

## ラマン分光法の裏面適用によるプロセス中のグラフェン膜質評価 In-situ observation of graphene crystallinity in the device process by the backside-Raman spectroscopy

東北大通研<sup>1</sup> ○関 宏信<sup>1</sup>, 田村 紘一<sup>1</sup>, 唐 超<sup>1</sup>, 吹留 博一<sup>1</sup>, 佐藤 昭<sup>1</sup>, 尾辻 泰一<sup>1</sup>  
RIEC, Tohoku Univ.<sup>1</sup> °Hironobu Seki<sup>1</sup>, Koichi Tamura<sup>1</sup>, Chao Tang<sup>1</sup>, Hirokazu Fukidome<sup>1</sup>, Akira Satou<sup>1</sup> and Taiichi Otsuji<sup>1</sup>

E-mail: hironobu.seki.r3 @dc.tohoku.ac.jp

我々は、デバイスプロセス過程におけるグラフェンの結晶性の評価方法として、SiC 基板上にエピタキシャル成長させた高品質グラフェン[1]に適用可能な基板裏面からのラマン分光計測法（裏面ラマン分光）を考案した。Fig1.(a)に裏面ラマン分光の模式図を示す。裏面ラマン分光では、グラフェン FET (GFET) におけるゲートスタックプロセスにレーザー照射条件が左右されることのない、安定した結晶性評価が可能となる。本稿では、GFET ゲートスタックプロセスに対する裏面ラマン分光の有効性を実証するとともに、裏面ラマン分光を用いたグラフェンゲートスタックプロセス選定の実験的考察について述べる。

まず、GFET を対象として、ゲートスタックプロセスの進行過程の都度にラマン分光によるグラフェン結晶品質評価を行った。従来の表面からのレーザー照射によるラマン分光では、グラフェン上に堆積される各種絶縁膜やレジスト膜等によってレーザー焦点距離が変動する。結果的に、グラフェンに安定して焦点を合わせることが困難であり、測定されたラマンスペクトルは再現性が乏しかった。次に、提案する裏面ラマン分光を適用し、グラフェンのラマンスペクトルピークを観察した。表面照射と比較して、裏面ラマン分光は SiC 基板の透明性を活かすことで焦点の調節が固定化できる。具体的には、大気と SiC 基板が接する面、SiC 基板とグラフェンが接する面の 2 段階屈折率の変化が生じ、2 段階目（グラフェン面）に焦点を合わせればよく、ゲートスタックプロセスには依存しない。結果的に、グラフェン由来の G, G' ピーク[2]の安定した観測に成功した。そこで、グラフェン上に Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PE-CVD), 及び Atomic Layer Deposition (ALD) の 2 種の装置を用いてゲート絶縁膜を形成し、裏面ラマン分光を適用してグラフェンの膜質評価を行った (Fig. 1(b)). PE-CVD を適用したサンプルでは、グラフェン特有の G, G' バンドのスペクトルがそれぞれ消滅、および大きく減衰しているのに対し、ALD を適用したサンプルでは両スペクトルはともに鋭く検出された。ALD はグラフェンへのダメージを抑制できることが確認できた。さらに、両ゲートスタックプロセスを用いた試作サンプルの電流電圧特性を比較した。PE-CVD では意図しないドーピングによりディラック電圧（電荷中性点）が大きく負方向へシフトしたのに対し、ALD ではその傾向が大きく抑止されることを確認した。以上、裏面ラマン分光法を考案しその有効性を実証するとともに、グラフェンへのダメージがゲートスタックプロセスにより大きく左右されることを確認した。裏面ラマン分光法は、グラフェンデバイスプロセス評価に有効な画期的ツールとして、グラフェンデバイスの高性能化に貢献することが期待される。

本研究は JSPS 科研費 #16H06361, #18H05331, #20K20349, #21H01380, NICT-B5G 委託研究 #01301, #05901 の助成を受けた。

参考文献 [1] H. Fukidome *et al.*, Appl. Phys. Lett. **101**, 041605 (2012).  
[2] R. Saito *et al.*, Phys. Rev. Lett. **88**, 027401 (2002).

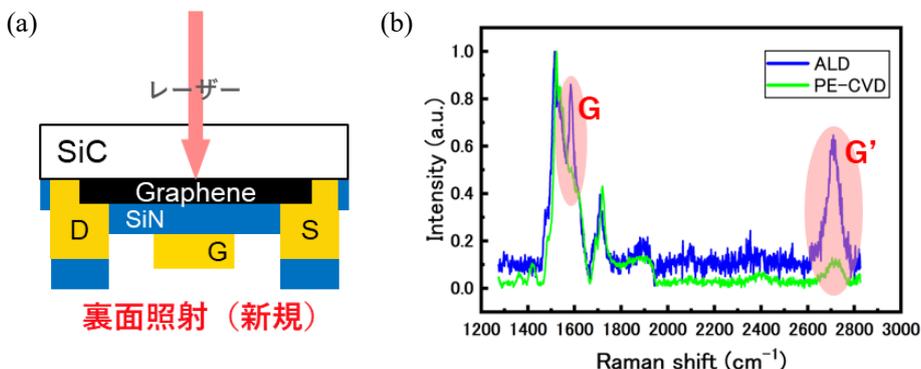


Fig.1 (a) Schematic image of the backside-Raman spectroscopy to a GFET (b) Comparison of the measured backside-Raman spectra for post-gate-stack-processed GFETs using the PE-CVD and the ALD.