

非接触走査型非線形誘電率顕微鏡による 水素インターカレートされた 4H-SiC(0001) 上グラフェンの観察

Observation of hydrogen-intercalated graphene on 4H-SiC(0001)

by noncontact scanning nonlinear dielectric microscopy

東北大通研 ○山末 耕平, 吹留 博一, 船窪 一智, 末光 眞希, 長 康雄

Tohoku Univ. ○Kohei YAMASUE, Hirokazu FUKIDOME, Kazutoshi FUNAKUBO,

Maki SUEMITSU, and Yasuo CHO

E-mail: yamasue@riec.tohoku.ac.jp

SiC 基板表面を熱分解することで一様かつ大面積の単層グラフェンが基板の上に生成可能なことが知られている。しかしながら一方で、SiC 上のグラフェンはいわゆる freestanding グラフェンとは異なる性質を示し、 n 型化や電子移動度の低下が観測される。これらの電子的性質の違いから SiC / グラフェン界面の電荷状態に興味を持たれている。これまでの研究で、最表面の単層グラフェンと SiC 基板の間には、いわゆるバッファ層を生じることが明らかにされている。バッファ層はグラフェンに類似した構造を持つ一方で、部分的に基板と化学結合する。また、基板表面原子の一部は未結合手を持つと考えられている。これらの知見から、原子状水素で基板表面原子を終端することで、SiC 上のグラフェンを quasi-freestanding 化することが試みられている [1, 2]。本報告では、4H-SiC(0001) 上に生成されたグラフェンと基板界面に水素をインターカレーションした場合における界面の電荷状態を非接触走査型非線形誘電率顕微鏡 (NC-SNDM) と呼ばれる手法で調べた。NC-SNDM は試料の表面形状と双極子モーメントの分布をナノスケールで観察可能なプローブ顕微鏡であり、既に 4H-SiC(0001) 上グラフェンの原子スケール観察に成功している [3]。NC-SNDM は、STM と異なり、探針-試料間容量を測定することで分極や双極子モーメントなど電荷状態に起因するコントラストやそれらが内蔵する電位を得ることができる [4]。

観察は圧力 1×10^{-10} Torr 以下の超高真空中で行った。単層グラフェンは n 型 SiC(0001) を Ar 雰囲気下で加熱することで作製し、水素のインターカレーションは Ar で希釈した水素ガス中において、試料を 800°C で 10 分間加熱することで行った。図 1 に得られた NC-SNDM 像を示す。Pt-Ir 製の探針を用い、探針-試料間容量を変調するため、試料に $1.0 \text{ V}_{\text{pp}}$, 25 kHz の正弦波電圧を印加した。図 1(a)

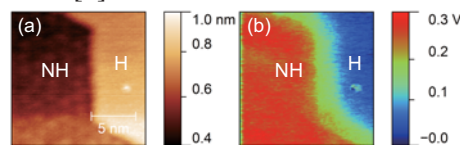


Fig. 1: NC-SNDM image of graphene on a partly hydrogen-intercalated 4H-SiC(0001). (a) topography (b) potential

の形状像では異なる特徴を持つ 2 つの領域がみられる。これは、水素のインターカレーションが部分的に進行した表面であることを示す。2 つの領域のうち一方 (図中 NH と記す) は、4H-SiC(0001) 上グラフェンに特徴的な $(6\sqrt{3} \times 6\sqrt{3})R30^\circ$ 構造に起因する超周期構造を持つ。したがって、これらの領域は、水素インターカレーションされていない領域と考えられる。一方、図中 H で示す領域は、上述の超周期構造に比較して平坦かつ約 0.17 nm 高く観測された。この差はグラフェンの層間距離と Si-C の結合距離の差にほぼ一致することから、これらの領域では、バッファ層と基板界面の Si-C 結合が水素インターカレーションにより切断され、結果として表面緩和が生じたものと考えられる。Fig. 1(b) に同時観察した電位像を示す。NH で示す領域では 0.3 V - 0.4 V の電位が観測された一方で、H 領域では電位が減少してほぼ 0 V となったことがわかる。これは、前者では界面の Si 原子が未終端であることを示す一方で、後者では水素終端によって界面が電氣的にほぼ中性になったことを示す。一方で、ほぼ中性化した平坦な領域の形状および電位分布を高分解能観察すると、わずかな形状の凹みやその近傍における電位上昇が認められた。これは、平坦化した領域においても、一部で終端化されない基板 Si 原子が残存していることを示唆している [2]。

謝辞 本研究の一部は科学研究費補助金 基盤研究 S (23226008) の補助を受けています。

参考文献

- [1] C. Riedl, C. Coletti, T. Iwasaki, A. A. Zakharov, and U. Starke, *Phys. Rev. Lett.* **103**, 246804 (2009).
- [2] F. Maeda, S. Tanabe, S. Isobe, and H. Hibino, *Phys. Rev. B* **88**, 085422 (2013).
- [3] 山末, 吹留, 船窪, 末光, 長, 2014 年第 61 回応用物理学会春季学術講演会 18p-E2-5 (2014).
- [4] 山末, 長, 2014 年第 61 回応用物理学会春季学術講演会 19p-D5-10 (2014).