## 石英基板上 h-BN/2 層グラフェンヘテロ FET の容量計測

Capacitance measurement of *h*-BN encapsulated bilayer graphene on quartz substrate 東大<sup>1</sup>, KMITL<sup>2</sup>, NIMS<sup>3</sup>, JST-さきがけ<sup>4</sup>, 〇ウワンノー ティーラユット<sup>1,2</sup>, 谷口尚<sup>3</sup>, 渡邊賢司<sup>3</sup>, 長汐晃輔<sup>1,4</sup> Univ. of Tokyo<sup>1</sup>, KMITL<sup>2</sup>, NIMS<sup>3</sup>, PRESTO-JST<sup>4</sup> 〇T. Uwanno<sup>1,2</sup>, T. Taniguchi<sup>3</sup>, K. Watanabe<sup>3</sup> and, K. Nagashio<sup>1,4</sup> E-mail: uwanno@ncd.t.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言 2層グラフェン(BLG)のバンドギャップ(E<sub>G</sub>)は層間のポテンシャル差で形成されるため, SiO<sub>2</sub>表面の荷電不純物の面内不均一性がBLGにかかるポテンシャルに面内分布を与え*I*<sub>on</sub>/*I*<sub>off</sub>比が 低い原因となっていた. *h*-BN表面の電荷分布が少ないとはいえSiO<sub>2</sub>/*n*<sup>+</sup>-Si基板をバックゲートとし て使用する限り印加した電界がSiO<sub>2</sub>表面の電荷分布を引き継ぐことが予想できる. そこでグラフ ァイトバックゲートを*h*-BN/BLGへテロ構造に適応し,完全にSiO<sub>2</sub>/*n*<sup>+</sup>-Si基板から遮蔽することで *I*<sub>on</sub>/*I*<sub>off</sub>を5×10<sup>5</sup>@20 Kにまで向上することを報告してきた<sup>[1]</sup>. ここで,*E*<sub>G</sub>の定量評価のために容量 測定を行うことで,状態密度に起因した量子容量(*C*<sub>Q</sub>)を抽出することが可能である. しかしなが ら,ヘテロ構造では,チャネル面積が大きく制限されるため,*n*<sup>+</sup>-Si基板での容量測定においては, 浮遊容量と周波数依存性の問題により計測が困難であった. そこで,本研究では,グラファイト ゲート電極の使用により絶縁性基板の選択が可能となるため,石英基板上に2次元ヘテロ構造を作 製した. その結果,小さなトップゲート面積でも浮遊容量とトップゲート容量の周波数依存性が 大幅に低減し,量子容量計測によるバンドギャップの定量評価が可能となった.

2. 実験方法 所望のゲートスタック構造は、機械的剥離法と光学顕微鏡下での貼り合わせ機構を 駆使することで作製した<sup>[1]</sup>. *h*-BN/BLG/*h*-BN構造においてBLGは*h*-BNに覆われているため、*h*-BN との化学反応性の強いCF4プラズマにより*h*-BNを選択的エッチングし、EBリソによりNi/Au電極を 形成した(Fig. 1). 測定は真空中で20Kにおいて行った.

3. 結果及び考察 Fig. 2 に石英基板上デバイスの容量測定結果を示す.また Fig. 3 に 2 MHz で測定したトップゲート容量(Cox)で規格した各周波数での Cox を示す.SiO<sub>2</sub>/n<sup>+</sup>-Si 基板では表面にある金属電極配線と基板が平行平板のような振る舞いにより周波数依存性が生じると考えられるが、石英基板ではトップゲート容量の周波数依存性がほぼ消滅した.次に、量子容量解析から EG を見積もった.Fig. 4 に示すように量子容量解析から得られた値は IV 測定における Dirac point での電気伝導度の温度依存性から計算したのとほぼ一致した.これらは h-BN/BLG/h-BN 構造に対する第一原理計算結果に近い<sup>[4]</sup>.100 meV 程度の限定的な EG においても 5×10<sup>5</sup> の Ion/Ioff が得られているが、h-BN の誘電率が3程度と小さいことから、高電界の印加が課題である.h-BN 及びグラファイトゲート電極によりチャネル内のバンドギャップのチャネル内均一性が向上したが、ギャップ内の周波数依存性が未だ観察されたことは興味深い.高圧合成による h-BN の結晶性においては、不純物 C 置換によりグラフェンのフェルミエネルギー近傍に欠陥準位を作ることが報告されており<sup>[5]</sup>、今後のさらなる特性向上には h-BN の結晶性も含めた検討が必要となる可能性がある. 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.

[1] T. Uwanno, et al., SSDM 2016, 433. [2] K. Kanayama, et al., Sci. Rep. 5, (2015) 15789. [3] Y. Zhang, et al. Nature 459 (2009), 820. [4] A. Ramasubramanian, et al. Nanolett. 11 (2013), 1070. [5] D. Wong, et al. Nat Nano. 10 (2015), 949.



**Fig. 1** Optical image of the device.



0.4

**Fig. 2** Capacitance of gapped BLG measured at different frequency.



Fig. 3 Normalized  $C_{\rm ox}$ 

measured at different

frequency.

300

