

FEM/FIMによるグラフェンエッジの電子軌道の観察

Observation of Electronic Orbitals at Graphene Edges by FEM and FIM

豊田理研¹, 名大², 三重大² ○齋藤弥八¹, 星野 徹², 中原 仁², 安坂幸師²,
永井滋一³, 畑 浩一³

Toyota Phys. Chem. Res. Inst.¹, Nagoya Univ.², Mie Univ.³, °Yahachi Saito¹, Tohru Hoshino²,

Hitoshi Nakahara², Koji Asaka², Shigekazu Nagai³, Koichi Hata³

E-mail: ysaito@toyotariken.jp

グラフェンの端(エッジ)には特異な電子状態が局在し、zigzag 端ではスピン分極した電子バンドの出現が予測され、グラフェン端からの電界放出電子のスピン偏極度も測定されている[1]。また、グラフェンからの電界放出顕微鏡(FEM)像には、 π 電子軌道を反映した独特の“lip pattern”が観察される[2,3]。FEM と相補的な電界イオン顕微鏡(FIM)では、フェルミ準位より上の非占有 π 電子軌道が、高い分解能で観察できる。本報告では、グラフェン端からの FIM 像では、グラフェン面に垂直な方向に分裂した双極斑点(dipole spots)の列がより高い分解能で観察されることを示す。

グラフェンエミッタは、HOPG からの剥離あるいは酸化グラフェン (GO) の誘電泳動によりタングステン針先に付着させて作製した。Figs. 1(a)および(b)に、グラフェンの典型的な FEM および FIM 像をそれぞれ示す。FEM 像 (Fig. 1(a)) はグラフェン端に特有の“lip pattern”を示し、縞の列がグラフェン面に垂直方向に伸び、中央には暗い node (強度の弱い領域) が走っている。この FEM パターンは、グラフェン端において面の両側に広がる π 電子分布の広がり (lobe) に対応する。FIM には Ne を結像ガスに用いた。FIM 像 (Fig. 1(b)) には、グラフェン面に垂直方向に伸びた縞あるいは分裂した輝点の対(dipole spots)が並んでいる。縞あるいは dipole spots 列の間隔は、これまでの FEM 測定[3]から、炭素の原子間隔の程度と推定される。FIM においても、FEM と同様に node 線の両側で対称な鏡面对称性を示す像が観察される。グラフェン面の両側に伸びる dipole spots は、Ne の ionization disc がグラフェン端原子の直上ではなく、グラフェン面の両側に分離していることを示している。グラフェン FIM における dipole spots は、グラフェン端の非占有 π^* 軌道の空間分布を反映した像と考えられる。

謝辞

GO 試料は仁科勇太教授 (岡山大) から提

供を受けた。本研究は JSPS 科研費 18H01882 の助成を受けたものである。

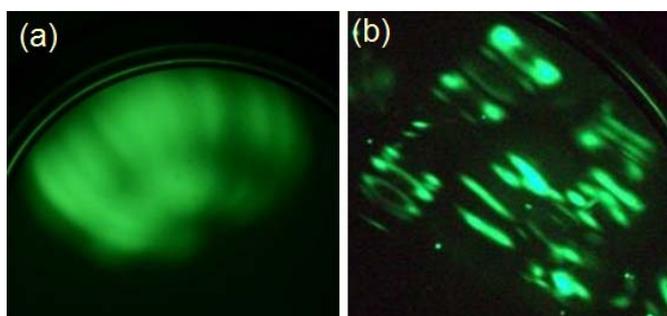


Fig. 1. (a) FEM and (b) FIM images of graphene.

[1] K. Kunoh, et al., Presented at ALC'19, 22p-AP-40, Oct. 20-25, 2019, Kyoto.

[2] K. Nakakubo, K. Asaka, H. Nakahara, Y. Saito, Appl. Phys. Exp. **5** (2012) 055101.

[3] N. Yokoyama et al., Surf. Interface Anal. **48** (2016) 1217.