。WO₃ の担持量が 0.1 wt% の時にセンサ応答、空気中の抵抗、ともに最大であることがわかる。これは、0.1 wt% WO₃ 担持において WO₃ 同士の接触が少なく (図 7 (a) 参照) p-n 接合界面が NO₂ 吸着に最大限に利用されていることを示している。WO₃ 同士の接触が生じると、WO₃ の導電パスが一部形成され、n 型としての挙動 (抵抗増加) が発現する。p-n 接合にともなう空間電荷層の形成が NO₂ 吸着量の増大に寄与する。

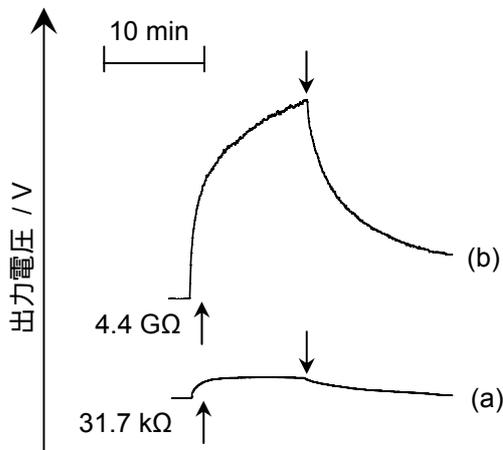


図 9. 5 ppm NO₂ に対するセンサ応答 (200 °C). (a) CNT-A, (b) 0.1 wt% WO₃ 担持 CNT-A.

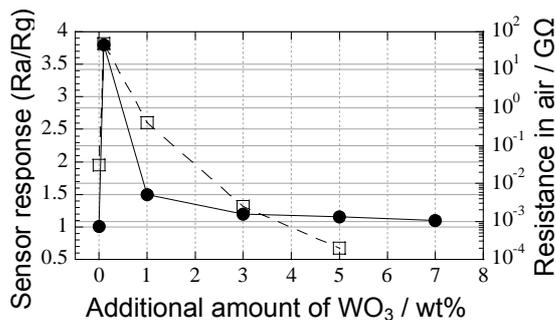


図 10. WO₃ 担持量がセンサ応答 ($S=Rg/Ra$) と空気中の抵抗 (Ra) に及ぼす影響 (200 °C).

図 11 に CNT (多層カーボンナノチューブ: MWNT) への酸化物担持前後における空間電荷層の増減モデルを示す。MWNT は空気中の酸素が負電荷吸着することで MWNT 表面から内部にかけて電荷が存在しない空間電荷層が形成される (図 11 (a))。この空間電荷層の厚みの増加にともなって吸着酸素量が増大する。酸化物が MWNT 表面に存在することで、p-n 接合が酸化物-MWNT 複合体全体に

わたって形成される。このことによって空間電荷層が増大する (図 11 (c))。次に、NO₂ 中での挙動について説明する。NO₂ に MWNT を曝露すると、図 11 (b) の状態になる。これは電子吸引性の NO₂ と酸素との競争吸着が生じ、酸素よりも酸化力の強い NO₂ が MWNT に負電荷吸着している O⁻ と置換する形で吸着し、ホールが MWNT 表面の空間電荷層に注入されて空間電荷層の厚みが減少する。この現象が電気抵抗変化として現れることになる (抵抗減少)。酸化物担持 MWNT では空間電荷層の厚みが MWNT 単独に比べて厚いことが NO₂ 吸着量の増大につながっている (図 11-(d))。

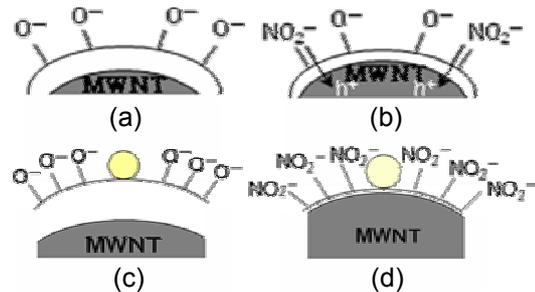


図 11. MWNT への NO₂ 吸着機構と酸化物による p-n 接合の形成。
 (a) MWNT 表面上の吸着酸素
 (b) NO₂ 吸着によるホール注入
 (c) MWNT 上の酸化物による空間電荷層の形成
 (d) NO₂ 吸着によるホール注入と空間電荷層の緩和

一方、SnO₂ 担持 MWNT を 1 ppm NO₂ に曝露した時の抵抗変化率を図 12 に示す。酸化処理した MWNT (酸処理後の MWNT) では 10% に満たない抵抗減少であるが、SnO₂ 内包 MWNT では約 40% の抵抗減少を示した。MWNT 外壁にも SnO₂ が存在する場合 (SnO₂ 内外 MWNT, SnO₂ 内外 MWNT2) は 10 ~ 30% の抵抗減少を示している。SnO₂ で完全に MWNT が覆われてしまった場合 (SnO₂ 被覆 MWNT) は大幅な抵抗増加を示した。これらの現象は図 13 の NO₂ 吸着モデルで説明できる。MWNT 内壁に SnO₂ が存在する場合、両者の接触界面 (p-n 接合界面) を起点として空間電荷層の広がりが形成される (図 13 (a))。この広がりが MWNT の外壁表面にまで及び、吸着酸素量が増大する。NO₂ に曝すと、この吸着酸素の存在量が NO₂ 吸着量の増大につながる。また、SnO₂ は MWNT の内壁に存在するため、NO₂ は SnO₂ に吸着することはない。したがって、空間電荷層の緩和が起こらない。図 13 (b) の内壁側では前述と同じ現象が生じるが、MWNT 外壁では他の SnO₂-MWNT との接触により、SnO₂ 同士の導電パスが形成される。このことで抵抗増加の寄与が生じ、MWNT による抵抗減少が相殺されてしまう。図 13 (c) のように MWNT が SnO₂ で完全に覆われてしまった場合、SnO₂

が電気伝導を支配するため、抵抗変化率は増加に転じる。

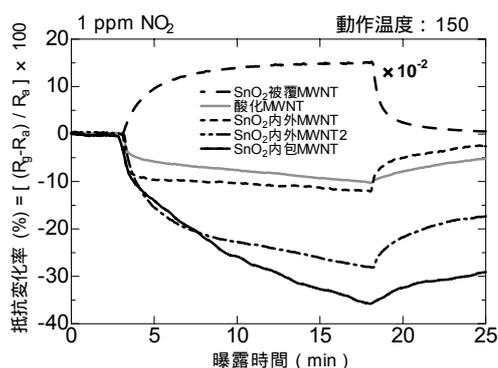


図 12. MWNT への SnO₂ 担持状態が抵抗変化率に及ぼす影響 (200 °C) .

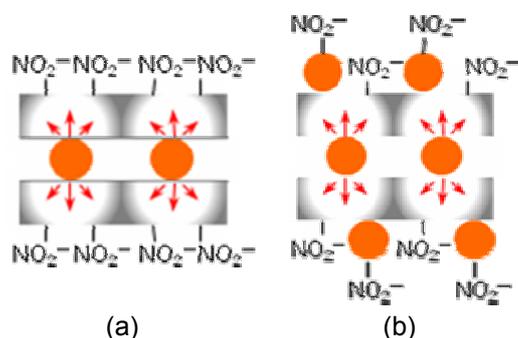


図 13. MWNT への n 型半導体酸化物の担持状態の違いと NO₂ 吸着機構.

(a) 酸化物内包 MWNT

(b) 酸化物内外 MWNT

以上のように、酸化物担持 CNT における NO₂ 吸着機構を電気抵抗変化として把握することができた。申請のコアである全環境制御型走査トンネル顕微鏡による電子密度計測による空間電荷層の厚み計測には現時点で成功していないため、今後の課題としたい。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件) *すべて査読有

- 1) T. Hashishin, J. Tamaki, Conductivity-Type Sensor Based on CNT-WO₃ Composite for NO₂ Detection, *J. Nanomaterials*, **2008**, 352854 [4 pages] (2008).
- 2) J. Tamaki, T. Hashishin, Y. Uno, D. V. Dao, S. Sugiyama, Ultrahigh-sensitive WO₃ nanosensor with interdigitated Au nano-electrode for NO₂ detection, *Sens. Actuators B*, **132**, 234-238 (2008).
- 3) T. Hashishin, J. Tamaki, Au-Pd Catalyzed Growth of Carbon Nanofibers Mat, *Mater. Chem. Phys.*, **111**, 54-58 (2008).

・総説

橋新 剛, “カーボンナノチューブを用いた抵

抗型ガスセンサ”, 化学センサ 2007 (ナノ化学センサ特集), **24**, pp. 36-42 (2008).

・査読付き国際会議 Proceeding

T. Hashishin, J. Tamaki, “Nanocomposites of oxide nanoparticles and carbon nanotubes for gas sensor”, *Proc. of 16th International Conference of Composite Engineering*, 417-418 (2008).

[学会発表] (計 7 件)

国際会議 (○:発表者、無印: Poster)

- 1) ○T. Hashishin, J. Tamaki, “Nanocomposites of carbon nanotubes and oxides for sensor application”, 『The 16th International Conference of Composites Engineering』, [Kunming, China] (2008.7.22).
- 2) ○T. Kishi, T. Hashishin, J. Tamaki, “Tin Oxide Nanoparticles Deposited Inside Multiwalled Carbon Nanotubes for Sensor Application”, PRIME2008, [Waikiki, Hawaii] (2008.10.12).
- 3) T. Tsuda, T. Hashishin, J. Tamaki, “Controlling Growth of Vertically Aligned MWNT by PECVD”, 『IUMRS-ICA2008』 [Nagoya International Congress] (2008.12.10).

国内学会 (○:発表者、無印: Poster)

- 1) ○橋新 剛, 岸 孝宏, 玉置 純, “SnO₂-MWNT 複合化センサの NO₂ 吸着特性に及ぼす SnO₂ 担持状態の影響”, 『日本セラミックス協会関西支部平成 20 年度支部セミナー - シーズン/ニーズのマッチングによる新たな展開を求めて - 』(京都大学ローム記念館) 2008 年 11 月 21 日.
- 2) ○橋新 剛, 岸 孝宏, 玉置 純, “酸化物内包多層カーボンナノチューブの二酸化窒素検知特性” 『第 47 回化学センサ研究発表会 (電気化学会第 76 回大会)』(京都大学吉田キャンパス) 2009 年 3 月 29 日.
- 3) ○橋新 剛, 岸 孝宏, 玉置 純, “酸化スズ修飾多層カーボンナノチューブの NO₂ 検知特性” 『ナノ学会第 7 回大会』(東京大学武田先端知ビル) 2009 年 5 月 11 日.

・招待講演

T. Hashishin, “Chemical modification of carbon nanotubes for NO₂ detection”, 『The 4th Vietnamese & Japanese Students Scientific Exchange Conference』(Kyoto Univ. Yoshida Campus), 2008.11.15.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋新 剛 (HASHISHIN TAKESHI)

立命館大学・生命科学部・助教

研究者番号: 20336184