

Ge 酸化に伴う表面平坦性の劣化と酸化機構の変化

Degradation of surface flatness and change of oxidation mechanism during Ge oxidation

東大工, °竹村 千里, 柴山 茂久, 西村 知紀, 矢嶋 越彬, 鳥海 明

Univ. of Tokyo, °S. Takemura, S. Shibayama, T. Nishimura, T. Yajima, and A. Toriumi

E-mail: takemura@adam.t.u-tokyo.ac.jp

【研究背景】 Ge の酸化機構は O_2 の酸化膜中拡散だけではなく、界面における GeO_2 による酸化を考慮することが必要と考えられている^[1]。後者のプロセスは GeO の脱離を引き起こす GeO_2/Ge 界面反応と見ることができる ($GeO_2 + Ge \rightarrow 2GeO_2 + 2V_O$)^[2]。高真空、低温領域における酸化による界面の変化は報告されているが^[3]、実際の FET においては常圧、高温条件における酸化膜形成後の界面平坦性の維持が求められている。本講演では、常圧、高温における Ge の酸化による GeO_2/Ge 界面の平坦性の変化を調べた結果を報告する。

【実験方法】 p 型 Ge (111) 基板を化学洗浄後、表面形態変化を明確化するために、100%の H_2 雰囲気中における 750°C の熱処理を行い、原子レベルで平坦な Ge 表面を用意した^[4]。その後、実際の酸化条件を模擬するために、540°C、1 気圧 O_2 雰囲気による酸化を行った。最後に酸化膜を HF で剥離した後に Ge 表面を AFM で観測することによって、酸化による表面形態の変化を調べた。

【実験結果と考察】 図 1(a) は H_2 熱処理後に得られた原子レベル平坦な Ge(111) 表面、(b) それを HF 処理した直後の表面である。マクロなテラスが明確に観測され、HF による処理だけでは表面形態への影響はないことが確認された。次に酸化の進行に伴う Ge 表面形態の変化を調べた。図 2(a) は 4.5 nm の酸化膜形成後に HF 剥離した Ge 表面である。酸化によってステップエッジはあまり変わらないが、テラス上には局所的に直径 10 nm 程度の多くの void が形成されているように見える。さらに 24 nm 程度の厚膜を形成した場合には、ステップエッジ形状の変化が明瞭に観測されたが (図 2(b))、テラス領域における平坦性は回復しているように見える。

一方、 GeO_2 による酸化の界面への影響を明確にするために、原子レベルで平坦な Ge(111) 表面にスパッタリング法で GeO_2 を 70 nm 堆積した後に N_2 中で 540°C、30 分間熱処理した。Ge 表面のテラス上には図 2(a) で観測されたような void 形成は観測されなかったが、ステップエッジ形状の変化が確認された (図 3)。これらの結果から、界面における反応は GeO_2 膜が薄い場合は O_2 による酸化反応が顕著に進行し、 GeO_2 膜厚の増加につれて界面の酸化反応が進行し平坦性が回復されていくことが推測される。

【結論】 540°C、1 気圧 O_2 における Ge の酸化においては、酸化膜の成長が薄膜領域では主に O_2 による酸化反応がテラス上で局所的に起こり、厚膜領域では GeO_2 による Ge 基板の酸化が均一に起きていることが推測される。 GeO 脱離過程は界面準位生成という観点からは避けなくてはならないことを考えると、通常の酸化では良好な GeO_2/Ge 界面を形成することが難しいと言える。

本研究は科研費（基盤 A）の助成を受けて行われた。

[1] X. Wang *et al.*, APL **111**, 052101 (2017). [2] S. K. Wang *et al.*, JAP **108**, 054104 (2010).

[3] A. Sakai *et al.*, ECS Trans. **3** (7), 1197 (2006). [4] T. Nishimura *et al.*, APEX **5**, 121301 (2012).

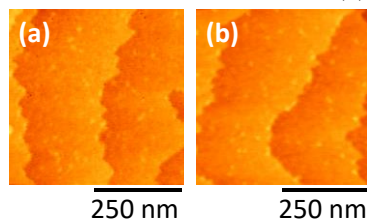


Figure 1 AFM image of Ge(111) surface after (a) H_2 anneal and (b) HF immersion.

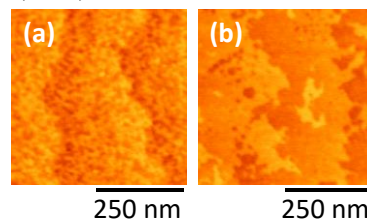


Figure 2 AFM image of Ge(111) surface after oxidation and GeO_2 etching by HF immersion. GeO_2 thickness was (a) 4.5 nm and (b) 24 nm, respectively.

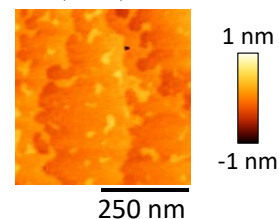


Figure 3 AFM image of Ge(111) surface after 70-nm-thick GeO_2 sputtering, N_2 annealing and GeO_2 etching by HF immersion.