カーボンナノチューブおよびグラフェンからの電界放出

Field Emission from Carbon Nanotube and Graphene

名大院工　齋藤 弥八
Nagoya Univ.,　Yahachi Saito
E-mail: ysaito@nagoya-u.jp

カーボンナノチューブ（CNT）やグラフェンは，電界エミッタとして，タングステンやモリブデン等の金属エミッタには無い興味深い特性を示す。例えば，先端部分の電界放出に与る価電子の分布や電子軌道を反映したパターンを示すほか，ときには，エミッタ表面に吸着した気体分子や金属クラスターの原子分解能の FEM(field emission microscope)像も現す[1,2]。ナノカーボンエミッタこのような特性は，π電子が電界放出を担い，またエミッタ先端が尖鋭である（nm オーダーの曲率半径）ことに由来する。さらに，CNT は，機械的な強度，表面の化学的な安定性，高い導電性，炭素原子の表面拡散が無いなど，電界エミッタとしての実用的なメリットを有することから，電界放出電子源への応用研究が行なわれてきた。この講演では，その応用の一つとして，CNT 電界エミッタを用いた卓上小型走査電子顕微鏡/X 線顕微鏡の開発[3]を紹介する。

カーボンは，ダイヤモンド，グラファイト，フラーレンなど様々な構造をとるが，これらの同素体とは別に，carbyne と呼ばれる実質的に無限長の直鎖の炭素同素体が，1 存在について，疑義も含めて議論されてきた。Carbyne はバルクとしての存在は，未確定であるが，2003 年と 2016 年にそれぞれアーク放電で作製された多層 CNT [3]と熱処理された二層 CNT の内部に発見された[4]。我々は，電界エミッタとして使用した後の単層 CNT の厚膜の中に，長尺炭素鎖を内包する CNT（Fig. 1）が大量に生成することを見出した[5]。この新しい長尺炭素鎖の生成方法と評価について紹介する。

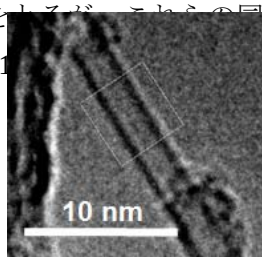

Fig. 1　TEM picture of a long linear carbon chain inside SWCNT

最後に，グラフェンの FEM による電子放出とスピン偏極度測定に関する最近の成果を紹介する。グラフェンからの FEM 像は，Fig. 2 に示すように，(1) グラフェン面に垂直の方向に伸びた輝線の列からなる，(2) それぞれの輝線の中央が暗くなっていて，パターンの中央を暗線が走っているように見え，この暗線に対してパターン全体が鏡面対称である，という特徴を示す。これらの特徴はグラフェン端におけるπ電子軌道の対称性により全て説明できる[2]。グラフェンの zigzag 端では電子スピンが強磁性的に揃っていると予測されている(Fig. 3)。グラフェン端から電界放出された電子のスピン偏極度が測定され，室温において最大で 25% の偏極度を持っていることが示された[7]。

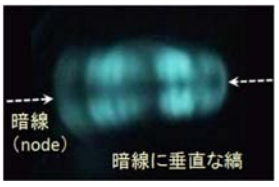

Fig. 2 Typical FEM image of graphene

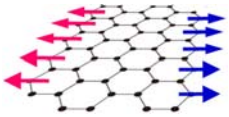

Fig. 3 Schematic of spin polarization at zigzag edges

[1] Y. Saito, Coord. Chem. Rev. **253** (2009) 2919.
[2] N. Yokoyama et al., Surf. Interface Anal. **48** (2016) 1217.
[3] M. Irita et al, Presented at ALC'17 (Dec. 3-8, 2017, Kauai, Hawaii).
[4] X. Zhao et al, Phys. Rev. Lett. **90** (2003) 187401.
[5] L. Shi et al., Nature Mater. **15** (2016) 634.
[6] S. Toma et al, Presented at ALC'17 (Dec. 3-8, 2017, Kauai, Hawaii).
[7] S. Nagai, H. Ikemizu, K. Kunoh, K. Hata, Y. Watanabe, T. Hoshino, M. Irita, H. Nakahara and Y. Saito, ibid.

© 2018年 応用物理学会