

多層 hBN の大面積合成とグラフェン積層デバイスアレーへの応用 Large-area synthesis of multilayer hexagonal boron nitride and its application to stacked graphene device arrays

九大 GIC¹, 九大院総理工², 産総研³, 阪大産研⁴ ○深町 悟¹, Pablo Solís-Fernández¹,
河原 憲治¹, 田中 大地², 大竹 徹², Yung-Chang Lin³, 末永 和知⁴, 吾郷 浩樹¹
Kyushu Univ.^a, AIST^b, Osaka Univ.^c ○Satoru Fukamachi^a, Pablo Solís-Fernández^a,
Kenji Kawahara^a, Daichi Tanaka^a, Toru Otake^a, Yung-Chang Lin^b, Kazu Suenaga^c, Hiroki Ago^a
E-mail: h-ago@gic.kyushu-u.ac.jp

【背景】二次元絶縁体である六方晶窒化ホウ素 (hBN) は、グラフェンをはじめとした二次元材料のエレクトロニクス応用や物性探索に不可欠な材料となっている。単結晶 hBN からの剥離に代わって、CVD 法による大面積の hBN 合成が望まれているが、これまでの報告のほとんどが単層の hBN 膜であり、絶縁層やバリア層としては厚さが不十分である。一方、多層 hBN 膜を大面積で均一に合成することは難しく、多層 hBN を大面積のデバイスアレーに応用した報告はない。また、二次元材料のデバイスでは、転写時の不純物やリンクル、バブルなどの欠陥がデバイス特性の低下につながり、特に CVD 法による大面積膜では重要となる。我々は、二次元材料の研究開発には、大面積の多層 hBN の高品質合成が重要と考え、多層 hBN の CVD 合成を研究してきた [1,2]。今回、Fe-Ni の合金ホイルを用いることで大面積の多層 hBN を CVD 合成し (図 1)、同じく CVD 法で合成した単層グラフェンと積層転写して、キャリア移動度の顕著な向上効果を実現したので報告する [3]。

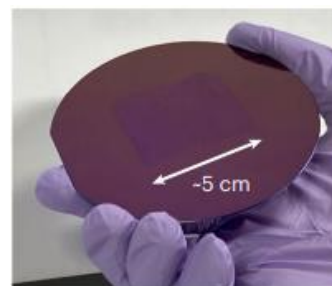


図 1 シリコンウェハーに転写した大面積の多層 hBN

【結果と考察】Fe-Ni の合金ホイルを触媒、ボラジン ($B_3N_3H_6$) を原料とした CVD 法により、厚さ 5 nm 程度の多層 hBN を cm スケールで合成した。この多層 hBN の絶縁基板としての特性評価のため、Cu(111)上に CVD 合成した単層グラフェンとのヘテロ積層を作製し、グラフェンのラマンと FET 測定を行った。ヘテロ積層の作製においては、電気化学的な転写法と、触媒を湿式エッチングする転写法を検討した。図 2 にグラフェン FET アレーの光学顕微鏡像とグラフェン FET のキャリア移動度の比較を示す。一般的なエッチング法 (図 2(b), 青) では転写時の残渣等によりグラフェンのキャリア移動度が低下したのに対し、電気化学転写 (赤) では明瞭な移動度の向上が見られた。さらに、電気化学転写法を用いてグラフェンを hBN でサンドイッチした構造 (緑) では、 SiO_2 のデバイス (灰) の倍以上の移動度が得られ、最大で $10,000 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ を超えるものも得られた。これまでも CVD 合成した多層 hBN を用いて、グラフェンの移動度向上を報告した論文はあるが、極めて清浄な小さな面積でデバイスを作っており、大面積のアレーで統計的に向上効果を見出した結果は初めてである。

本研究成果は、これまで難しかった大面積での多層 hBN 合成を可能にするものであり、様々な二次元材料と積層した 2.5 次元物質デバイスの応用を推進するものと期待できる。

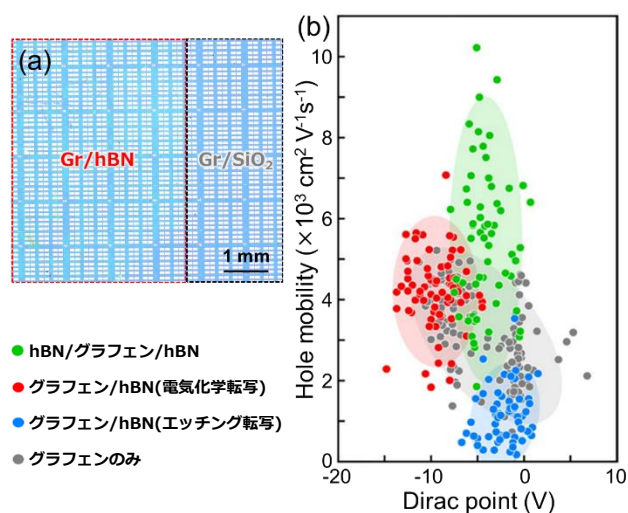


図 2 グラフェン FET アレーの光学顕微鏡写真(a)とキャリア移動度の比較(b)

[1] Y. Uchida et al., *ACS Nano*, **12**, 6236 (2018). [2] Y. Uchida et al., *Appl. Electron. Mater.*, **2**, 3270 (2020). [3] S. Fukamachi et al., *Nature Electron.*, **6**, 126 (2023).