

光電子ホログラフィーの原子層科学への応用

奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科 松井文彦

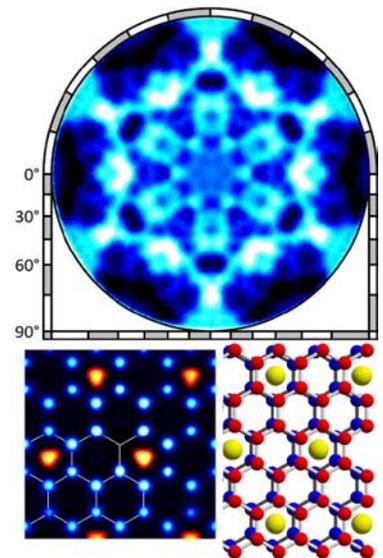
Photoelectron Holography: Application to the Science of Atomic Layers

Graduate School of Materials Science, Nara Institute of Science and Technology F. Matsui

グラフェンの登場を契機に拓かれた原子層科学の展開として、2層グラフェンの超伝導観測^[1]や100 Kを超える超伝導転移点を示す SrTiO₃ 上の FeSe 単ユニット層^[2]の報告がある。しかし従来の X 線回折法や顕微法ではこうした系の表面 3 次元構造を調べるのは困難であった。実際、これまで格子不整合や表面吸着に起因する表面・界面特有の超伝導発現がよく観測されてきたが、再現性や構造評価法の未整備のために見捨てられてきた例も多い。

内殻準位から放出される光電子の角度分布には励起原子の周囲の局所構造の情報が回折模様として記録されている。前方収束ピークや回折リングは励起原子からの光電子の波と隣接の原子で散乱された波との干渉によって生じる。回折リングの開き角は原子間距離が長くなるにつれ小さくなる。こうした関係を基に光電回折模様をフィッティングすると、励起原子の周囲の 3 次元原子配列再構成できる^[3]。光電子回折は、元素選択的・表面敏感という特徴に加え、配向試料であれば合金やドーパント、界面やステップなど非周期的なナノ構造を対象にできる長所があり、こうした「端部の超伝導体」を俎上に載せ、局所構造の解析を行うことができる。

本講演では光電子ホログラフィーの応用として黒鉛層間化合物表面の構造解析^[4]について紹介する。黒鉛に K や Ca を挿入するとそれぞれ約 0.14 K (KC₈)^[5]、11.5 K (CaC₆)^[6]で超伝導状態になる。K・Ca 合金の場合、組成によって超伝導転移温度が連続的に変化する^[7]。興味深いのは、少量の Ca の添加で転移温度が大幅に上昇する点である。本研究では Ca70% の Ca-K 合金を用いて試料を作製した。上図に C 1s の光電子角度分布を示した。C 1s には黒鉛の蜂の巣格子に由来する回折リングが現れている。下図はホログラフィー変換により得た実空間の原子配列像である。上下の炭素 6 員環の中央に位置するカリウム原子が 2×2 の長周期構造を形成している様子が再生できた。



[1] K. Kanetani, et al. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **109** (2012) 19610-19613. [2] J.-F. Ge, et al. *Nature Materials* **14** (2015) 285-289. [3] T. Matsushita, et al. *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **178-179** (2010) 195. [4] F. Matsui, et al. *Scientific Reports* **6** (2016) 36258. [5] N. B. Hannay, et al. *Phys. Rev. Lett.* **14** (1965) 225-226. [6] N. Emery, et al. *Phys. Rev. Lett.* **95** (2005) 087003. [7] H. L. T. Nguyen, et al. *Carbon* **100** (2016) 641-646.

[謝辞] 本研究は貴重な試料を作製いただいている岡山大学の久保園教授のグループとの協同研究の成果である。光電子ホログラフィーは奈良先端大の大門寛教授および高輝度光科学研究センター(JASRI/SPring-8)の松下智裕博士と共同で SPring-8 軟 X 線ビームライン 2D-PES 実験ステーションにて進めてきたものである。実験に際しては SPring-8 の室隆桂之、中村哲也両博士から支援を得た。理論的なサポートを NIMS 濱田幾太郎博士、阪大森川良忠教授・濱本雄治博士から得た。この場をお借りして御礼申し上げます。