

X 線光電子分光によるイメージング **～放射光軟 X 線を活用したデバイス構造の顕微オペランド分析～** **X-ray photoelectron spectroscopy imaging ~ *operando* spectromicroscopy analysis in** **device structures using synchrotron soft X-rays**

物材機構¹, JST さきがけ², 東京理科大³ ○永村 直佳^{1,2,3}

NIMS¹, JST PRESTO², Tokyo Univ. of Science³ ○Naoka Nagamura^{1,2,3}

E-mail: NAGAMURA.Naoka@nims.go.jp

半導体素子から電池、触媒に至るまで、あらゆるデバイスは電荷移動を伴って機能動作する。昨今微細化が進むデバイス構造において、特に異種接合界面や欠陥近傍、粒界の存在に起因する空間的不均一性が特性に大きく寄与することから、電荷移動の空間イメージングは材料・デバイス設計にあたって強力な情報たり得る。

そこで我々は、試料にバイアス電場を印加しつつ高い空間分解能(面内で ~ 70 nm)で光電子分光のマッピング計測が可能な放射光軟 X 線走査型オペランド顕微分光装置”3D nano-ESCA”[1,2](Fig.1)を開発し、トランジスタやリチウムイオン電池など、様々なデバイス構造内における構成材料の電荷移動空間イメージングを明らかにしてきた。

Fig.2(a)は剥離単層グラフェンをチャネルとした電界効果トランジスタ(FET)構造の模式図である。このグラフェン FET 構造において、C 1s、Si 2p、O 1sの内殻光電子スペクトルのマッピングを3D nano-ESCAで観測した。グラフェンチャネルと金属電極の接合部近傍で面内方向にラインスキャンを行い、得られた C 1s スペクトルのピーク binding energy の空間分布を Fig.2(b)に示す。グラフェンと基板の界面状態によって挙動が異なり、 p^+ -Si(100)/SiO₂(90 nm)基板を親水処理して使用した場合には、金属電極からグラフェンへのホールドープに伴うバンドベンディングが 500 nm 程度にわたって存在することが可視化された[3]。

当日は、3D nano-ESCA の装置構成をはじめ、グラフェン FET の他にも原子層ヘテロ積層構造やリチウムイオン電池電極活物質微結晶など、実際の分析事例を紹介し、話題提供としたい。また、計測インフォマティクスを取り入れたスペクトルマッピングビッグデータの効率的な解析法[4]についても触れる。

[1] K. Horiba *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **82** 113701 (2011). [2] 永村直佳 他 表面科学 **37** 25 (2016).

[3] N. Nagamura *et al.* Carbon **152** 680 (2019). [4] 永村直佳 他 表面と真空 **64** 382 (2021).

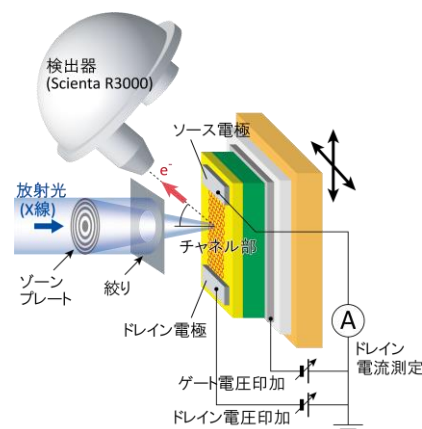


Fig.1. Schematic image of the 3D nano-ESCA system.

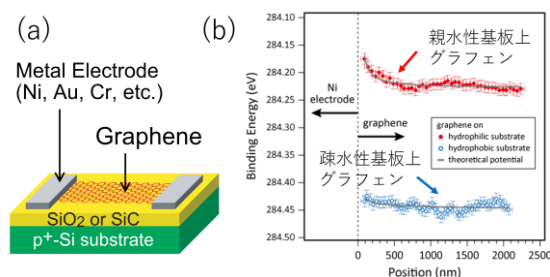


Fig.2. (a) Schematic image of GFET. (b) Spatial distribution of the peak energy of C 1s core level spectra. We measured 2 samples.