

界面反応機構に基づく $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ge}$ 界面構造制御Control of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ge}$ Interface Structure Based on Mechanism of Interface Reaction名大院工¹, 学振特別研究員²°柴山 茂久^{1,2}, 加藤 公彦¹, 坂下 満男¹, 竹内 和歌奈¹, 田岡 紀之¹, 中塚 理¹, 財満 鎮明¹
Graduate School of Eng., Nagoya Univ.¹, Research Fellow of Japan Society for the Promotion of Science²°S. Shibayama¹, K. Kato^{1,2}, M. Sakashita¹, W. Takeuchi¹, N. Taoka¹, O. Nakatsuka¹, and S. Zaima¹

E-mail: ssibayam@alice.xtal.nagoya-u.ac.jp

【はじめに】高駆電力を有する Ge チャネル MOSFET の実現には、薄い SiO_2 等価酸化膜厚と high-k 絶縁膜/Ge 構造の界面準位密度 (D_{it}) の低減を同時に達成することが重要である。これまでに我々は、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ge}$ 構造に対する熱酸化による、界面構造および界面反応機構を明らかとしてきた[1]。 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ge}$ 界面には AlGeO 層が主に形成され、 GeO_2 層は Al_2O_3 表面に形成される。一方、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ge}$ 構造の界面特性は、界面に形成される AlGeO 層と強い相関がある。また GeO_2 形成が、 Al_2O_3 膜中の酸素の拡散で律速する。そこで本研究では、EOT 低減と D_{it} 低減を両立するため、酸素流量の低減により、 Al_2O_3 表面における GeO_2 形成を抑制しつつ、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ge}$ 界面における安定な AlGeO 層の形成を試みた。

【実験方法】希フッ酸洗浄を施した p-Ge(001)基板上に、原子層堆積 (ALD) 法を用いて、基板温度 300°C で膜厚 1 nm の Al_2O_3 を堆積した。その後、 $200\text{--}550^\circ\text{C}$ で 30 秒-10 分間の熱酸化を施した。また、酸素と窒素の流量比 $R_0 = F_{\text{O}_2}/(F_{\text{O}_2} + F_{\text{N}_2})$ を、10%および 5%で行った。なお、酸素および窒素の流量の和は、1.5 l/min とした。熱酸化を施した $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ge}$ 構造の Ge 酸化物の化学結合状態を、SPRING-8/BL46XU における硬 X 線光電子分光 (HAXPES) 測定および AlK α 線源を用いた X 線光電子分光 (XPS) 測定によって評価した。

【結果および考察】図 1 は、 Ge^{x+} ($x=1\text{--}4$)成分の面密度の熱酸化温度依存性である。面密度の算出のため、HAXPES 測定および XPS 測定によって得られた、 $\text{Ge}2p_{3/2}$ および $\text{Ge}3d$ スペクトルを、Ge 基板ピーク (Ge^0)、Ge サブオキサイドピーク ($\text{Ge}^{1+}\text{--}\text{Ge}^{3+}$)、および GeO_2 (Ge^{4+}) の 5 成分にピーク分離した。その後、ピークの面積強度比 ($\text{Ge}^{x+}/\text{Ge}^0$) を算出し、面密度に換算した。これまで、 $300\text{--}500^\circ\text{C}$ の温度範囲における Ge^{3+} 成分の面密度の増大は、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ge}$ 界面における AlGeO 形成を示し、 500°C 以上において Ge^{3+} が飽和しているのは、安定な $\text{Al}_6\text{Ge}_2\text{O}_{13}$ が界面で形成されていることに相当すると報告してきた。一方、 Ge^{4+} 面密度の温度に対する単調な増加は、 Al_2O_3 膜中の酸素の拡散で律速され、主に Al_2O_3 表面における GeO_2 形成を示している。

ここで、酸素流量比が 10%および 5%の試料に着目すると、 Ge^{3+} 面密度は、 $\sim 2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ であり、酸素流量比に依存せず、飽和領域に達している。一方 Ge^{4+} 面密度は、10 min 間の熱酸化の結果と比べて、大幅に減少し、酸素流量比の減少にともない減少している。このことから、酸素流量比を下げることで、 Al_2O_3 表面における Ge^{4+} 形成を抑制しつつ、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ge}$ 界面に安定な AlGeO を形成できることが分かった。

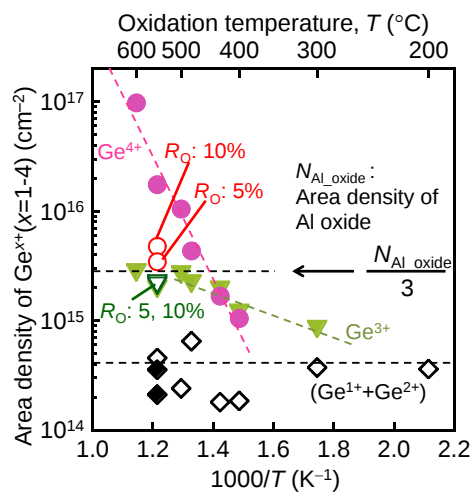
[1] S. Shibayama *et al.*, Appl. Phys. Lett., to be submitted

Fig. 1 Temperature dependence of the area density of Ge oxide components ($\text{Ge}^{1+}\text{--}\text{Ge}^{4+}$) for the photoelectron take-off angle of 80° . R_0 is the oxygen partial flow.