

非接触原子間力顕微鏡/力分光法による微量 NH₃ を反応させた Si (111)-7×7 表面電子状態解析

Electronic state analysis on an NH₃-reacted Si(111)-7×7 surface by
nc-AFM/Spectroscopy

金沢大院¹, 北陸先端大院² ◦坂野 友樹¹, 富取 正彦², 新井 豊子¹

Kanazawa Univ.¹, and JAIST² ◦Yuki Sakano¹, and Masahiko Tomitori², Toyoko Arai¹

E-mail: sakka893@stu.kanazawa-u.ac.jp

アンモニア(NH₃)と Si(111)表面の初期反応は、半導体表面の機能化に関する基礎的観点および応用上からも興味深い。過去、走査型トンネル顕微鏡(STM)による表面観察や電子状態解析、密度汎関数法を用いたポテンシャルエネルギー計算などが精力的に行われてきた^{1,2}。今年春の本学会で、我々は微量 NH₃ ガスを反応させた Si(111)7×7 表面を非接触原子間力顕微鏡(nc-AFM)/STM を用いて観察し、NH₃ が Si アドアトム上に優先的に吸着することを報告した³。今回、nc-AFM/力分光法(nc-AFM/S)を用いて、同表面と探針間に働く相互作用力の距離変化を測定し、試料表面原子および探針先端原子の電子状態を解析したので報告する。

本研究には、ピエゾ抵抗型 Si カンチレバー (結晶方位[001]) を力センサーとした自作超高真空(UHV) nc-AFM/STM を用いた。試料基板は p 型 Si(111)である。UHV 中で Si(111)基板を加熱清浄化し、徐冷して 7×7 再構成表面を調製した。その後、真空層内に NH₃ ガスを導入して、Si(111)7×7 表面 (基板温度は室温) に 0.2 L 程暴露した。図 1(a)は NH₃ 反応 Si(111)7×7 表面の周波数シフト(Δf)一定 nc-AFM 像である。実線の菱形で囲まれた部分が Si(111)7×7 の単位胞を表し、左半分が積層欠陥半単位胞である。図中の青鎖線円は清浄な Si のアドアトムサイトを表しており、赤鎖線円は Si アドアトム上に NH₃ が反応したサイトである。NH₃ は、活性な Si 表面のアドアトムやレストアトムと反応し、解離して NH₂ と H になる²。図 1(a)で NH₂ が吸着したアドアトムサイトは未反応の Si アドアトムサイトに対して暗く描かれている。図 1(b)は、図(a)中の A, B の位置で取得した Δf -z 曲線である。二つの曲線は遠距離 (領域 III) では一致している。Si アドアトム上では -12 Hz 付近から急峻な引力が働いている。一方、NH₂ が吸着しているアドアトムサイトでは、近距離 (領域 II) で Si アドアトム上と比較して引力が弱まっている。これは、2つの電子を持った探針先端の Si 原子のダングリングボンドと、試料表面 Si アドアトム上に吸着した NH₂ が持つ電子対との間に斥力が働き、引力の総和が減少したためと考えられる。ここで、Si 探針先端は微小な(001)面であり、ダイマー構造をとり、最先端原子はアップダイマー原子であるため、探針先端の Si 原子のダングリングボンドは、ほぼ 2 個の電子を持つと推測した。また、探針試料間距離がより近くなると (領域 I)、試料表面上の NH₂ と探針の Si 原子との間に急峻な引力が働いている。これは試料表面の NH₂ と探針 Si 原子との間に結合力が働いたためであると考えられる。

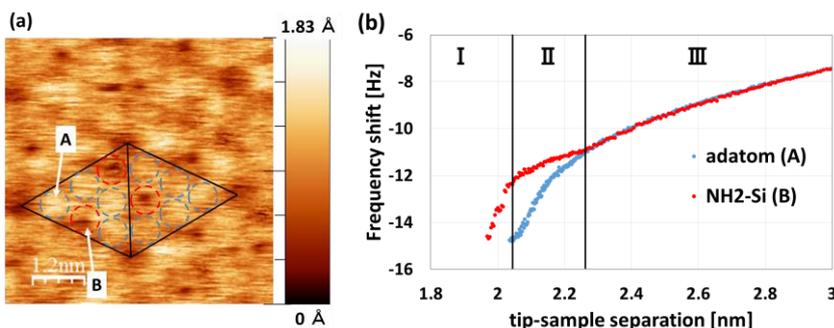


Fig.1 (a) nc-AFM image of a partially reacted Si(111)7×7 surface after 0.2 L dosage of NH₃. (Δf set = -11.5 Hz, V_s = -0.5 V, f_{res} = 254.179 kHz, Amplitude = 23.7 nm, Spring constant = 20 N/m) (b) Δf vs separation on Si adatom and NH₃-reacted Si adatom.

【参考文献】

- [1] Rong-Li Lo, et al., *Phys. Rev. B* **76** 113305 (2007)
- [2] Myung-Ho Kong., *Phys. Rev. B* **68** 205307 (2003)
- [3] 坂野 他 2014 年 第 61 回応用物理学会春季学術講演会 20a-D5-3