

高速 3D-SFM によるカルサイト／水界面における水和構造の高速観察

High-speed 3D-SFM imaging of hydration structure formed at calcite/water interfaces

金沢大¹, Aalto 大², ACT-C³ ○宮田 一輝¹, John Tracey², Adam S. Foster^{1,2}, 福岡 剛士¹⁻³

Kanazawa Univ.¹, Aalto Univ.², ACT-C³,

○Kazuki Miyata¹, John Tracey², Adam S. Foster^{1,2}, Takeshi Fukuma¹⁻³

E-mail: k-miyata@staff.kanazawa-u.ac.jp

固液界面で生じる様々な現象には水和が関与していることが知られている。これらの現象のメカニズムを詳細に理解するために、水和構造が変化する様子を直接観察できる技術が望まれている。近年、周波数変調原子間力顕微鏡 (FM-AFM) 技術の進歩により、液中において真の原子分解能観察が可能となった。しかしながら、従来の FM-AFM は 2D の凹凸像しか取得できず、垂直方向に分布を持つ構造や物性の分布の計測が困難であった。そこで我々は、探針を水平方向だけでなく垂直方向にも走査しつつ、そのときに探針が受ける力を 3D で記録する三次元走査型力顕微鏡 (3D-SFM) を開発した。これにより得られた 3D 力分布は、固液界面における水和構造の情報をサブナノメートルスケールで反映している。しかしながら、この 3D-SFM のイメージ取得速度は 1 分／イメージ程度であり、結晶の成長や溶解などの界面現象によって生じる水和構造のダイナミックな変化を捉えることは難しかった。

本研究では、3D-SFM とこれまでに我々が開発してきた高速 FM-AFM を組み合わせることによって、高速原子分解能 3D-SFM を開発した。この高速 FM-AFM を用いることによって、これまでに純水中におけるカルサイト結晶溶解過程を 1 s/frame で原子分解能観察することに成功している。この技術を 3D-SFM と組み合わせるために、高速 FM-AFM で用いている FPGA に対して Z 信号に対する変調信号加算機能とデータ収録機能を実装した (Fig. 1)。開発した装置により、我々はカルサイトとその飽和溶液との界面において従来より 10 倍高速な 5 秒／3D イメージでの 3D-SFM 観察を達成した (Fig. 2)。このように高速な観察速度にもかかわらず、サブナノメートルスケールの水和構造が明瞭に観察されていることがわかる。我々はこれまでに、カルサイト溶解過程の高速 FM-AFM 観察を行い、ステップエッジ近傍に幅数 nm の遷移領域が溶解過程の中間状態として形成されることを明らかにしてきた。今後は、ステップエッジ近傍の水和構造の動的変化を高速 3D-SFM で捉えることで、遷移領域の構造や結晶溶解機構の原子レベルでの理解を目指す。

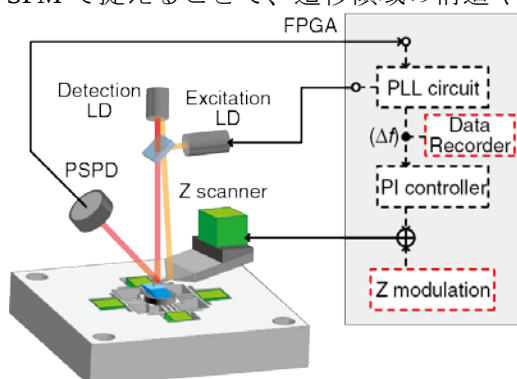


Fig. 1: Setup for high-speed 3D-SFM. Z modulation and data recording functions were implemented in the same FPGA chip used for high-speed FM-AFM.

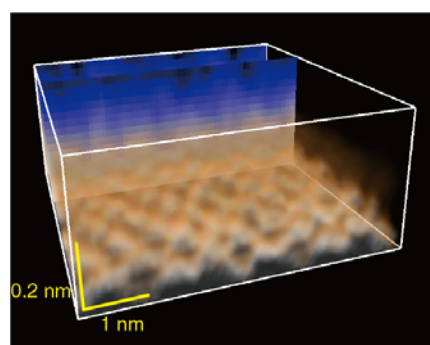


Fig. 2: 3D-SFM image of an interface between calcite and its supersaturated solution. ($5 \times 5 \times 1.5 \text{ nm}^3$, $100 \times 100 \times 128 \text{ pix}^3$, 5 sec per 3D image)