

## 非接触走査型非線形誘電率顕微鏡による 4H-SiC(0001) 上グラフェンの高分解能観察

High resolution imaging of graphene on 4H-SiC(0001) using 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

近年, 高い電子移動度などの優れた電気的特性からグラフェンを電子デバイスに応用する研究が活発に行われている。グラフェンの製造法の一つとして, SiC の熱分解による方法が知られており, 一様かつ大面積の単層グラフェンが SiC ウェハ上に得られることから, 集積化されたグラフェンデバイス作製への応用が期待されている。一方で, SiC 上のグラフェンの電子的性質は, いわゆるバッファ層とその SiC 基板との界面の影響を強く受けることが知られている。特に, 界面状態に起因してグラフェンに n 型ドーピングを生じること [1] や移動度が理想的な場合に比較して低下すること [2] が指摘されている。これらの背景の下, SiC 基板上のグラフェンは走査型トンネル顕微鏡 (STM) を含め様々な実験手法を用いてこれまで研究されてきた。非接触走査型非線形誘電率顕微鏡 (NC-SNDM) は試料表面の形状および分極分布を実空間でナノスケール観察可能なプローブ顕微鏡である。NC-SNDM は, STM と異なり, 試料表面の非線形誘電率 ( $\epsilon_3, \epsilon_4, \dots$ ) を測定することで,  $\epsilon_4$  から形状像,  $\epsilon_3$  から双極子モーメント分布像あるいはそれに由来する表面電位像を同時観察できることが特徴である [3]。これまでに NC-SNDM を用いて Si(111)-(7×7) 清浄表面やその水素吸着過程, また HOPG などで原子双極子モーメント観察が可能なが示されている。また, 半導体デバイスのドーパント分布の可視化などにも用いられている。NC-SNDM により, SiC 基板上に作製されたグラフェンを観察することで, その界面状態や双極子を非接触かつ原子レベルで評価できる可能性がある。以下では, 4H-SiC(0001) 基板上に生成したグラフェンを NC-SNDM で観察した結果について報告する。

観察はベース圧力  $1 \times 10^{-10}$  Torr 以下の超高真空下で行った。グラフェンは基板を n 型 SiC(0001) とし, Ar 雰囲気下で加熱することで作製した。観察前に試料を通電加熱により, 約  $600^\circ\text{C}$  まで昇温して清浄化を行った。NC-SNDM では, 導電性探針と試料間に正弦波電圧を印加するとき生じる探針-試料表面間容量の非線形かつ時間周期的な応答を測定する。プローブとして GHz オーダで発振する LC 発振器を用い, 周波数変復調により非線形誘電率を同時かつ独立に得る。実験ではプローブとして Pt-Ir 探針を 1.7GHz で発振する LC 発振回路に取り付けたものを用いた。図 1 に得られた NC-SNDM 像を示す。探針-試料

間には  $1.5 \text{ V}_{pp}, 25 \text{ kHz}$  の正弦波電圧を印加した。図 1(a) に示す形状像ではグラフェンの六員環構造に加えて, バッファ層の  $(6\sqrt{3} \times 6\sqrt{3})R30^\circ$  構造に起因する長周期構造が観察された。図 1(b) に同時観察した表面電位分布を示す。像全体の平均では表面電位は約  $0.4 \text{ V}$  であった。これはグラフェンが n 型にドーピングされていることに起因すると考えられる。一方で空間的には一様ではなく, 長周期構造の明 (暗) 部に対応して表面電位が平均値より数  $10 \text{ mV}$  程度低 (高) くなる分布が得られた。また, より詳細にみると, グラフェンの六員環内部に局在するコントラストが表面電位像に存在する。グラフェン層は原子スケールで局在する双極子を持たないと考えられることから, これらのコントラストは界面の原子近傍の電荷分布の成す双極子を反映している可能性がある。したがって本結果は, NC-SNDM によりバッファ層と基板間の界面状態を原子レベルで評価できる可能性を示唆している。

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] T. Ohta *et al.*, Science **312**, 1191(2006). [2] Riedl *et al.*, Phys. Rev. Lett. **103**, 246804(2009). [3] K. Ohara and Y. Cho, Nanotechnology **16**, S54(2005).

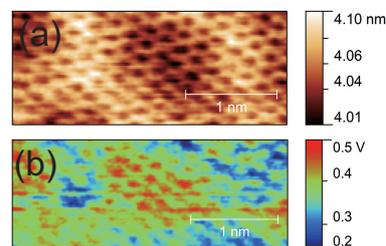


Fig. 1: NC-SNDM image of graphene on 4H-SiC(0001). (a) topography (b) surface potential