

3P064

Si(110)-16×2 シングルドメイン清浄表面上に作製した SiO₂ 超薄膜の 表面界面組成と表面局所価電子状態

¹愛媛大学理学部化学科、²高エ研物構研、³総研大

○垣内拓大¹、池田恭平¹、長岡伸一¹、間瀬一彦^{2,3}

Surface and Interface Chemical-States and Local Valence Electronic Structures of Ultrathin SiO₂ Films Fabricated on Clean Si(110)-16×2 Single Domain Surface

¹Department of Chemistry, Faculty of Science, Ehime University, ²Institute of Materials Structure
Science, KEK, ³SOKENDAI (The Graduate University for Advanced Studies)

○Takuhiro Kakiuchi¹, Kyohei Ikeda¹, Shin-ichi Nagaoka¹, and Kazuhiko Mase^{2,3}

1. 序

Si(110) 清浄表面は、16×2 表面超構造を示すシングルドメイン (SD) 構造を形成し、表面のホール移動度が Si(100) 面と比較して約 2 倍高いことから、次世代 MOS-FET (金属酸化物半導体電界効果トランジスタ) の基板材料として注目を集めている [1]。近年、Si(110)-16×2 SD 清浄表面に対して 5 つの化学的環境の異なる表面サイト (SC1–SC5) および 4 つの表面準位 (S₁–S₄) が存在することが明らかにされ、Adatom-Buckling (AB) モデルが提唱された [2]。一方で、その上に作製した SiO₂ 超薄膜 (SiO₂/Si(110)) の表面界面の化学組成を明らかにした例は少なく、さらにその表面局所価電子状態を明らかにした研究はない。そこで本研究では、X 線光電子分光法および Si-L₂₃VV オージェ電子-Si-2*p* 光電子コインシデンス分光法を用いて、SiO₂/Si(110)の表面界面化学組成および表面局所価電子状態の膜厚依存性の解明に取り組んだ。

2. 実験

すべての測定は、放射光施設 Photon Factory の BL-11D に設置した電子-電子-コインシデンス (EEICO) 分光装置[3]を用いて行った。Si(110)-16×2 SD 清浄表面は、到達圧力 3.0×10⁻⁸ Pa の超高真空槽内で[11̄2] 方向に通電し、1250°Cでフラッシング、930°Cで 3 秒間のアニール、60 秒かけて 660°Cまで下げたのち 30 秒間のアニール、650°Cまで下げて 10 分間のアニールを行うことにより作製した [1, 2]。Si(110)-16×2 SD 清浄表面を 650°Cに通電加熱しながら、O₂ (純度: 99.5%) を 0.3 kLangmuir (L, 1 L = 1.33×10⁻⁴ Pa · sec)、1 kL、6 kL、36 kL 導入して SiO₂ 超薄膜 (SiO₂/Si(110)) を作製した。0.3 kL、1 kL、6 kL、および 36 kL の O₂ を曝露で作製した SiO₂ の膜厚は、Si 2*p* 光電子スペクトル (PES) における Si⁰ 2*p*、Si⁴⁺ 2*p* ピーク強度から[4]、それぞれ 1.2 Å、1.7 Å、2.4 Å、および 5.3 Å と見積もった。SiO₂ の 1 層の膜厚はおおよそ 1.5 Å であるため[5, 6]、これらの膜厚はそれぞれ SiO₂ 0.8、1.1、1.6、および 3.5 層に対応する。

3. 結果と考察

Si(110)-16×2 清浄表面、膜厚 1.2 Å および 膜厚 5.3 Å の SiO₂/Si(110)超薄膜の Si 2*p* 光電子スペクトル (PES) を図 1 に示す。Si 2*p* ピークを Voigt 関数によってフィットした結果、SiO₂/Si(110)超薄膜では Si(110)-16×2 の清浄表面の表面サイトは消失し、SiO₂ の Si⁴⁺、SiO₂/Si 界面の Si¹⁺、Si²⁺、Si³⁺、Si 面の Si⁰ 成分が現れた。ここで Si の価数は、Si に結合した酸素の数を示す。図 1 中に示

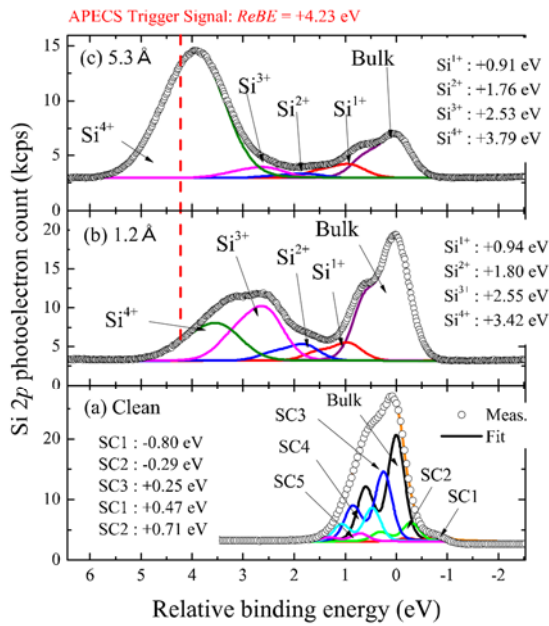


図 1. (a) Si(110)-16×2 清浄表面、(b) 膜厚 1.2 Å、(c) 膜厚 5.3 Å の SiO₂/Si(110)超薄膜試料の Si 2p 光電子スペクトル。

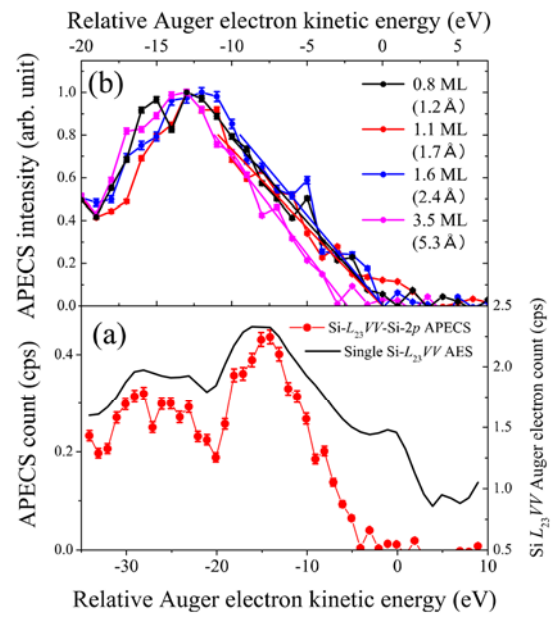


図 2. 膜厚 1.2、1.7、2.4、5.3 Å の SiO₂/Si(110)超薄膜試料の Si-L₂₃VV オージェ電子-Si⁴⁺-2p 電子コインシデンススペクトル。

した破線 (Relative Binding Energy ($ReBE$) = +4.23 eV) は、Si-L₂₃VV オージェ電子-Si⁴⁺-2p 光電子コインシデンススペクトル (Si-L₂₃VV-Si⁴⁺-2p APECS) 測定のトリガーシグナルに用いた光電子成分の位置を示す。膜厚 1.2、1.7、2.4、5.3 Å の SiO₂/Si(110)超薄膜において、トリガーに用いた Si⁴⁺由来の光電子成分はいずれも 97%以上であった。

膜厚 5.3 Å の SiO₂/Si(110)超薄膜から得られた Si-L₂₃VV-Si⁴⁺-2p APECS (●と実線) と通常のオージェ電子分光法で得られた Si L₂₃VV オージェ電子スペクトル (実線、singles Si L₂₃VV AES) を図 2(a)に示す。Singles Si L₂₃VV AES が Si⁰、Si¹⁺、Si²⁺、Si³⁺、Si⁴⁺サイトから放出された Si⁰、Si¹⁺、Si²⁺、Si³⁺、Si⁴⁺ L₂₃VV AES の和であるのに対し、Si-L₂₃VV-Si⁴⁺-2p APECS は表面 Si⁴⁺成分のみを選別した表面最上の SiO₂層の Si⁴⁺ L₂₃VV AES に対応する [7, 8]。膜厚 1.2、1.7、2.4、5.3 Å の SiO₂/Si(110)超薄膜の Si-L₂₃VV-Si⁴⁺-2p APECS を図 2(b)示す。SiO₂の膜厚が 5.3 Å よりも薄くなると、Si-L₂₃VV-Si⁴⁺-2p APECS の高運動エネルギー側のカットオフ ($AeKE_{cutoff}$) が +2.3 ± 0.6 eV 程度高運動エネルギー側にシフトした。 $AeKE_{cutoff}$ の高運動エネルギー側へのシフトは、価電子帯上端 (VBM) のフェルミ準位側へのシフトを反映しており [7, 8]、本測定結果は SiO₂超薄膜の膜厚が 2 層以下になると VBM が最大 1.4 ± 0.3 eV 程度高フェルミ準位側にシフトしていることを示す。これは、SiO₂に隣接する Si¹⁺、Si²⁺、Si³⁺サイトが増えるためと考えられる [7, 8]。

References

- [1] Y. Yamada *et al.*, Phys. Rev. B **76**, 153309 (2007). [2] K. Sakamoto *et al.*, Phys. Rev. B **79**, 245304 (2009). [3] T. Kakiuchi *et al.*, J. Vac. Soc. Jpn. **51**, 749 (2008). [4] F. J. Himpsel *et al.*, Phys. Rev. B **38**, 6084 (1988). [5] D.-A. Luh *et al.*, Phys. Rev. Lett. **79** (1997) 3014. [6] J. H. Oh *et al.*, Phys. Rev. B **63** (2001) 2053100. [7] T. Kakiuchi *et al.*, J. Phy. Soc. Jpn. **80**, 084703 (2011). [8] T. Kakiuchi *et al.*, J. Phy. Soc. Jpn. **81**, 074706 (2012).