水素プラズマエッチングによるグラフェンジグザグ端の作製

Fabrication of Graphene Zigzag Edges by Hydrogen Plasma Etching

アンリツ先端研[1]，東大物性研[2]

○松井 朋裕[1]，越智 太亮[1]，鎌田 雅博[1]，横澤 峻元[1]，向井 孝三[2]，吉信 淳[2]

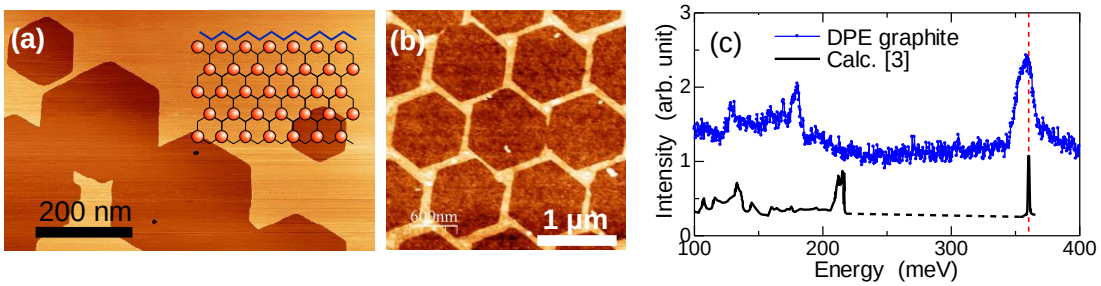
ARL Anritsu[1], ISSP UTokyo[2], ○Tomohiro Matsui[1], Taisuke Ochi[1], Masahiro Kamada[1], Takamoto Yokosawa[1], Kozo Mukai[2], Jun Yoshinobu[2]

E-mail: Tomohiro.Matsui@anritsu.com

グラフェンにはジグザグ(zz)型とアームチェア(ac)型という 2 種類の端構造があるが、それらは電子状態が大きく異なるので、端の影響が無視できないナノスケールデバイスでは端構造の制御が重要となる。加えて zz 端はフェルミエネルギーに局在状態をもち、zz 端で挟まれたグラフェンナノリボン(zGNR)では端でのスピン偏極も期待されるため、スピントロニクスなどへの応用が注目されている。一般に ac 端の方が化学的に安定であるためボトムアップ的な zz 端の合成は容易ではなく、トップダウン的な加工では端構造の制御は困難である。ところが最近、水素プラズマを用いたグラフェンやグラファイトのエッチング(HPE)では zz 端を優先的に作製できることが走査トンネル顕微/分光法(STM/S)により示された(図(a))[1]。こうして作製される zGNR では、スピン偏極を強く示唆する局所状態密度の観測にも成功している。この手法を応用することで、端が zz 型に制御されたグラフェン微細構造の作製も可能である(図(b))。ここで、理想的な zz 端は原子スケールで構造が整っていることに加えて、sp2 結合を維持するために端の炭素原子は水素原子ひとつで終端されている必要がある。HPE で得られる zz 端について、前者は STM/S による局所状態密度の観測より確認されているが[2]、後者の実験的検証はこれまでなかった。

本研究では高分解能電子エネルギー損失分光(HREELS)を用いて、HPE で作製された端の終端状態を調べた(図(c))。その結果、HPE で得られる端は水素原子ひとつで終端された理想的な zz 端であると同時に、作製後に大気中に取り出しても安定であることが分かった。講演では、グラフェン、グラファイトに対する HPE と、HREELS による終端状態の研究について紹介する。

[1] TM *et al.*, J. Phys. Chem. C **123**, 22665 (2019). [2] A.E.B. Amend, TM *et al.*, e-J. Surf. Sci. Nanotech. **16**, 72 (2018). [3] M. Vandescuren *et al.*, Phys. Rev. B **78**, 195401 (2008).



図(a)HPE したグラファイト表面の STM 像。zz 端で囲まれた六角形ナノピットが作製される。(b)ナノピットの位置を制御して HPE により加工したグラフェンの AFM 像。(c)重水素でプラズマエッチングしたグラファイト表面の HREELS スペクトルと、端が sp2 結合した zGNR に対する振動状態の理論計算[3]。sp2 結合した C-H 伸縮振動に対するエネルギー損失が 360 meV(赤点線)に得られている。

© 2021年 応用物理学会