

2P056

オージェ電子-光電子コインシデンス分光法による Si(111)-7×7 清浄表面の表面サイトを選択した局所価電子状態の研究

(愛媛大院・理工¹, KEK-PF²) ○垣内 拓大¹, 田原 雅士¹, 長岡 伸一¹, 間瀬 一彦²

【序】Si(111)-7×7 清浄表面構造の単位胞は、12 個の adatom、6 個の rest atom、9 個の dimer、1 個の corner hole、一対の stacking-faulted / unfaulted triangle によって構成されている¹⁾ (図 1 参照)。Si(111)-7×7 清浄表面の高エネルギー分解能光電子スペクトル (PES) の研究では、これらの表面サイトに対応する幾つかの Si 2p 内殻ピークが観測されており、それぞれの帰属が議論されている²⁻⁴⁾。我々は、特定の表面サイトから放出されたオージェ電子に由来する光電子を測定できる光電子-オージェ電子コインシデンス分光法 (Photoelectron Auger-electron coincidence spectroscopy: PEACS) を用いて、最表面敏感で特定の価電子帯に対応する Si 2p PES の測定を行い、Si 2p 内殻ピークの帰属を検討した。

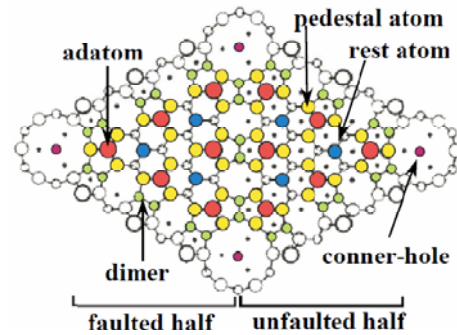


図 1. Si(111)-7×7 清浄表面。

【実験】実験は、KEK Photon Factory の BL-1C あるいは 12A を使用し、超高真空槽内 (到達圧力: $1.3\sim 2.0 \times 10^{-8}$ Pa) に、オリジナルの電子-電子-イオンコインシデンス (EEICO) 分光装置⁵⁾を取り付けて行った。本装置は、同軸対象鏡型電子エネルギー分析器 (ASMA) とダブルパス円筒鏡型電子エネルギー分析器 (DP-CMA) 等から構成されている⁵⁾。

Si(111)7×7 清浄表面は、 3×10^{-7} Pa 以下で Si 単結晶ウェハを $\sim 1200^\circ\text{C}$ まで加熱、その後室温までゆっくりと冷却することで作製し、低速電子線回折 (LEED) で 7×7 表面再構成を確認した。長時間の PEACS 測定前後で試料表面の構造は変化しなかった。放射光 (SR) は、表面法線方向 84° より入射し、光エネルギー ($h\nu$) は 130 eV に設定した。

EEICO 分光装置を用いた Si(111)-7×7 清浄表面の Si 2p 光電子-Si L₂₃VV オージェ電子コインシデンススペクトル (Si-2p-Si-L₂₃VV PEACS) は、EEICO 分光装置の DP-CMA で検出した Si L₂₃VV オージェ電子をマルチチャンネルスケーラー (MCS) のトリガーシグナルとし、ASMA で検出した Si 2p 光電子を MCS の入力シグナルとして測定した。

【結果と考察】図 2 は、DP-CMA で測定した Si(111)-7×7 清浄表面の Si L₂₃VV オージェ電子スペクトル (AES) である。挿入図は、文献 2) より抜粋した Si(111)-7×7 清浄表面の紫外光電子スペクトル (UPS) である。S₁、S₂、および S₃ の特徴的なピークは、それぞれ低い結合エネルギー準位から順に adatom、rest atom、および pedestal atoms (adatom に結合した Si 原子) サイトから放出された光電子と帰属されている²⁾。一般的に低い結合エネルギー準位から放出されるオージェ電子は高運動エネルギー側に分布することが知られている。そこで、図 2 中のバルクの Si L₂₃VV AES のピークを基準とした相対的運動エネルギースケール (Relative kinetic energy: ΔKE) で (a) +1.1 eV および (b) +4.8 eV のオージェ電子をトリガーシグナルとして Si-2p-Si-L₂₃VV PEACS を測定した。その結果、前者 (図 3、+1.1

eV) は、Si 2p PES のバルクサイトの Si 2p_{3/2} サイトを基準とした相対的結合エネルギースケール (Relative binding energy: ΔBE) の低い ΔBE 側のピークが強く表れ、後者 (図 4) は高い側のピーク強度が強くなった。そして、これらの Si-2p-Si-L₂₃VV PEACS の成分分離を行い (図 2、3 参照)、通常の Si 2p PES の成分分離の結果 (図 5) と比較したところ、 $\Delta KE = +1.1$ eV のオージェ電子をトリガーシグナルとして測定した Si-2p-Si L₂₃VV PEACS は、rest atom サイトのピーク面積が~5 %から~12 %まで増大していた。一方、 $\Delta KE = +4.8$ eV のオージェ電子をトリガーシグナルとして測定した Si-2p-Si L₂₃VV PEACS は、adatom サイトのピーク面積が~8 %から~30 %まで増大していた。この結果は、Si(111)-7×7 清浄表面の Si 2p PES のピーク帰属は、Karlsson らの報告²⁾による低い ΔBE 側から順に rest atom、dimer、bulk、pedestal atom、adatom と帰属するのが最も信頼できることを示している。

当日は、その他の Si-2p-Si L₂₃VV PEACS の測定結果と特定表面サイトから放出された Si-2p 光電子をトリガーシグナルとして同時に測定した Si L₂₃VV AES (Si-L₂₃VV-Si-2p APECS) の結果を含めて詳細に報告する。

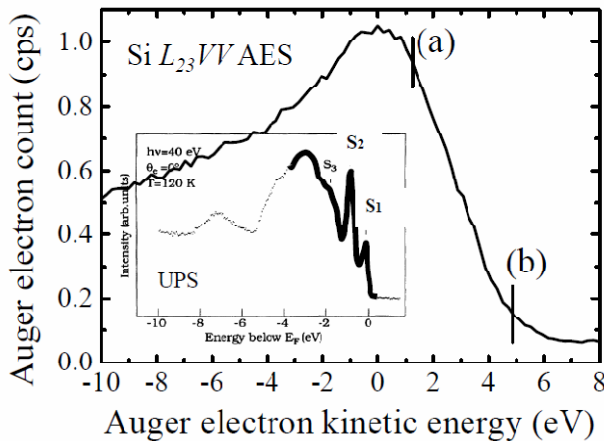


図 2. Si(111)-7×7 清浄表面の Si L₂₃VVAES。挿入図は、同試料の UPS (2) より引用。

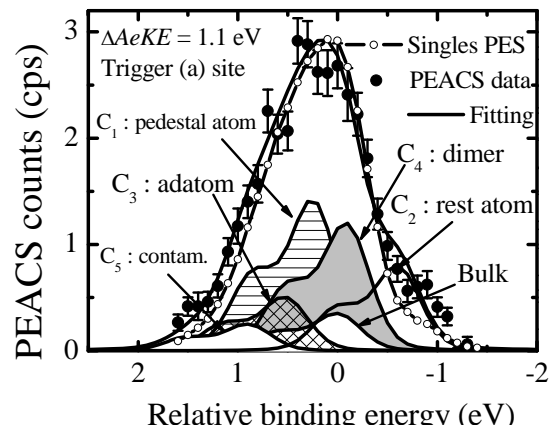


図 3. Si(111)-7×7 清浄表面の Si-2p-Si L₂₃VV PEACS (ΔKE of trigger signal = +1.1 eV)。

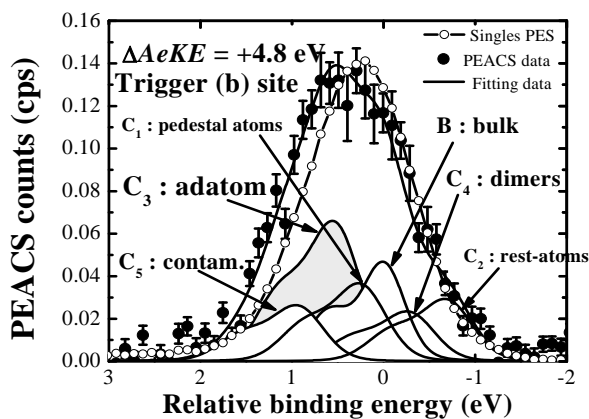


図 4. Si(111)-7×7 清浄表面の Si-2p-Si L₂₃VV PEACS。 (ΔKE of trigger signal = +4.8 eV)

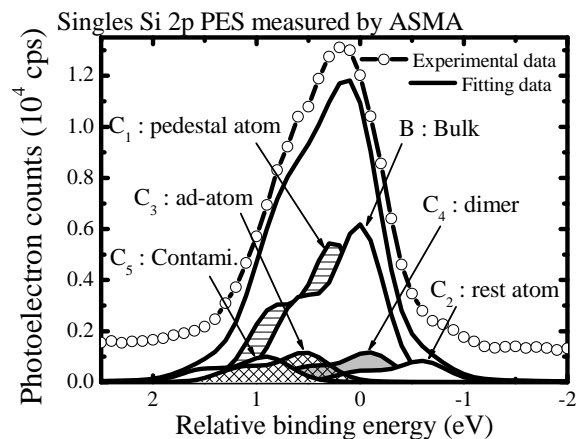


図 5. Si(111)-7×7 清浄表面の Si 2p PES。

【参考文献】 1) K. Takayanagi *et al.*, J. Vac. Sci. Technol. A **3**, 1502 (1985). 2) C. J. Karlsson *et al.*, Phys. Rev. B **50**, R5767 (1994). 3) J. A. Carlisle *et al.*, Phys. Rev. Lett. **71**, 2955 (1993). 4) J. J. Paggel *et al.* Pys. Rev. B **50**, 18686 (1994). 5) T. Kakiuchi *et al.*, J. Vac. Soc. Jpn. **51**, 749 (2008).