

## 周波数変調方式原子間力顕微鏡を用いた TiO<sub>2</sub> 表面原子分解能観察

大阪大学大学院基礎工学研究科 阿部 真之  
東京大学大学院新領域創成科学研究科 杉本 宜昭  
大阪大学大学院工学研究科 森田 清三

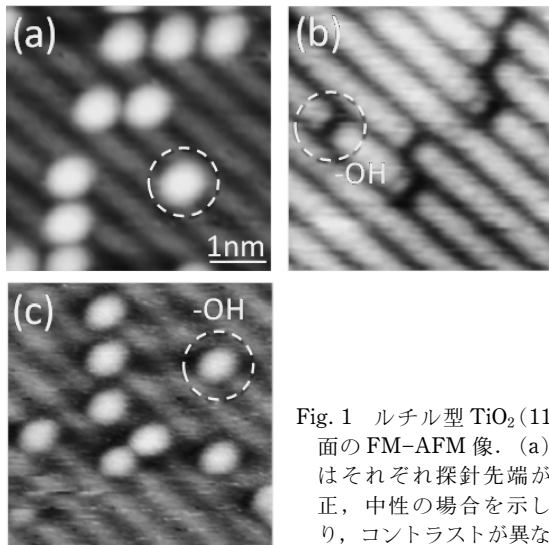


Fig. 1 ルチル型 TiO<sub>2</sub>(110) 表面の FM-AFM 像。(a)-(c) はそれぞれ探針先端が負、正、中性の場合を示しており、コントラストが異なる。

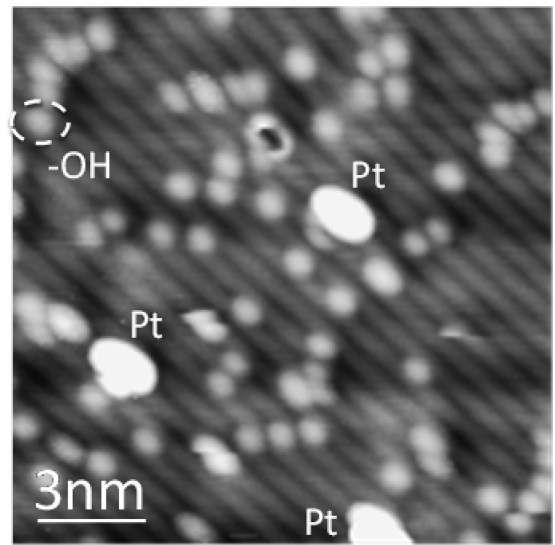


Fig. 2 Pt を蒸着したルチル型 TiO<sub>2</sub>(110) 表面の FM-AFM 像。

周波数変調方式原子間力顕微鏡(Frequency Modulation Atomic Force Microscopy; FM-AFM)は、試料表面を原子分解能で画像化できる顕微鏡である。画像化には先鋭な針(探針)を用い、走査型プローブ顕微鏡(Scanning Probe Microscopy; STM)の一形態である。原子を見ることが出来る SPM としては走査型トンネル顕微鏡(Scanning Tunneling Microscopy; STM)がある。STM と FM-AFM との違いは、STM 試料表面の電子状態を反映した画像が得られることに対して、FM-AFM では表面構造(凹凸)に対応する画像が得られると現時点では解釈されているが、分子間の結合を見ることが出来るなどの報告例<sup>(1)</sup>もあり、画像化機構に関してはまだわかっていないこともある。同じ試料表面を観察する場合でも、探針先端の原子種の違いによって画像コントラストが変わることがわかって<sup>(2)</sup>いる。**Fig. 1** はルチル型 TiO<sub>2</sub>(110) 表面において、探針先端原子が異なる場合の FM-AFM 画像を示している<sup>(3)</sup>。**Fig. 1(a)** は探針先端が電気的に負の状態であり Ti 原子が明るい原子列として画像化されている。また、明るい点 OH 基である。探針先端が電気的に正の状態(**Fig. 1(b)**)では、逆に酸素列が画像化されており、また OH 基は暗い点として画像化されている。探針が電気的に中性の状態では、酸素列と OH 基が明るく画像化されている。**Fig. 1(c)** は探針先端が電気的に中性の場合の画像であり、明るい列は表面の酸素列であり、明るい点は OH 基が画像化されている。これは実際の凹凸に近い画像が得られているものと思われる。**Fig. 2** はルチル型 TiO<sub>2</sub>(110) 表面に Pt 原子を少量蒸着したときの FM-AFM 画像である。図中の“Pt”は Pt 原子 1 つであるが、大きく画像化されていることがわかる。これは第一原理計算によると、障壁が低い準安定サイトを Pt 原子が動き回っているため、見かけ上大きく見えているとされている。**Fig. 3** はアナターゼ型 TiO<sub>2</sub>(001) 表面の FM-AFM 像である。アナターゼ型 TiO<sub>2</sub> はルチル型 TiO<sub>2</sub> よりも活性であると言われているが、単結晶の試料を手に入れることが難しいため研究が遅れてい

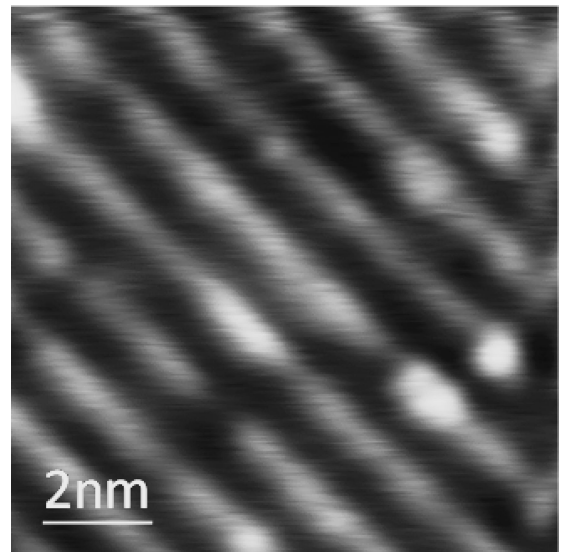


Fig. 3 アナターゼ型 TiO<sub>2</sub>(001) 表面の FM-AFM 像。

た。我々のグループではパルスレーザー堆積法(Pulse Laser Deposition; PLD)と FM-AFM/STM を組み合わせて金属酸化物基板上に堆積したアナターゼ型 TiO<sub>2</sub> の原子分解能観察をできる装置を開発した。このように、現在では様々な機能性材料の表面構造を原子レベルで観察することが可能となった。

### 文 献

- (1) L. Gross, *et al.*: Science, **325** (2009), 1110.
- (2) A. Yurtsever, *et al.*: Nanotechnology, **21** (2010), 165702.
- (3) D. Fernandez-Torre, *et al.*: Phys. Rev. B, **91** (2015), 075401.  
(2016年7月25日受理) [doi:10.2320/materia.55.580]

Atomic Resolution Imaging of TiO<sub>2</sub> Surface by Frequency Modulation Atomic Force Microscopy; Masayuki Abe\*, Yoshiaki Sugimoto\*\* and Seizo Morita\*\*\* (\*Graduate School of Science Engineering, Osaka University, Osaka. \*\*Department of Advanced Materials Science, Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, Chiba. \*\*\*Graduate School of Engineering, Osaka University, Osaka)

Keywords: frequency modulation atomic force microscopy, FM-AFM (frequency modulation atomic force microscope), TiO<sub>2</sub>, atomic resolution