

熱酸化における Ge(001)基板上 Ge_{1-x}Sn_x 層の表面 Sn 析出に対する熱安定性Robustness of Sn Precipitation at Ge_{1-x}Sn_x Surface on Ge(001) during Thermal Oxidation

名大院工 ○加藤 公彦, 浅野 孝典, 田岡 紀之, 坂下 満男, 中塚 理, 財満 鎮明

Grad. School Eng., Nagoya Univ. K. Kato, T. Asano, N. Taoka, M. Sakashita, O. Nakatsuka, S. Zaima

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

【はじめに】ゲルマニウムスズ混晶 (Ge_{1-x}Sn_x) は、8%を超える高 Sn 組成化により直接遷移化が可能であり、高性能 MOSFET のチャネル材料として注目を集めている [1,2]。また、これまで我々は、価電子帯端近傍の界面準位密度の減少に対し、Ge_{1-x}Sn_x の熱酸化が有望であることを見出した[3]。一方、Sn の平衡固溶限界は非常に小さく (~1 at%)、Ge_{1-x}Sn_x 層表面における Sn の偏析や析出は、MOSFET の性能に大きく影響を与えると考えられる。しかしながら、平衡固溶限界を超えて Ge_{1-x}Sn_x 結晶中に取り込まれた Sn の熱プロセスに伴う表面析出現象は十分に理解されていない。そこで、本研究では、Ge 基板上にエピタキシャル成長した高 Sn 組成 Ge_{1-x}Sn_x 層に対する熱酸化が、Ge_{1-x}Sn_x 層の歪構造や表面における Sn 析出に与える影響を明らかにした。

【実験手順】化学洗浄および真空中熱処理を施した p-Ge(001)基板上に、分子線エピタキシ法により、基板温度 150°C において、Ge 基板に格子整合した厚さ 30 nm の Ge_{1-x}Sn_x 層を形成した。続いて、Ge_{1-x}Sn_x 層表面の自然酸化膜を希フッ酸により除去し、熱酸化を施した。酸化温度は 400~600°C、酸化時間は 1~10 min であり、Ge 基板を約 2 nm 酸化する時間に統一した。

【結果および考察】熱酸化前後の Ge_{1-x}Sn_x/Ge 試料における Ge_{1-x}Sn_x 層の平均的な結晶構造を、X 線回折 (XRD) ω -2 θ プロファイルより評価した (Fig. 1)。Ge(001)基板上に格子整合した Ge_{1-x}Sn_x 層の弾性変形を仮定した場合、Ge_{1-x}Sn_x 層に起因する回折ピーク位置から、熱酸化前の Ge_{1-x}Sn_x 層の Sn 組成 (C_{Sn-XRD}) は 2、4、および 9%と見積もられた。9%の高 Sn 組成を有する試料において、熱酸化に伴う Ge_{1-x}Sn_x の結晶構造変化に着目すると、400°C で熱酸化を施した試料においては、ピークの半値幅が僅かに増大することがわかる。しかしながら、回折ピーク角には顕著な変化は見られない。よって、Sn 組成揺らぎの増大が示唆されるものの、Ge_{1-x}Sn_x 層は Ge 基板上に安定に格子整合していると考えられる。一方、600°C の熱酸化後においては、回折ピーク角が増大する。二次元逆格子マッピングを併せた評価より、この回折角の増大は、層中の Sn 組成減少によるものと考えられる。

熱酸化に伴う Ge_{1-x}Sn_x 層表面 Sn 組成の変化を、X 線光電子分光 (XPS) 法により評価した (Fig. 2)。使用した励起 X 線は MgK α 線 ($h\nu = 1254$ eV) であり、光電子の平均自由行程は 3 nm 以下と小さいため、XPS は表面敏感な測定である。熱酸化前の試料において、XPS により評価した Sn 組成 (C_{Sn-XPS}) は C_{Sn-XRD} に比べて約 2 倍大きい。Ge_{1-x}Sn_x 層表面近傍においては、熱酸化前に既に Sn が偏析していると考えられる。しかしながら、この C_{Sn-XPS} は、500°C 以下の熱酸化においてはほとんど変化せず、高い安定性を有することがわかる。また、C_{Sn-XRD} が 2%の試料においては、熱酸化温度が 600°C の場合においても C_{Sn-XPS} に顕著な変化は見られず、Sn の表面析出や偏析は生じていないと考えられる。一方、C_{Sn-XRD} が 9%の試料においては、600°C の熱酸化に伴い C_{Sn-XPS} が顕著に増大する。よって、9%の高 Sn 組成を有する Ge_{1-x}Sn_x 層においては、熱酸化温度が 600°C に増大した際に、層中から層表面への Sn の拡散および Sn の析出が生じることが、XRD および XPS を用いた評価より明らかとなった。

[1] S. Gupta *et al.*, Tech. Dig. IEDM 2011, p. 398. [2] K. L. Low *et al.*, J. Appl. Phys. **112** (2012) 103715. [3] K. Kato *et al.*, Abstr. of IWDTF, p. 99 (2013).

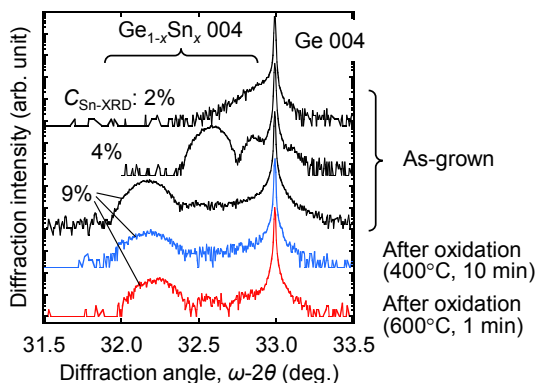


Fig. 1 XRD out-of plane ω -2 θ profiles of the Ge_{1-x}Sn_x/Ge samples before and after oxidation.

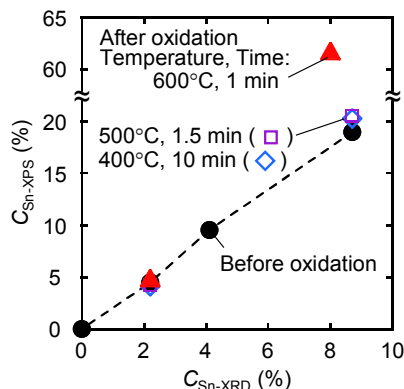


Fig. 2 Relationship of Sn content of the Ge_{1-x}Sn_x layer evaluated by XRD and XPS.