

in situ ARPES によるアナターゼ薄膜表面の新奇 2 次元電子状態観測

湯川 龍

高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所

酸化物半導体表面に形成される 2 次元電子状態 (2DES) においては、ドーパ量に依存しないサブバンド構造の形成[1]や、軌道選択的量子化[1, 2]、さらに巨大スピン分裂[3]などの特異な電子状態を示すことが報告され、新たな量子物性探索の場として注目が集まっている。将来の低次元量子デバイスの開発に向けて、このような 2DES の物性を明らかにすることが非常に重要である。近年、アナターゼ型酸化チタン ($a\text{-TiO}_2$) の (001) 表面において、光照射による金属状態の形成が角度分解光電子分光 (ARPES) 法を用いた研究で報告された[4]。しかしながら、この光照射による $a\text{-TiO}_2$ 表面の金属状態においては、実験によって次元性の異なる振る舞いが報告されている[4, 5]。

$a\text{-TiO}_2$ 表面に形成される 2DES の本質を明らかにするためには、よく定義された量子化状態の形成が必要不可欠である。そこで我々は、表面にのみ電子ドーパ可能な K 吸着法に注目して、KEK-PF BL-2A MUSASHI ビームラインに設置した「*in situ* 角度分解光電子分光-レーザー-MBE 複合装置」を用いた研究を進めている。本複合装置は、酸化物の表面・界面電子状態研究を目的として建設・改良され、レーザー-MBE で作製した高品質酸化物表面に、試料準備槽において K 吸着法により表面電子ドーパを行い、その電子状態の変化を ARPES 法で捉えるといった一連の実験を *in situ* で行えるという特長がある。また、本ビームラインでは 2 台の異なるアンジュレーター挿入光源を利用することで、真空紫外光領域 (30-300 eV: 垂直・水平・右円・左円偏光切り替え可能) と軟 X 線 (250-2000 eV) 領域の光を高分解能・高強度を保ちながら使用できる。そのため、軟 X 線を用いた共鳴光電子分光や内殻準位の測定と ARPES によるバンド構造の決定とを、同一試料表面上で行うことが可能である。

本装置を用いて得られた K 吸着前後の $a\text{-TiO}_2$ 表面の ARPES 結果を図 1 (a) に示す。K 吸着により金属状態の Fermi 波数が増大することから、K 吸着により $a\text{-TiO}_2$ 表面へ電子がドーパされることが確認された。また、この金属状態では明確な量子化準位が見て取れる。これらのことから、K 吸着により 2 次元的な金属状態が形成され、その 2 次元状態密度 (n_{2D}) を制御可能であることが分かった[図 1 (b)]。さらに、詳細なスペクトル解析の結果、この 2DES は電子ドーパによりポーラン状態から Fermi 液体状態へと転移することが明らかになった。

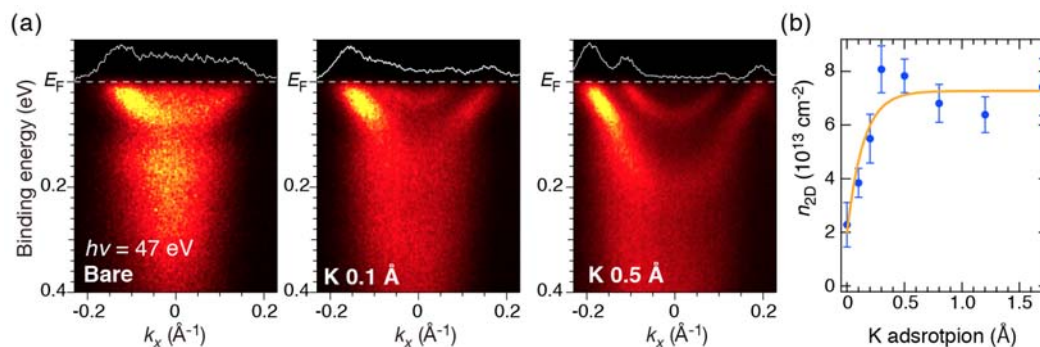


図 1 (a) K 吸着における $a\text{-TiO}_2$ (001) 表面の ARPES イメージと (b) 2 次元状態密度の変化。

- [1] A. F. Santander-Syro *et al.*, Nature **469**, 189 (2011).
- [2] P. D. C. King *et al.*, Nat. Commun. **5**, 3414 (2014).
- [3] A. F. Santander-Syro *et al.*, Nat. Mater. **13**, 1085 (2014).
- [4] T. C. Rödel *et al.*, Phys. Rev. B **92**, 41106 (2015).
- [5] S. Moser *et al.*, Phys. Rev. Lett. **110**, 196403 (2013).