## CNT/グラフェン複合体を用いた歪みセンサの構造最適化による センサ特性の向上

Improved sensor response by optimizing the strain sensor structure fabricated from

carbon nanotube/graphene composite

阪大院工1、岡山大2 °比村 優奈1、石黒 稚可子1、許 梓釗1、井ノ上 泰輝1、仁科 勇太2、小林 慶裕1

Osaka Univ.<sup>1</sup>, Okayama Univ.<sup>2</sup>, Y. Himura<sup>1</sup>, C. Ishiguro<sup>1</sup>, Z. Xu<sup>1</sup>, T. Inoue<sup>1</sup>, Y. Nishina<sup>2</sup>, Y. Kobayashi<sup>1</sup>

E-mail: <u>himura@ap.eng.osaka-u.ac.jp</u>

【はじめに】ウェアラブルデバイスの開発において、グラフェンやカーボンナノチューブ(CNT)はフレキシブルなチャネル材料として有望視されている[1]。我々はこれまでに大量合成可能な酸化グラフェン(GO)のエタノール雰囲気・超高温処理による低欠陥・乱層グラフェン形成やその高空隙化を報告してきた[2]。さらに、得られた高空隙グラフェンを歪みセンサに応用し[3]、感度・伸縮性の顕著な向上が報告[4]されているCNTとの複合化を試みた。その結果、歪みに対して抵抗変化が線形なセンサ特性を観測できた[5]。しかし、センサ動作の再現性や感度の指標であるGF値(gauge factor、歪み変化率と抵抗変化率の比)の向上が課題であった。本研究では、試料厚の調整やセンサ製作過程での加圧の均一化によりセンサ構造を最適化し、センサ動作の安定化やCNT添加によるセンサ特性の向上効果を検証した。

【実験】GO水分散液(1 wt%)[6]とCNT水分散液(0.2 wt%、ゼオンナノテクノロジー社製)の混合液を凍結乾燥し、高空隙なスポンジ状試料を形成した。グラフェンとCNTの混合比はGO:CNT=100:0 (GO-100と表記)、GO:CNT=83:17(GO-83)である。試料はエタノール雰囲気中1500℃で熱処理した。試料構造の観察にはSEMを、結晶性評価にはラマン分光法を用いた。歪みセンサは、5 mm×5 mm×3 mmの試料に銅

ワイヤを接続し、厚さ1 mmのポリジメチルシロキサン(PDMS)膜に挟み、 熱プレス機で50℃、66 kPaで均一に加圧して作製した。

【結果】試料を均一に加圧することにより、これまで問題となっていたセ ンサ内の気泡を除去できた(Fig. 1)。さらに伸縮を容易にするため、試料 厚を従来の2 mmから1 mmへと調整した。このように構造を最適化したセ ンサを用いて、CNT添加が抵抗変化に及ぼす効果を比較した結果を Fig. 2(①GO-100、②GO-83)に示す。PDMS膜を毎秒0.25 mmずつ0~ 10 mmの範囲で変形させ、カーボン試料に0%~140%の歪みを加える伸 縮操作を連続で5回行った。5回の試行における①の初期抵抗値(各回 で0%の時の抵抗値)は0.51 Ω,0.55 Ω,0.52 Ω,0.52 Ω,0.51 Ω、② では7.5 Ω, 6.7 Ω, 7.9 Ω, 8.5 Ω, 7.9 Ωであった。前回報告[5]した同 一組成の場合と比較して、初期抵抗値の変動係数は大幅に改善した (①0.18→0.03、②0.81→0.08)。センサ構造最適化により、連続測定で の初期抵抗値が安定したと考えられる。②の場合に抵抗値が増加し、 GF値(平均値)が減少(①6.0→②0.6)したのは、1次元のCNTを2次元の グラフェンに添加したことで接触箇所が増えたためと推定される(Fig. 3)。Fig.2 ①②の対比から、CNT添加により抵抗値変化の安定性・再現 性が大きく向上したことが分かる。特に、高歪みの場合に①では不安定 な応答となるのに対して、②では緩やかな挙動が観測された。CNT添加 により、試料内部の強度が増し、大きな歪みに対する耐久性が向上した ためと示唆される。低歪み領域で①②共に感度が低下したのは、ポリマ ーの可塑性限界や試料への抵抗測定配線接続の影響と考えられ、セ ンサ特性向上には更なる試料構造の改善が必要である。



Fig. 1 Improved sample structure by using hot-press apparatus.



Fig. 2 Relative resistance observed for cycle test of strain sensors fabricated without (1) and with (2) CNT.



Fig. 3 Schematic model of CNTaddition effect for the strain sensor.

謝辞:本研究の一部は科研費、阪大フォトニクスセンターの援助により実施した [1] S. Li et al. ACS Appl. Electronic Meter 2(2020)2282 7. Zong et al. Nanoscala 9(2)

[1] S. Li et al., ACS Appl. Electronic Mater. **2**(2020)2282, Z. Zeng et al., Nanoscale **9**(2017)17396. [2] T. Ishida et al., APEX **9**(2016)025103, Z. Xu et al., Carbon **185**(2021)368. [3] 石黒他 第68回応物講演会 (2021年春) 19p-P02-16. [4] X. Xie et al., Compos. Part A Appl. Sci. Manuf. **135**(2020)105932. [5] 比村他 第82回応物講演会 (2021年秋) 21a-P01-5. [6] N. Morimoto et al., Sci. Rep. **6**(2016)21715.