

## Zr L $\alpha$ 線源を用いた AES による SiO<sub>2</sub>/Si 界面構造の評価 The SiO<sub>2</sub>/Si interface structures evaluated by AES using Zr L $\alpha$ source

東京都市大<sup>1</sup>, 宇宙研<sup>2</sup>

○天野 裕士<sup>1,2</sup>, 小林 大輔<sup>2</sup>, 野平 博司<sup>1</sup>, 廣瀬 和之<sup>2</sup>

Tokyo City Univ<sup>1</sup>, ISAS/JAXA<sup>2</sup>

○Yuji Amano<sup>1</sup>, Daisuke Kobayashi<sup>2</sup>, Hiroshi Nohira<sup>1</sup>, Kazuyuki Hirose<sup>2</sup>

E-mail: [y.amano@ac.jaxa.jp](mailto:y.amano@ac.jaxa.jp) [hirose@isas.jaxa.jp](mailto:hirose@isas.jaxa.jp)

[はじめに] 現在, LSI 性能を向上させる手法として, 様々な面方位の Si 表面を酸化してゲート酸化膜を形成する 3 次元構造 MOSFET が注目されている. これまで我々は単色 Al K $\alpha$  線源を用いて XPS 時間依存測定を行い, Si(100), Si(110), Si(111) 基板上に形成した 1 nm 程度の Si 酸化膜の正孔トラップ密度に違いがあることを報告している[1]. XPS 時間依存測定で観察される Si 2p<sub>3/2</sub> スペクトルのピークシフトは, SiO<sub>2</sub>/Si 界面のフェルミレベルが測定中にシフトすることによるものだと考えている. 今回, 測定対象を Si KLL スペクトルに変更し, XPS 時間依存測定と同様のオージェ電子スペクトル(AES)時間依存測定を行い, ピークシフトが起きるかどうかが調べ, シフトの原因がフェルミレベルの変化であることを検証したので報告する.

[試料] p 型, n 型 Si(110) 基板上に膜厚 1.2~1.3 nm の SiO<sub>2</sub> をドライ酸化で形成した.

[実験方法] X 線照射により試料から光電子が放出される際, その光電子の散乱により電子/正孔対が生成される. 生成された電荷が SiO<sub>2</sub> 中のトラップ準位に捕獲されて Si 基板のバンドベンディングが変化する. XPS 時間依存測定法とは, X 線照射時間毎の Si 基板の Si 2p<sub>3/2</sub> ピークエネルギー(ピークシフト) を測定することで, SiO<sub>2</sub> 中のトラップ密度を推定する手法である[2]. 今回は X 線源を単色 Al K $\alpha$  (1486 eV) から非単色 Zr L $\alpha$  (2042 eV) 線源に変更し, Si 基板の Si KLL ピークエネルギーを測定する AES 時間依存測定を行った.

[結果] AES 時間依存測定の結果を Fig. 1 に示す. 今回の結果は, 1.3 nm-SiO<sub>2</sub>/Si 試料に対する 1 万時間におよぶ長時間の XPS 時間依存測定の結果に類似している[3]. 始めに, 捕獲断面積が大きい正孔トラップによるプラス方向へのシフトが起こり, 飽和した後に電子トラップによるマイナス方向へのシフトが起こっている. また, 正孔トラップより電子トラップのほうが, ピークシフトの時定数が約 10 倍ほど大きい点も類似している[3]. XPS 時間依存測定と AES 時間依存測定との Si 2p<sub>3/2</sub> スペクトルのプラス方向へのシフト量と AES 時間依存測定との Si KLL スペクトルのプラス方向へのシフト量がほぼ一致することも確認できた. これより XPS 時間依存測定・AES 時間依存測定におけるピークシフトはフェルミレベルの変化であると結論できた. ピークシフトの時定数は XPS 時間依存測定と AES 時間依存測定で異なるが, これは X 線のパワーや非単色線源を用いたことによる電子線照射の影響と考えられる. 正孔トラップによるシフト量は n 型 p 型でほぼ一致したが, 電子トラップによるシフトでは n 型 p 型で大きく異なる結果となった. これは n 型と p 型で表面ポテンシャルと空間電荷密度の関係が異なるためだと考えて検証を行った. 電子トラップによるピークシフトが飽和されたときのバンドモデルを Fig. 2 に示す. 飽和状態のとき酸化膜中の電子トラップ密度 D<sub>OT</sub> [cm<sup>-2</sup>] は飽和後の界面捕獲電荷密度 N<sub>ITX</sub> [cm<sup>-2</sup>] と飽和後の空間電荷密度 Q<sub>SX</sub> [cm<sup>-2</sup>] を用いて, D<sub>OT</sub> = N<sub>ITX</sub> - Q<sub>SX</sub> と表せる. この時, n 型 p 型で酸化膜中の電子トラップは等しいはずである. Si KLL のピークシフト量を用いて酸化膜中の電子トラップを推定し n 型 p 型で一致するか確認したところ, 両者一致した. 同様の計算で, 酸化膜中の正孔トラップを推定したところやはり一致することがわかった. これより n 型と p 型で, 正孔トラップによるシフト量が一致すること, 電子トラップによるシフト量が一致しないことはどちらも, 表面ポテンシャルと空間電荷密度の関係が n 型 p 型で異なることから説明づけることができ, このことから SiO<sub>2</sub>/Si 界面のフェルミレベルの変化で説明できる現象であることが明らかとなった.

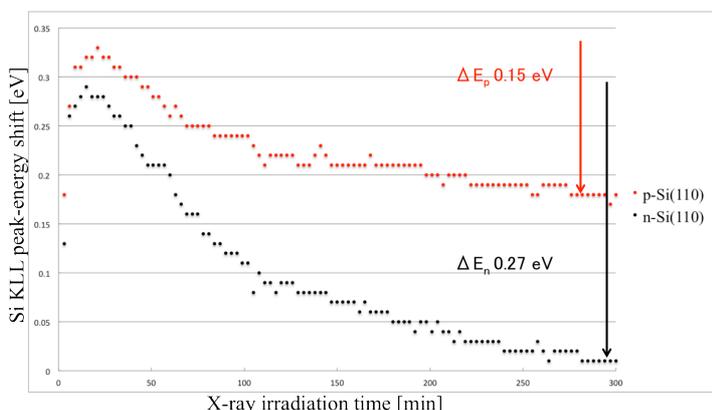


Fig. 1: Dependence of the Si KLL peak-energy on X-ray irradiation time.

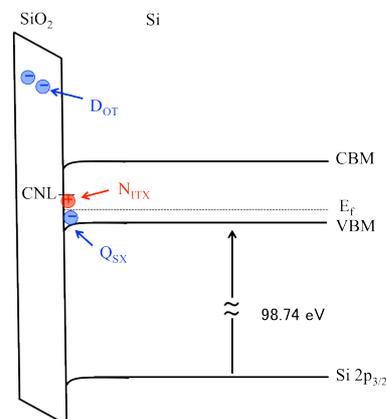


Fig. 2: p-type SiO<sub>2</sub>/Si (After electron-beam irradiation)

[1] 梅田 啓介, 岡田 啓太郎, 小林 大輔, 野平 博司, 廣瀬 和之, 第 74 回秋季応用物理学会 17a-B5-5.

[2] K. Hirose, J. Electron Spectroscopy and Related Phenomena. **46**, 176, (2010).

[3] K. Hirose, K. Sakano, K. Takahashi, and T. Hattori, Surf. Sci. **906**, 507-510 (2002).