

表面偏析法による Al(111)表面上に作製した GeSn ナノシートの構造観察

Observation of GeSn nanosheets formed on Al(111) using surface segregation method

名大院工¹, 福岡大理², 広大 RISE³, 広大院先進理工⁴, 明大 MREL⁵

○松本 泰河¹, 大田 晃生², 横川 凌^{3,4,5}, 黒澤 昌志¹, 坂下 満男¹, 中塚 理¹, 柴山 茂久¹

G.S. of Eng., Nagoya U.¹, Fac. of Sci., Fukuoka U.², RISE³, G.S. of Adv. Eng., Hiroshima U.⁴, MREL⁵

[○]T. Matsumoto¹, A. Ohta², R. Yokogawa^{3,4}, M. Kurosawa¹,

M. Sakashita¹, O. Nakatsuka¹, and S. Shibayama¹

E-mail: matsumoto.taiga.k0@s.mail.nagoya-u.ac.jp, s-shibayama@nagoya-u.jp

【研究背景】近年の究極的に微細化されたナノシート (NS) 型トランジスタのチャネル材料として、ゲルマニウム系二次元材料 (ゲルマネン, ゲルマニウムナノシート (Ge-NS)) が注目されている。我々は Ge-NS よりも高移動度かつ高バンドギャップを実現できると期待される GeSn-NS に目し、大気中安定な形での GeSn-NS 創製および物性評価を目指している。

これまでに、Al/Ge_{1-x}Sn_x(111)エピタキシャル層から Al 膜を介した GeSn 表面偏析を報告したが、GeSn 偏析層には酸化物が含まれ、非晶質構造であった[1]。そこで GeSn 偏析層中の酸化物除去を可能とする新プロセス開発に取り組み[2]、今回、本プロセスを用いて形成した GeSn 偏析層の断面構造観察を行った。その結果、GeSn 偏析層の結晶化を実証できたので報告する。

【試料作製】Ge(111)基板の上に分子線エピタキシー法により、膜厚 37 nm の Ge_{1-x}Sn_x(111) (Sn 組成: 12%) を、成長温度 150 °C でエピタキシャル成長した。続いて、体積比で 1% および 20% のフッ酸および塩酸の希釈混合溶液を用いて Ge_{1-x}Sn_x(111)表面の酸化物除去を行った。その後、真空蒸着装置にて、表面吸着水および残留酸化物除去のため、~10⁴ Pa で 300 °C, 30 min の真空中熱処理を行い、続けて膜厚 35 nm の Al 層を成長温度 100 °C にて成長した。その後、偏析誘起のために、窒素雰囲気下で 300 °C, 30 min の後熱処理を行った。

【結果および議論】事前に、偏析層に酸化物が含まれていないこと、偏析層は厚さ 0.78 nm で、Sn 組成 19% の GeSn で構成されることを X 線光電子分光法 (XPS) で確認した (結果省略)。Fig.1 は、後熱処理後の試料に対する明視野 STEM 観察結果である; (a) Al/Ge_{1-x}Sn_x/Ge 積層構造, (b) GeSn 偏析層の拡大図。(a)より、XPS 法で観察された通り、Al₂O₃/Al 界面に GeSn 偏析層の存在が確認できる。Ge_{1-x}Sn_xエピタキシャル層および Al 層の III 軸方向の面間隔は、FFT を用いて、それぞれ 3.4 Å および 2.4 Å と算出された。次に、(b)の原子分解能 STEM 観察結果より、GeSn 偏析層が結晶化することが分かる。偏析層厚さは約 0.7 nm であり、XPS 結果と整合する。また、GeSn 偏析層は、Al 層と異なる周期性を持った結晶構造を有していることも分かった。GeSn 偏析層の III 方向への面間隔は 2.5 Å であり、Ge_{1-x}Sn_xエピタキシャル層の面間隔とも明らかに異なる。

これまで、堆積法によって Al(111)基板の上に形成したゲルマネンの基板との層間距離が 2.5 Å[3]であり、Cu(111)基板の上に形成した 2 層ゲルマネンの 1 層目と 2 層目の層間距離が 2.7 Å[4]であると報告されている。今回の観察結果はこれら先行研究の値と近いことから、GeSn 偏析層はダイヤモンド構造の極薄 IV 族結晶ではなく、二次元的な構造を有することが示唆される。

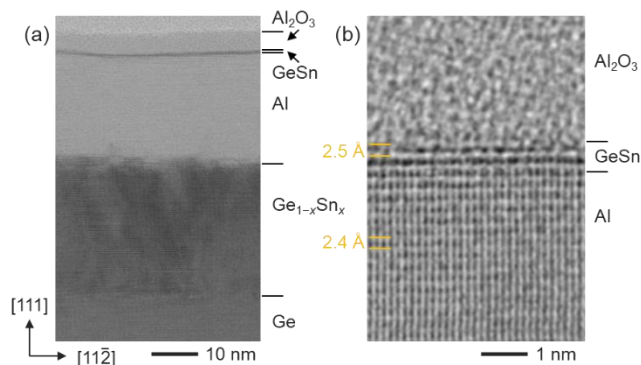


Fig.1 (a) Cross-sectional bright-field STEM image for Al/Ge_{1-x}Sn_x(111) structure with subjected to PDA at 300 °C. (b) Enlarged image of GeSn segregation layer.

[1] 松本泰河 他, JSAP 第 84 回 秋季学術講演会, 22p-P03-1, 2023 年. [2] 松本泰河 他, JSAP 第 85 回 秋季学術講演会, 19p-B5-8, 2024 年. [3] Y. Fukaya *et al.*, 2D Mater. **3**, 035019 (2016). [4] Z. Qin *et al.*, Adv. Mater. **29**, 1606046 (2017).

本研究は JSPS 科研費 (挑戦的研究 (萌芽), 23K17745), 一部はキヤノン財団, JST PRESTO (JPMJPR21B6), JST CREST (JPMJCR21C2), JSPS 科研費 (基盤 B, 21H01809, 22H01524) の支援を受けて実施された。