Ge 量子ドット像の XANAM による X 線エネルギー依存性測定

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

名大院工 [1]、北大触媒研 [2]、ICU[3]、KEK-PF[4]
○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]，宮﨑誠一 [1]，朝倉清高 [2]
Nagoya Univ.[1]，Hokkaido Univ.[2]，ICU[3]，KEK-PF[4]
°Shushi Suzuki[1], Shingo Mukai[2], Wang-Jae Chun[3], Masaharu Nomura[4], Syuntarou FUJIMORI[1], Mitsuhisa IKEDA[1], Katsunori MAKIHARA[1], Seiichi MIYAZAKI[1], Kiyotaka Asakura[2]
E-mail: shushi@chembio.nagoya-u.ac.jp

我々は、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。今後の原子分子レベル～ナノオーダーの半導体材料表面／界面研究への利活用を念頭に、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。これまで KEK-PF（つくば市）の BL-7C に自作の NC-AFM 装置を持ち込み、NC-AFM の力スペクトル（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 表面について調べてきた。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、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。

XANAM の画像取得は、上記測定を 2 次元に拡張することで行う。これにより、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を 3 次元データで取得できる。実際に、HOPG 上の Ni ナノ粒子や、Si 基板上に作成した Ge 量子ドット（QD）（名古屋大学 宮崎研究室）で、イメージング可能なことを前回までに報告した。後者においては、装置改良で測定点数を増やせたことで、測定上の位置分解能（データ解像度）が格段に改善された。しかし、X 線エネルギー間隔は 50 eV/step と粗いため、QD 像の X 線エネルギー依存性の詳細までは明らかにできなかった。

そこで今回は、Ge-QD の X 線エネルギー依存性の取得を目的とした。ただし現状では、3 次元データの取得には一つで約 40 分かかり、X 線エネルギーで 100 点取得するには約 66 時間を要する。Ge-QD は、装置が安定すれば~12 時間は同一視野で追跡可能なことを確認済みだが、上記の時間でずっと捕捉できる保証は無い。そこでまずは、Ge-QD の断面方位にのみ探針を動かし（Line scan）、各点における力スペクトルの X 線エネルギー依存性を 2 eV/step で 200 eV 取得した。その結果を図 1 に示す。図 1 の帯状部分が QD 断面を X 線エネルギー毎に計測した位置で、その他の暗い領域は Si 基板である。図下部に Ge-K 吸収端スペクトル、右上に QD の全体像（11003 eV の X 線照射下で測定）も示した。この結果から、これまでの測定と同様に、Ge-K 吸収端付近で Ge-QD 像（断面）が変化することが分かった。これより XANAM は数 nm の空間分解能を有すると推定された。

本研究は JSPS 科研費（No. 19K05266）の助成で行われた。

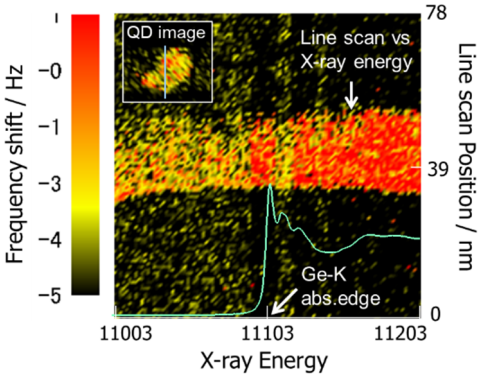

Figure 1 X-ray energy dependence of $\Delta f(x, E)$ on a Ge-quantum dot image, reconstructed from a volume data of $\Delta f(x, z, E)$ from the sample surface. Image size: 200 eV x 78 nm, z: 0.2 nm, V_s: -540 mV, f_0: 30.08 kHz, Amplitude: 280 pm.

© 2020年 応用物理学会