

シリコン酸化膜中の電子の脱出深さの酸化プロセス依存性

Dependence of Electron Escape Depth in Silicon Oxide on Oxidation Process

東和文¹, 藤田啓嗣², 服部健雄², 池永英司³, 野平博司²,

岡本英介², 品川盛治², 高田恭孝⁴, 吉田徹史²

Kazufumi Azuma¹, Hirotugu FUJITA², Takeo HATTORI², Eiji IKENAGA³, Hiroshi NOHIRA²,

Hideyuki OKAMOTO², Seiji SHINAGAWA², Yasutaka TAKATA⁴, Tetsushi YOSHIDA²

¹株式会社液晶先端技術開発センター, ² 武蔵工業大学,

³ 高輝度光科学研究センター, ⁴ 理化学研究所放射光物性研究室

¹Advanced LCD Technologies Development Center Co., Ltd., ²Musashi Institute of Technology,

³Soft X-ray Spectroscopy Lab., Harima Inst., RIKEN, ⁴Japan Synchrotron Radiation Res. Inst.

3種類の方法で生成した活性酸素原子を用いて 300℃ において Si(111)面上に形成した膜厚 1nm 以下の低温酸化膜中の電子の脱出深さを 1050 eV のフォトン励起 Si 2p スペクトルの測定により決定し、1 Torr の乾燥酸素中 900℃ において形成した熱酸化膜のそれと比較した。3種類の低温酸化膜中の電子の脱出深さは、熱酸化膜中のそれよりも 15 - 20%小さい。

We determined the electron escape depths in less than 1-nm-thick low-temperature oxide layers, which were formed on Si(111) using three kinds of atomic oxygen at 300°C, by measuring Si 2p photoelectron spectra at the photon energy of 1050 eV and compared with that in the thermal oxide layer formed in 1 Torr dry oxygen at 900°C. It was found that the electron escape depths in three kinds of low-temperature oxide layers are 15 - 20% smaller than that in the thermal oxide layer.

液晶ディスプレイにおいて従来の a-Si (アモルファスシリコン) TFT (薄膜トランジスタ) よりも飛躍的に画質を向上できる Poly-Si (多結晶シリコン) TFT を安価なガラス基板やプラスチック基板上に形成するためには、400℃ 以下の低温において高品質のゲート酸化膜/シリコン界面の形成法を確立する必要がある。ゲート酸化膜/シリコン界

面構造は、酸化プロセス依存性に依存する膜厚約 1 nm の構造遷移層の化学結合状態と膜厚の均一性により主として決まる。また、SiO₂ からなる構造遷移層中の電子の脱出深さは、バルク SiO₂ 中のそれとは異なるはずであるが、これまで明かにされてこなかった。酸化プロセス依存性に強く依存すると考えられる膜厚約 1 nm の構造遷移層の電子の脱出

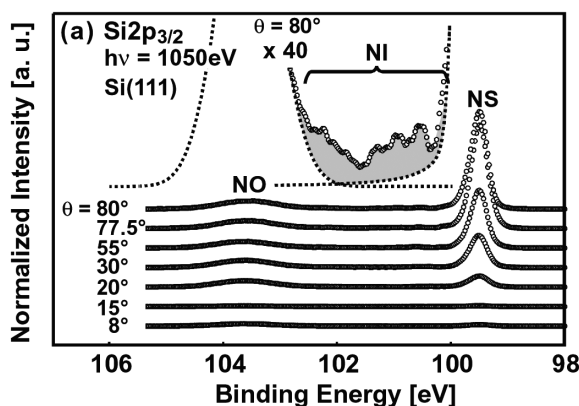


図1 Kr/O₂ プラズマ酸化膜についての光電子の脱出角をパラメータとして表示した 1050 eV のフォトンで励起した Si 2p_{3/2} 光電子スペクトル

深さを明らかにしない限り、極薄シリコン酸化膜／シリコン界面構造のプロセス依存性を明らかにすることはできない。

今回、2.45 GHz のマイクロ波励起プラズマおよび真空紫外光により生成した原子状酸素を用いて 3 種類のシリコンの低温酸化膜、すなわち、膜厚 0.70 nm のクリプトン希釈酸素ガスプラズマ(Kr:O₂ = 97:3)により形成した酸化膜（以下、Kr/O₂ プラズマ酸化膜と呼ぶ）、膜厚 0.57 nm の酸素ガスプラズマにより形成した酸化膜（以下、O₂ プラズマ酸化膜と呼ぶ）および膜厚 0.66 nm の波長 172 nm の真空紫外光により形成した酸化膜（以下、光酸化膜と呼ぶ）を、いずれも (111) の面方位を有する Si のエピタキシャル層上に 300℃ において形成した。また、参照試料として膜厚 0.70 nm の高品質熱酸化膜をオフ角 0.01° の Si(111)面上に乾燥酸素中 900℃ で形成した。これらの膜のシリコン酸化膜／シリコン界面における組成遷移層の化学結合状態と膜厚の不均一性を明らかにするために、1050 eV のフォトンで励起した Si 2p 光電子スペクトルと 714 eV で励起した O 1s 光電子のエネルギー損失スペクトルをそれぞれ測

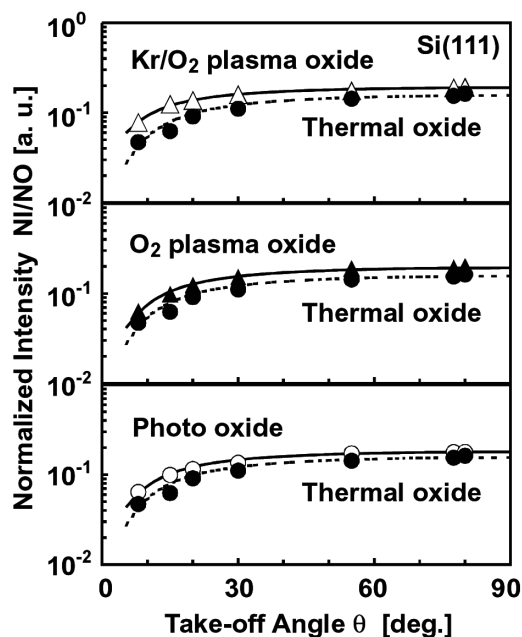


図2 3種類の低温酸化膜および熱酸化膜についてのスペクトル強度比 NI/NO の光電子の脱出角 θ への依存性

定した。

図1に、Si 2p_{3/2} 光電子スペクトルの測定例として、Kr/O₂ プラズマ酸化膜のスペクトルを示す。この図によれば、光電子の脱出角の減少とともに、シリコン基板に由来する Si 2p_{3/2} 光電子スペクトルが減少する。これは、シリコン基板がシリコン酸化膜で覆われていることを意味している。また、図1に示すように、Si¹⁺、Si²⁺ および Si³⁺ から構成されるシリコンの中間酸化状態に由来する Si 2p_{3/2} スペクトル強度を NI、SiO₂ に由来する Si 2p_{3/2} スペクトル強度を NO とすれば、3種類の低温酸化膜についてのスペクトル強度比 NI/NO の光電子の脱出角 θ への依存性は、図2に示すようになる。それぞれの図には、熱酸化膜についてのスペクトル強度比 NI/NO の光電子の脱出角 θ への依存性を示した。

中間酸化状態にあるシリコンの面密度 NI は、シリコン基板に由来する Si 2p_{3/2} スペク

表 1 酸化膜中の電子の脱出深さ

	Kr/O ₂ プラズマ酸化膜	O ₂ プラズマ酸化膜	光酸化膜	熱酸化膜
Λ_o (nm)	2.1	2.0	2.0	2.5

トル強度を NS とすれば、NI/NS の測定値、シリコン基板中のシリコンの原子密度 n_s 、シリコン基板中の電子の脱出深さ Λ_s 、光電子の脱出角 θ で表すことができる。この中間酸化状態にある Ni から放出される光電子数は酸化膜中の非弾性散乱により減少する。その減少の程度は、光電子の脱出角 θ が小さくなるほど大きくなる。したがって、NI/NO の光電子の脱出角 θ への依存性から、酸化膜中の電子の脱出深さ Λ_o が決定できるはずである。この脱出深さ、酸化膜中のシリコン原子密度 n_o 、 n_s 、 Λ_s 、 θ を用いて、シリコン酸化膜の膜厚 d が定義される。この d を用いて、NI/NO の光電子の脱出角 θ への依存性から新たに酸化膜中の電子の脱出深さ Λ_o を決定する。このような計算を、 Λ_o と d が一定値に収斂するまで繰り返す。このようにして決定した Λ_o を表 1 に示す。この表によれば、3 種類の低温酸化膜中の電子の脱出深さは、熱酸化膜中のそれよりも 15 - 20% 小さい。これは、低温酸化膜と熱酸化膜の密度の違いを反映している。

参考文献

- [1] R. Flitsch and S. I. Raider, J. Vac. Sci. Technol. **12** (1975) 305.
- [2] Z. H. Lu, J. P. McCaffrey, B. Brar, G. D. Wilk, R. M. Wallance, L. C. Feldman, and S. P. Tay, Appl. Phys. Lett. **71** (1997) 2764.
- [3] M. Goto, K. Azuma, T. Okamoto, and Y.

- Nakata, Jpn. J. Appl. Phys. **42** (2003) 7033.
- [4] K. Takahashi, H. Nohira, K. Hirose, and T. Hattori, Appl. Phys. Lett. **38** (2003) 3422.
- [5] M. P. Seah and W. A. Dench, Surf. Interface Anal. **1** (1979) 2.
- [6] Y. Sugita, S. Watanabe, N. Awaji and S. Komiya, Appl. Surf. Sci. **100/101** (1996) 268.
- [7] C. Meyer, G. Lüpke, Z. G. Lü, A. Götz, and G. Lucovsky, J. Vac. Sci. & Technol. **B 14** (1996) 3107.
- [8] L. J. Brillson, A. P. Young, B. D. White, and J. Schäfer, J. Vac. Sci. & Technol. **B 18** (2000) 1737
- [9] K. Takahashi, M. B. Seman, K. Hirose, and T. Hattori, Jpn. J. Appl. Phys. **41** (2002) L223.