

## Ge 試料表面構造の XANAM 像の取得

### XANAM imaging of surface structures on Ge sample surfaces

名大院工<sup>1</sup>、北大触媒研<sup>2</sup>、ICU<sup>3</sup>、KEK-PF<sup>4</sup>

○鈴木秀士<sup>1</sup>、向井慎吾<sup>2</sup>、田旺帝<sup>3</sup>、野村昌治<sup>4</sup>、藤森 俊太郎<sup>1</sup>、池田 弥央<sup>1</sup>、  
牧原 克典<sup>1</sup>、宮崎 誠一<sup>1</sup>、朝倉清高<sup>2</sup>

Nagoya Univ.<sup>1</sup>、Hokkaido Univ.<sup>2</sup>、ICU<sup>3</sup>、KEK-PF<sup>4</sup>

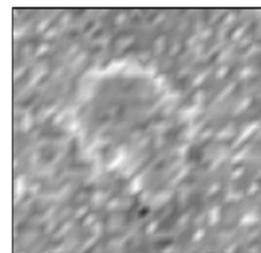
°Shushi Suzuki<sup>1</sup>、Shingo Mukai<sup>2</sup>、Wang-Jae Chun<sup>3</sup>、Masaharu Nomura<sup>4</sup>、Syuntarou FUJIMORI<sup>1</sup>、  
Mitsuhisa IKEDA<sup>1</sup>、Katsunori MAKIHARA<sup>1</sup>、Seiichi MIYAZAKI<sup>1</sup>、Kiyotaka Asakura<sup>2</sup>

E-mail: shushi@chembio.nagoya-u.ac.jp

表面／界面のナノ構造の元素分布情報を得る手法として、我々は「X 線支援原子間力顕微鏡 (XANAM)」を開発してきた。これは非接触原子間力顕微鏡 (NC-AFM) と放射光 X 線 (SR X-ray) を組み合わせた手法であり、NC-AFM の空間分解能で X 線化学分析を実現し、今後の原子分子レベル～ナノオーダーの半導体材料表面／界面研究への活用を目指している。従来の NC-AFM 研究から、原子間力には van der Waals 力、静電気力の他、共有結合力が含まれる事がわかっている。我々は特に共有結合力に着目し、もし結合に寄与する軌道の電子密度が X 線電子励起で変化するなら、原子分解能まで得られる元素マッピングにできると期待した。そこで、NC-AFM のカスペクトル (探針-試料間距離に対する原子間力依存性) の X 線エネルギー依存性を調べたところ、内殻電子励起を伴う元素固有の X 線吸収端エネルギー付近で力の変化が観測されることがわかった。これまで、Au や Ni といった金属試料表面で現象の観測に成功した。また最近は、Ge 半導体試料でも Ge-K 吸収端付近のエネルギーを持つ X 線により、探針-試料間に働く原子間力に変化が観測できることを報告した。

上記を 2 次元に拡張することで、試料表面近傍の空間における力場の X 線エネルギー依存性、すなわち元素分布情報を得ることができる。以前の Ni に関する実験では、HOPG 基板上に蒸着した Ni ナノ粒子 (直径 20 nm 程度) を X 線吸収端エネルギーに対する応答から識別できる可能性は示唆された。しかし、これを結論するためには、測定点数を増やし測定の位置分解能 (データ解像度) を改善する必要があった。放射光実験ではビームタイムに上限があるため、測定点数を増やすには 1 測定点に必要な計測時間を短縮するしかない。

そこで今回は、X 線エネルギー掃印とカスペクトル測定の同期方法などを改良し、1 測定点にかかる時間を~0.5 秒まで短縮しても十分な S/N 比のデータを得られるようにした。これより、これまで不鮮明だった数 nm の構造体も十分に位置分解できる位置解像度となった。また計測時間の短縮により、X 線エネルギー掃印のステップ幅も、より小さく設定できるようになった。なお、実験は KEK-PF BL-7C にて、専用に設計・製作した NCAFM (XANAM) 装置および Nanonis 社 (現 SPECS 社) 製 SPM コントローラで測定を行った。探針は水晶振動子を用いた自作探針、試料は Ge(001)単結晶試料および Ge 量子ドット / Si 基板試料を用いた。Fig. 1 に、11003 eV の X 線照射下で取得した Ge 量子ドットの結果を示す。64×64 の測定点を約 40 分で計測した。試料最近接点から 0.9 nm 離れた位置での NC-AFM の周波数シフト  $\Delta f$  を、-6 Hz~+1 Hz の範囲で 2 次元画像として表示した。量子ドットは仕込んだ状態とほぼ同等の状態を観察されたが、他の複数の X 線エネルギーでもデータ取得できており、 $\Delta f$  像の X 線エネルギー依存性を当日報告する。



**Figure 1** XANAM image of a Ge quantum dot prepared on a Si substrate, extracted from a volume spectroscopic data of  $\Delta f$ . 40x40 nm<sup>2</sup>,  $V_s$ : -540 mV,  $f_0$ : 30.08 kHz, Amplitude: 280 pm.