

XANAM により測定した Ge 量子ドット像の X 線エネルギー依存性

X-ray energy dependence of a Ge quantum dot image by XANAM

名大院工¹、北大触媒研²、ICU³、KEK-PF⁴

○鈴木秀士¹、向井慎吾²、田旺帝³、野村昌治⁴、藤森俊太郎¹、池田弥央¹、
牧原克典¹、宮崎誠一¹、朝倉清高²

Nagoya Univ.¹、Hokkaido Univ.²、ICU³、KEK-PF⁴

°Shushi Suzuki¹、Shingo Mukai²、Wang-Jae Chun³、Masaharu Nomura⁴、Syuntarou Fujimori¹、
Mitsuhisa Ikeda¹、Katsunori Makihara¹、Seiichi Miyazaki¹、Kiyotaka Asakura²

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

今後のナノスケールの半導体材料表面／界面の物性研究では、構造を構成する原子（群）の個々の元素情報や化学状態の理解がますます重要になる。我々はこれまで NC-AFM の空間分解能で X 線化学分析を実現することを目指し、表面／界面のナノ構造の元素分布情報を得る手法として、「X 線支援非接触原子間力顕微鏡(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、共有結合力の有無の検証を行ってきた。

これまで KEK-PF (つくば)・BL-7C にて自作装置による測定を行い、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 Au や Ni、Ge 表面について調べた。そして、各々の表面の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、X 線誘起の探針-試料間の力変化の観測ができることを報告した。

今回は、Si 基板上に作成した Ge 量子ドット (Ge-QD) (名古屋大学 宮崎研究室作製) の測定について纏めた結果を報告したい。XANAM 像の取得方法としては、非接触非接触原子間力顕微鏡 (NC-AFM) の固液界面構造の測定で近年よく用いられる、フォースカーブを連続的に測定して力信号 3 次元方位の周波数シフトデータを取得する Volume Spectroscopy を用いた。この測定に関して、Ge-K 吸収端 (11103 eV) およびその周辺の X 線エネルギーを持つ X 線を試料に照射しながら、Volume データを取得した。ここから、試料水平方向に任意の探針-試料間距離における Ge-QD の XANAM 像を得た。図 1 に結果を示す。周波数シフト Δf を $-5 \sim +1$ Hz の範囲で画像とした。また探針-試料間距離が 0.4 ~ 0.9 nm で異なる画像を示してある。これから、上段の 0.4 ~ 0.6 nm において、Ge-QD における Δf に変化が認められた。QD の大きさは直径 20 nm 程度で有ることから、空間分解能としては数 nm 程度には到達できたものと考えている。

なお、本研究は JSPS 科研費 (No. 19K05266) および池谷科学技術振興財団 単年度研究助成 (令和 2 年度) の助成により行われた。

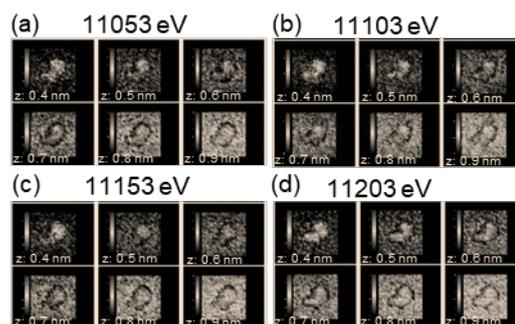


Figure 1 shows images of possibly two quantum dots regenerated from the volume data at the tip-surface separation (z) within the range of 0.4-0.9 nm. Image size is 40×40 nm². The images of (a), (b), (c), and (d) were obtained under X-ray irradiation with the energies of 11053 eV, 11103 eV, 11153 eV, and 11203 eV, respectively.