

# 硬 X 線光電子分光: ARPES, MCD, XSW

上田茂典

物質・材料研究機構 (NIMS)

硬 X 線光電子分光(HAXPES)を用いた材料研究は、金属、半導体、磁性体、超伝導体、触媒材料、強相関電子系、多層膜構造、デバイス構造など多岐にわたる。NIMS 専用ビームライン BL15XU/SPring-8 では、2006 年より多様な物質・材料に対して HAXPES 測定を推進してきた[1]。HAXPES は従来の光電子分光に比べて検出深度が深いバルクのバンド分散測定に対して大きく期待されていたが、実際には、ごく限られた材料に対してのみバンド分散測定が可能である。図 1 に世界初となった W(110)の硬 X 線角度分解光電子分光(HARPES)の結果を示す[2]。Debye-Waller 因子の影響のため、300 K ではバンド分散は観測されないが、30 K での測定では、データ補正後に明瞭なバンド分散が観測されている。Debye-Waller 因子が 0.5 となる励起光エネルギーを各元素について求めた結果、殆どの元素に対して 3 keV 程度の励起光であれば、バンド分散を測定できることが分かっている[3]。実際に幾つかの元素に対して実験を行った結果、予測と一致する結果が得られている。これまでに得られた硬 X 線を用いたバンド分散測定の実施例と、今後の ARPES で応用上重要と思われる研究について、軟 X 線および硬 X 線での ARPES の理論計算の結果[4]を示し、その可能性について検討する。

硬 X 線領域では、ダイヤモンド移相子を用いることで比較的容易に偏光を制御することができる。Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 薄膜に対して行われた Fe 2p 内殻 HAXPES における磁気円二色性(MCD)[5]とクラスターモデルによる解析結果を、X 線吸収における MCD と比較、検討する。また、X 線定在波と HAXPES を組み合わせた、深さ方向および元素選択的な構造解析[6]の例についても紹介する。

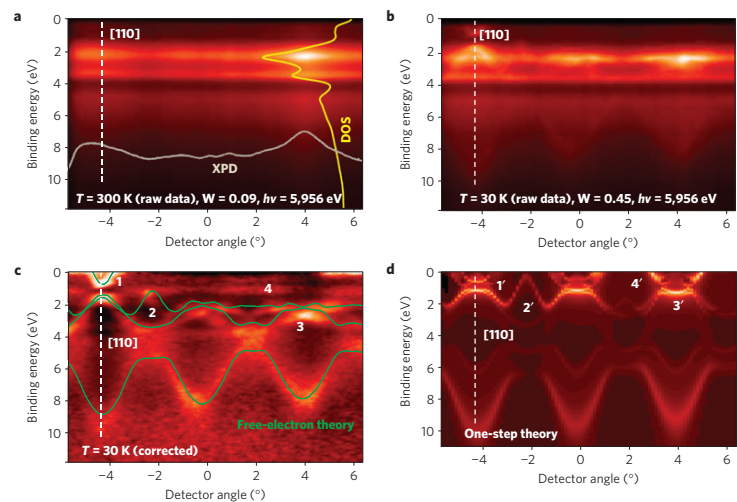


図1 W(110)の HARPES (6 keV)。(a) 300 K の生データ,(b) 30 K の生データ,(c) 30 K のデータに補正をかけた結果,(d) One-step model による理論計算の結果[2]。

## References

- [1] S. Ueda *et al.*, J. Electron Spectrosc. Rel. Phenom. **190** (2013) 235, and references therein.
- [2] A. X. Gray *et al.*, Nature Materials **10** (2011) 759.
- [3] C. S. Fadley, “Hard X-ray Photoemission: An Over View and Future Perspective” in *Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy (HAXPES)*, ed. by J. C. Woicik, Springer Series in Surface Science, Springer International Publishing Switzerland (2016).
- [4] J. Minar *et al.*, J. Electron Spectrosc. Rel. Phenom. **184** (2008) 91.
- [5] S. Ueda *et al.*, Appl. Phys. Express **1** (2008) 077003.
- [6] A. X. Gray *et al.*, Phys. Rev. B **83** (2010) 205116.