

## 4D11

### 高分解能電子 電子 - イオンコインシデンス分光による Si 単結晶清浄表面の表面最上層の Si 2p 光電子および Si L<sub>23</sub>VV オージェ電子スペクトル測定

垣内拓大<sup>1</sup>、藤田斉彦<sup>2</sup>、橋本章吾<sup>2</sup>、間瀬一彦<sup>3</sup>、田中正俊<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>愛媛大院理工、<sup>2</sup>横国大院工、<sup>3</sup>物構研

【序】 固体表面内殻分光におけるコインシデンス測定は著しい発展を遂げ、表面内殻電子励起ダイナミクスの研究や表面界面局所価電子状態の研究など様々な分野へ応用されている。近年、我々は、1台でオージェ電子 - 光電子コインシデンス分光 (APECS)、光電子 - 光イオンコインシデンス (PEPICO) 分光、およびオージェ電子 - 光イオンコインシデンス (AEPICO) 分光を行うことができる電子 - 電子 - イオンコインシデンス (EEICO) 分光装置を開発した [1]。本 EEICO 分光装置は、同軸対称鏡型電子エネルギー分析器 (ASMA)、シングルパス円筒鏡型電子エネルギー分析器 (SP-CMA)、飛行時間型イオン質量分析器 (TOF-MS) を同軸同焦点で組立てており、世界最高水準のコインシデンスシグナル検出効率を達成している。

しかし、SP-CMA の電子エネルギー分解能 ( $E/\Delta E$ ) が~20 程度と低く、高分解能 APECS、AEPICO 分光、PEPICO 分光測定は困難であった。そこで本研究では、 $E/\Delta E$  を向上させるため、ダブルパス CMA (DP-CMA) を内蔵した高分解能・高感度 EEICO 分光装置の開発を行い、Si(001)2×1 清浄表面および Si(111)7×7 清浄表面の表面準位を選別した Si-L<sub>23</sub>VV オージェ電子 - Si-2p 光電子コインシデンススペクトル (Si-L<sub>23</sub>VV-Si-2p APECS) の測定を行った。

【実験】 DP-CMA を内蔵した EEICO 分光装置の性能評価と Si-L<sub>23</sub>VV-Si-2p APECS は、高エネルギー加速器研究機構 Photon Factory の軟 X 線ビームライン BL-1C に設置した超高真空槽内 (到達圧力:  $1.3 \times 10^{-7}$  Pa) にて行った。Si(001)2×1 清浄表面および Si(111)7×7 清浄表面は、 $< 5.0 \times 10^{-7}$  Pa で Si 単結晶ウェハを~1100 °C まで昇温加熱したのち、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 (Low-energy electron diffraction、LEED) パターンで表面再構成を確認した。長時間の APECS 測定前後での LEED パターンの変化はなかった。シンクロトロン放射光 (SR、 $h\nu = 130$  eV) は、表面法線方向 84° より入射し、試料表面上でのスポットサイズは 0.1 mm (縦) × 4 mm (横) 試料電流は~15 pA 程度であった。

【結果】 Si(001)-2×1 清浄表面の Si 2p 内殻光電子スペクトル (PES) と Voigt 関数によるフィッティング結果を図 2 に示す。図中に示した、各 Si 表面準位のケミカルシフト量は、E. Landmark の報告を参照し、第 2 層 Si、2 量体ダウンアトム、第 3 層 Si、2 量体アップアトムの順に -0.225 eV、-0.062 eV、0.23 eV、0.5 eV と決定した [2]。全てのフィッティングにおけるガウス幅は  $< \sim 0.48$  eV、ローレンツ幅は 0.08 eV とし、2p<sub>1/2</sub> と 2p<sub>3/2</sub> の間のスピン - 軌道分裂は 0.6 eV、強度比 (2p<sub>1/2</sub>/2p<sub>3/2</sub>) は 0.5 とした。以上より、ASMA および DP-CMA の  $E/\Delta E$  は、KE = 20-30 eV

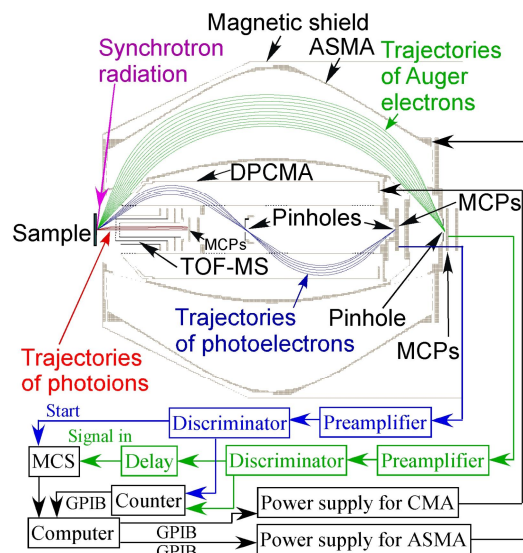


図 1 . 新しい EEICO 分光装置と APECS 測定の概念図。

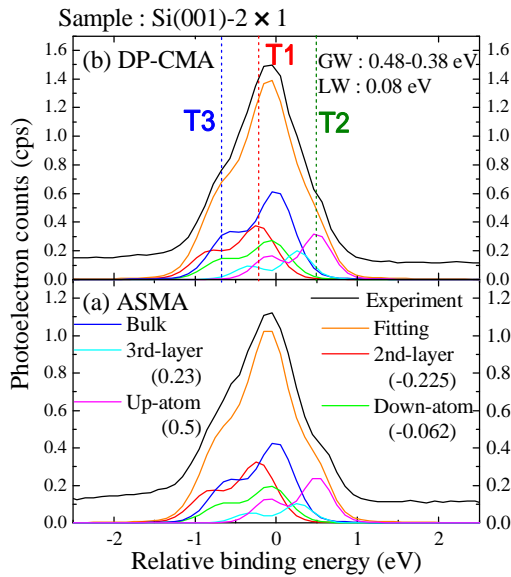


図2 . Si(001)-2×1 清浄表面の Si 2p 内殻光電子スペクトル。

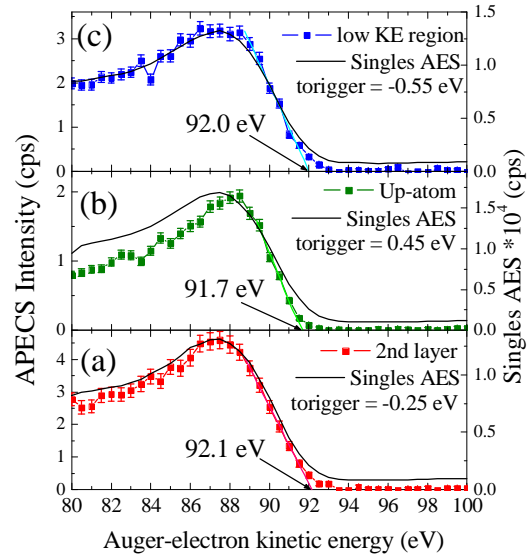


図3 . Si(001)-2×1 清浄表面の表面準位を 選別した Si-L<sub>23</sub>VV-Si-2p APECS。

の範囲で $\sim 55$  程度と見積もった。DP-CMA の  $E/\ E$  が大きく改善されたため、従来よりも高分解能で APECS、AEPICO 分光、PEPICO 分光が可能である。

図3(a)-(c)は、順に図2(b)中の T1、T2、T3 をトリガーシグナルとして測定した Si-L<sub>23</sub>VV-Si-2p APECS である。図中の黒線は、同時に測定した通常のオージェ電子スペクトル (singles AES) である。特に、図3(b)表面2量体アップアトム的光電子をトリガーとした Si-L<sub>23</sub>VV-Si-2p APECS は、singles AES と比較して、1) 低運動エネルギー (KE) 側の強度が減少している、2) メインピークが高 KE 側に $\sim 1$  eV シフトしている、3) メインピークの立下り (高 KE 側) が急勾配である、という特徴を持つ。これらの特徴は、Si(001)-2×1 清浄表面の2量体アップアトム近傍の局所価電子状態を強く反映しており、1) 局所価電子密度は、通常の Si よりも深い準位では減少し、浅い準位では増大していること、2) 価電子帯上端がフェルミ準位側へ 0.15 ( $\sim 0.2$ ) eV 程度シフトすること、を示唆している。

次いで、Si 2量体から放出された高 KE のオージェ電子をトリガーとして Si 2p PES 領域の Si-2p-Si-L<sub>23</sub>VV APECS 測定を行った (図4)。得られた Si-2p-Si-L<sub>23</sub>VV APECS を図2(a)のカーブフィッティングを用いて解析したところ、表面より $\sim 2$  Å 程度の第2層目 Si と表面2量体アップアトムを主に観測した非常に表面敏感な Si 2p PES であるがわかった。講演当日は、本結果の詳細と、Si(111)7×7 清浄表面の結果についても報告する。

【まとめ】 我々は、表面分析用高分解能高感度 EEICO 分光装置の開発に成功した。新しい EEICO 分光装置を用いれば、表面数 Å 程度の表面局所価電子状態の研究が可能である。

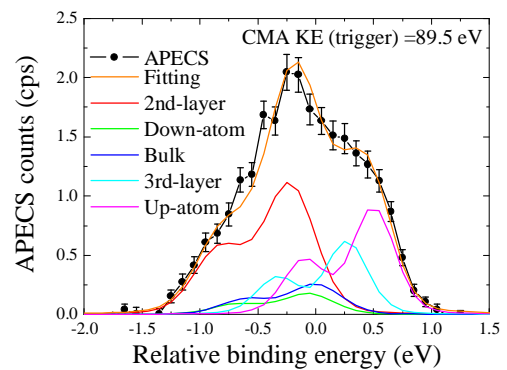


図4 Si L<sub>23</sub>VV AES の高 KE 成分をトリガーとして測定した Si 2p 内殻光電子スペクトル。

[参考文献]

[1] T. Kakiuchi, E. Kobayashi, N. Okada, K. Oyamada, M. Okusawa, K. K. Okudaira, and K. Mase, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. **161**, 164 (2007)., [2] E. Landemark, C. J. Karlsson, Y.-C. Chao, and R. I. G. Uhrberg, Phys. Rev. Lett. **69**, 1588 (1992).