

グラフェン層間へのスペーサ挿入による非線形電気特性の誘起

Nonlinear electrical characteristics induced by spacer insertion between graphene layers

阪大院工,[○](M1) 渡邊颯人, 鈴木賢斗, 丁明達, 井ノ上泰輝, 小林慶裕

Osaka Univ.,[○]H. Watanabe, K. Suzuki, M. Ding, T. Inoue, Y. Kobayashi

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

【はじめに】グラフェンは炭素原子一層の二次元物質であり、その特異な分散関係に由来する電子物性が注目されている。これまでに、グラフェン層間にナノダイヤモンド(ND)やカーボンナノチューブ(CNT)をスペーサとして挿入した場合、その密度の調整により上層のグラフェンが下層のグラフェンと接触しないサスペンド(架橋)構造が形成可能(Fig. 1)であることを実験とシミュレーションにより示してきた[1]。さらに、グラフェン層間が拡大して、層間相互作用が抑制されることがグラフェンの光物性(広帯域の吸収スペクトル)にも影響することを検証してきた[2]。このようにスペーサ挿入で層間相互作用を変調することにより、特異なグラフェン物性を発現させることが可能と考えられる。本研究では、グラフェン層間の輸送特性に着目し、ナノ炭素材料の層間挿入が与える効果を検討した。その結果観測された、グラフェン単体では見られない非線形電気特性や高次元性(異なる端子間での応答の違い)について報告する。

【実験】試料としては、1 cm×1 cmの熔融石英基板上に、交互滴下法によって酸化グラフェン(GO)分散液とND分散液を交互に滴下したものの、GO・ND混合分散液をスピコートしたもの、およびCu-CVDグラフェンをウェット転写法により積層させものの3種類を作製した。GO分散液(1w%)は改良Hammers法[3]により合成したものを使用した。ND分散液(1w%)は日本化薬社製のものをを用いた。GOを用いた試料はエタノール雰囲気下で1200 °C、1時間の熱還元処理を行い、GOをグラフェン化した。光学顕微鏡、原子間力顕微鏡(AFM)、ラマン分光法(励起波長532 nm)により試料の構造を評価した。電気特性は、Ti/Au電極を電子線蒸着で作製した試料において、2端子プローバーを用いて印加電圧-1 ~1 Vの範囲で測定した。

【結果と考察】AFM観察により、スペーサ材料であるナノダイヤモンドが基板上に均一に塗布されていることを確認した。熱処理後のGO薄膜がグラフェン化し、均一な薄膜状になっていることを光学顕微鏡とラマン分光法により検証した。典型的な電気特性評価結果をFig. 2に示す。Fig. 2(a)で①グラフェン/グラフェンと②グラフェン/ND/グラフェンのI-V特性を対比すると、NDを挿入した場合に同一バイアスでの電流値が低下していることに加えて、非線形特性が観測されていることがわかる。この試料のND密度は比較的高く、Fig. 1(b)のようにグラフェン間での直接的な接触はないものと想定される。そのため、ここで観測された非線形特性は挿入したNDによる効果と考えられる。試料は1200°Cの高温熱処理をしているため、NDは sp^3 から sp^2 へと変化して、カーボンナノオニオン構造となり、表面での伝導が可能となっている。今後、ND密度や輸送特性の温度依存性の解析から非線形性の起源について解析を進める。Fig. 2(b)はグラフェン/ND混合試料について、様々な端子間で観測されたI-V特性を対比したものである。I-V特性は測定端子の組み合わせごとに異なっており、一つの入力に対して多様な出力をうる高次元性を備えてことが確認できた。これは、グラフェンフレークとNDがランダムに配置され、伝導パスが多様化していることに起因すると推定される。スペーサ材料として平坦な絶縁物である六方晶窒化ホウ素(h-BN)や円筒状の半導体・金属であるCNT[4]を用いると、h-BNではトンネル接合、CNTでは半導体・金属障壁形成により多様な特性が得られると期待される。今回見出した非線形・高次元性特性は、スペーサ挿入した多層グラフェンが物理リザーバーを構成する材料としての有望であること示している[5]。

謝辞 本研究の一部は科研費の援助により実施した。ND分散液は日本化薬株式会社よりご提供いただいた。GO分散液は岡山大学 仁科勇太教授よりご提供いただいた。

参考文献 [1] M. Ding et al, Carbon 229, (2024) 119464. [2] 池田 他 2023応用物理学学会秋季学術講演会 19-P01-39. [3] N. Morimoto et al., Sci. Rep. 6, (2016) 21715. [4] M. Ding et al, J. Phys. Chem. C 127, (2023) 23768. [5] G. Tanaka et al., Neural Networks 115, (2019) 100.

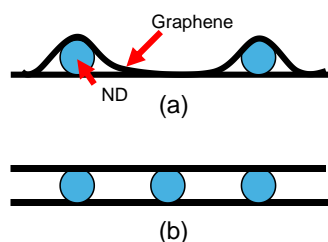


Fig. 1 Schematics of graphene/ND/graphene stacked structure. (a) Lower ND density: Upper graphene contacts with lower graphene. (b) Higher ND density: Upper graphene maintains suspended layer.

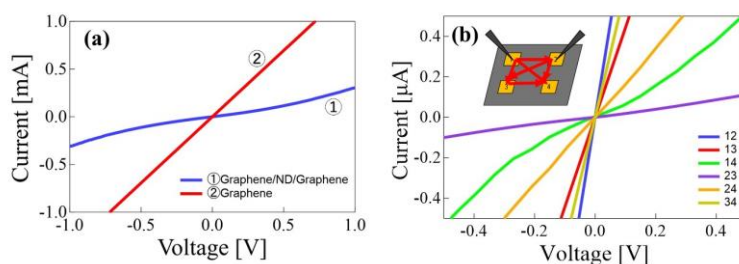


Fig. 2 (a) I-V characteristics observed from the samples of graphene/graphene and graphene/ND/graphene.

(b) Dependence of the I-V characteristics observed from various electrode combinations.