

ナノ集光・オペランド・機械学習などの組合せで十分なのか？

吹留 博一^{1,*}

¹東北大学電気通信研究所

Hirokazu Fukidome¹

¹Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

*fukidome@riec.tohoku.ac.jp

次世代放射光は、基礎研究成果に基づく産学連携を通じた社会貢献が求められている。そのターゲットの一つが、ナノ集光された高輝度放射光を用いたオペランド X 線分光の次世代デバイス研究開発への応用である。デバイスの活性層の極小化にともない、それを取りまく界面や寄生領域の影響をナノスケールで制御する必要があるのが、その理由である。

我々は、動作しているデバイスの微視的な電子状態を調べることを目的とした、オペランド顕微 X 線分光 (o-SXS) の研究を進めている。我々の o-SXS は、二つに大別される。一つは、SPRING-8 BL17SU および BL25SU に設置されている PEEM を用いた元素吸収端でのオペランド・ナノ X 線吸収分光[1, 2]、もう一つは、BL07LSU に設置されている 3D nano-ESCA をもちいたオペランド・ナノ X 線光電子分光である [3, 4]。

我々の研究におけるターゲットは、グラフェンをはじめとする二次元原子薄膜を用いたデバイス[1-3]や GaN-HEMT[4]である。前者は、長期的視野に立ったものであり、また、その極限的な薄さから表面科学の観点から標準試料である。後者に関しては、短中期的視野に立つものであり、二次元的な量子効果を用いたデバイスという観点からのモデル試料である。双方の試料に関し、オペランド顕微 X 線分光はデバイス物理および実用化に関わる有益な情報を提供している。尾嶋先生にも御参画いただいた住友電工との NEDO 産官学連携プロジェクトや、総務省管轄の産官学プロジェクトにおいて、オペランド顕微 X 線分光は重要な役割を果たしている。

以上の研究は、DC 電圧下に限られていた。しかし、これでは、デバイス物理の真の理解につながらない場合がある。BL25SU において、時空間分解オペランド X 線分光に取り組んでおり、DC 電圧下と非 DC 電圧下では、表面準位の時空間的挙動が大きく異なることが明らかになりつつある。SPRING-8 では軟 X 線領域の輝度が不十分であるため時空間分解研究は困難となる場合があるが、次世代放射光の高輝度化はこの課題は解決する。

しかし、解決されたとしてそれで十分なのかという疑問が生じる。分光技術の多様化・高度化、ナノ集光技術の高度化や、機械学習などによる解析の高度化、で充分なのだろうか？

(軟) X 線分光、特に、光電子分光の弱点「深い所を調べられない」を克服すること無しには、X 線分光がデバイス研究開発に真に役立つものとなることは難しい。この弱点を克服するヒントが最近の我々の GaN-HEMT 研究にあったことに私は気付いた。縦方向の電荷中性条件が成立する系においては精密ナノデバイス技術との融合により、深い箇所にある数十 nm の厚さ程度の領域の情報を選択的に得られるのではないかと推論している。現在、この方向性に沿った実験を BL07LSU にて進めさせていただいているところです。

本研究は、尾嶋先生、小嗣先生、大河内博士、永村博士、住友電工との共同研究である。本研究は、科研費（基盤研究(B)や(S)など）、NEDO 国プロや総務省 SCOPE などの助成を受けた。

参考文献

- [1] Fukidome et al., *Sci. Rep.* **4**, 3713 (2014).
- [2] G. Kamta, *Phys. Stat. Solid.*, *accepted*.
- [3] H. Fukidome et al., *APEX*, **7**, 065101 (2017).
- [4] K. Omika et al., *Sci. Rep.* **8**, 13268 (2014).