

スポンジ状グラフェンを用いたフレキシブルひずみセンサーの作製と SiCナノ粒子添加効果の検証

Fabrication of flexible strain sensor using reduced graphene oxide sponge
and analysis of composite effect with SiC nanoparticle to sensor performance

阪大院工¹、岡山大²、石黒雅可子¹、比村優奈¹、許梓釗¹、仁科勇太²、井ノ上泰輝¹、小林慶裕¹

Osaka Univ.¹, Okayama Univ.², C. Ishiguro¹, Y. Himura¹, Z. Xu¹, Y. Nishina², T. Inoue¹, Y. Kobayashi¹

E-mail: ishiguro@ap.eng.osaka-u.ac.jp

【はじめに】ウェアラブルデバイスの開発が急速に進む中、フレキシブルなひずみセンサーの材料として導電性や機械的特性に優れたグラフェンが従来の金属・無機半導体にかわる材料として期待されている[1]。酸化グラフェン(GO)から凍結乾燥法により作製されるスポンジ状GOを還元して得られる多孔質グラフェンは3次元ネットワークによる高い導電性と伸縮性をもち、フレキシブルなひずみセンサーに有効な材料である[2]。しかし、従来研究では化学処理や1000°C以下の比較的低温の熱処理でGOを還元しており、得られたグラフェンには多くの欠陥が残留していることが課題であった。我々は、GO還元をエタノール雰囲気・超高温で行うことにより、生成するグラフェンの欠陥は十分に修復され、スポンジ状GOでは試料全体が乱層構造となることを見出した[3]。本研究では、得られた低欠陥・多孔質グラフェンとポリジメチルシロキサン(PDMS)を複合化してひずみセンサーを作製し、その柔軟性や感度について検証した。さらに微細構造の変化により感度を向上させる[4]ため、ナノ粒子(SiC)を添加してグラフェンフレークの接触形態を変化させ(Fig. 1)、抵抗変化量を増大させる可能性を検討した。

【実験】グラファイトの化学剥離で得られるGO水分散液、あるいはSiCナノ粒子を添加したものを凍結乾燥してスポンジ状GOを形成した。凍結には冷凍庫(F)と液体窒素(LN)を用いた。この試料をエタノール雰囲気中1500°Cの超高温で熱処理した。結晶性の評価にはラマン分光法を用いた。ひずみセンサーは、試料を0.5cm角にカットし銀ペーストで銅ワイヤーを接続し、2つの半硬化したPDMSで挟み込むことで作製した。試料を伸ばす方向に変形した場合の電流値から引張りひずみによる抵抗値変化 $\Delta R = R - R_0$ を計測し、ひずみセンサーの性能指標であるGF値(gauge factor、ひずみ率に対する抵抗変化率の非)に換算した。

【結果】Fig. 2に3種類(①GO-冷凍庫②GO-液体窒素③SiCナノ粒子添加-液体窒素)のグラフェンで作製したひずみセンサーの抵抗変化率・ひずみ特性を示す。①と②を比較すると、伸縮性(それぞれ53%と100%)、平均GF値(25と42)と初期抵抗値 R_0 (0.3 Ωと3.4 Ω)において②の方が優れた値が観測された。さらに②の方が線形な挙動を示している。外部の機械的変化をより強い電気信号として取り出すひずみセンサーの材料として液体窒素による凍結法の有効性が確認された。ラマン分光法による結晶性の評価で $I(D)/I(G)$ 比は同程度(0.70と0.82)であることから、この性能差はSEMで観察された空隙サイズの相違に起因すると考えられる。SiCナノ粒子を添加した③では、伸縮性=100%、最高GF値=40、平均GF値=15、初期抵抗値=33 Ω、結晶性は $I(D)/I(G)=1.10$ を示した。平均GF値は減少したものの、初期抵抗は②の10倍近くあり、抵抗変化量は拡大している。最高GF値が14%の低ひずみで観測されていることは、Fig. 1のように、SiCナノ粒子で接触形態が変化し、小さなひずみでグラフェンフレークが一気に離れたことを示唆する。今後より適切な添加物の選択や混合比の最適化により平均GF値を高めた高感度なセンサーが作製可能と考えられる。

[1] S. Li et al., ACS Appl. Electronic Mater. 2(2020)2282.

[2] Z. Zeng et al., Nanoscale 9(2017)17396.

[3] T. Ishida et al., APEX 9(2016)025103, 中村 他 第78回応物講演会(2017年秋、福岡) 7p-C16-9.

[4] T. Gong et al., Carbon 140(2018) 286.

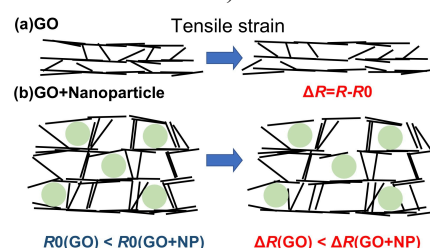


Fig. 1 Schematics of resistance change by tensile strain for porous graphene samples fabricated from (a) GO and (b) GO + nanoparticle.

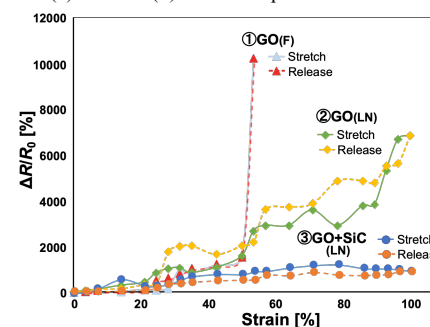


Fig. 2 Relative change in resistance of strain sensors under various strain loading.