

XANAM による Si-Ge 量子ドットにおける X 線誘起力変化の調査

Study of X-ray induced changes in the force signal in XANAM measurements on a Si-Ge quantum dot

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。

前回までに 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) の測定において、Ge-K 吸収端より大きな X 線エネルギーにおいて X 線誘起の力変化が観測できたことを報告した。具体的には、まず Ge-K 吸収端 (11103 eV) の X 線エネルギーを持つ X 線を試料に照射しながら、Ge-QD とそのフォースカーブを連続的に測定することで、力信号 3 次元体積データを取得した。この体積データを試料水平方向に切り出せば、任意の探針-試料間距離における Ge-QD の XANAM 像を得ることができた。同様の測定を Ge-K 吸収端の±100 eV の範囲で X 線エネルギーを変えて繰り返し、Ge-QD の XANAM 像の X 線エネルギー依存性を得たところ、Ge-QD 上で力信号に大きな変化が生じていることが確認できた。

今回は、上記の変化が共有結合力の変化に起因しているかどうかを検証するため、また、一部装置の改良により測定時間の短縮を実現するとともに、新たに Si で Ge-QD の外側上面を被覆した量子ドット (Si-capped Ge-QD) について測定を行った。Si で Ge 表面を被覆することで、測定中に Ge 原子と探針間の共有結合は生じないため、X 線誘起の変化は生じないことが予想された。すなわち、Ge-K 吸収端付近の X 線照射で変化が観測されなければ、XANAM 像の変化は、Ge 原子と探針間の共有結合の変化に由来することが結論できると期待される。以上について、講演にて詳細を発表したい。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。

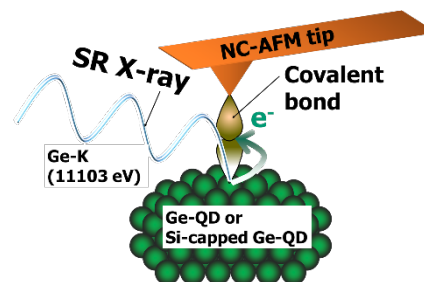


Figure 1 Conceptual drawing of XANAM measurements on Ge-QD and Si-capped Ge-QD.