金属/Si 界面のフェルミレベルピンニング機構の理解に向けた 残渣フリーの大面積グラフェン転写

Residue-free large-area graphene transfer for understanding FLP mechanism at metal/Si interface 東大院工 ⁰西村 知紀, 中島 隆一, 張 益仁, 内山 晴貴, 長汐 晃輔

The Univ. of Tokyo, °T. Nishimura, R. Nakajima, Y.-R. Chang, H. Uchiyama and K. Nagashio E-mail: nishimura@material.t.u-tokyo.ac.jp

【背景】半導体デバイスの高性能化において寄生 抵抗低減の観点から金属/半導体界面に形成され るショットキー障壁の制御性が極めて重要とな るが, Siを含む多くの半導体ではその界面に生じ る Fermi-level pinning (FLP) により金属の仕事関 数による制御が困難であることが知られる. 故に この FLP メカニズムの理解とそれに基づいた制 御指針の構築が望まれるが, 未だ多くの議論がな されている.

我々は金属/Si 界面へのグラフェン層導入によ り FLP に関わる金属-Si 間での化学結合の形成や 金属堆積時の外因的欠陥生成等を切り分け,その メカニズムの理解をより深めたいと考えている. しかし高精度な電気特性評価を進める上で大面 積グラフェンが必要となる一方,一般的な PMMA 等の有機物支持材料を用いる大面積転写 手法はグラフェン上に残渣を生じ不要な界面層 を形成してしまう為用いることができない[1]. 今回は無機材料を支持材とした大面積グラフェ ン転写によりこれらの課題を克服し,FLP を議論 する上で不可欠なグラフェン層による金属の仕 事関数,及び一部金属のショットキー障壁高さの 変調について議論する.

【実験結果及び考察】SiO₂/Si 基板上へのグラフ エン転写を以下の手順により行った. CVD 成長 により Cu 薄膜上に成長したグラフェン上に, Au を真空蒸着により堆積した. 過硫酸アンモニウム 水溶液による Cu 薄膜の除去, 超純水によるリン スの後, Au/グラフェン積層膜を SiO₂/Si 基板上に 転写した. その後ヨウ素-ヨウ化カリウム溶液に より Au を, 真空中の熱処理にてグラフェン/基板 間に残る水分を除去した.転写後のグラフェンは 電気特性評価に十分な mm サイズであり,清浄表 面が確認された(Fig.1).

グラフェンを転写した SiO₂/Si 基板上にグラフ ェンに対して化学結合を形成しないと推測され る金属 (Mg,Al,Cu,Ag,Au)を抵抗加熱により蒸着 し, MOS キャパシタの容量測定におけるフラッ トバンド電圧に基づいて表面にグラフェン層を 有する金属の実効的な (SiO₂上の)仕事関数を調 べたところ, グラフェン層の存在により仕事関数 は一定の値に収束した (Fig.2). 収束の傾向やそ の強さは第一原理計算の結果[2]とも極めてよく 一致している.

更に HF 洗浄を行った Si 基板上にグラフェン を転写, Mg もしくは Au を蒸着し,金属/グラフ ェン/Si 界面のショットキー障壁高さを容量特性 より見積もった.仕事関数とショットキー障壁高 さの関係 (Fig. 3) から,グラフェン層により FLP が大幅に緩和した様にみえる.これは化学結合や 欠陥生成の抑制効果に加え,状態密度の小さいグ ラフェンにより MIGS が大幅に抑制されている 可能性を示している.

【結論】無機支持材料を用いて大面積且つ残渣フ リーのグラフェン転写を実現した.またグラフェ ン層を表面に持つ金属の仕事関数と金属/グラフ ェン/Si 界面のバンドアライメントにおいて大幅 な FLP の緩和が示唆された.

【謝辞】本研究は科研費及びJSPS「研究拠点形成事業(A.先端拠点形成型)」により助成を受け行われた.

【参考文献】[1] J. H. Park, et al., ACS App. Mater. Interfaces 13, 22828 (2021). [2] P. A. Khomyakov, et al., Phys. Rev. B 79, 195425 (2009).



Fig. 1 (a) Optical microscopy image of graphene sheet transferred on SiO₂/Si substrate. (b) Atomic force microscopy image of the transferred graphene surface.



