

Si(111)基板上 Al/Ge エピタキシャル層からの偏析による極薄 Ge 形成

Ultra-thin Ge formation using segregation by Al/epitaxial Ge layer on Si(111) substrate

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

○奥田 太一¹, 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

Nagoya Univ.¹, Fukuoka Univ.², RISE³, Hiroshima Univ.⁴, MREL⁵

○T. Okuda¹, A. Ohta², R. Yokogawa^{3,4,5}, M. Kurosawa¹, M. Sakashita¹, O. Nakatsuka¹, S. Shibayama¹

E-mail: okuda.taichi.t7@nagoya-u.ac.jp, s-shibayama@nagoya-u.jp

[研究背景] ゲルマネンは Ge 原子一層で構成される二次元層状物質である。高い電子移動度^[1]とバンドギャップを有する^[2]ため、最先端 CMOS のチャンネル材料として期待されているが、大気曝露による酸化すなわち構造破壊が容易に起こり、大気中での物性評価が困難であることが課題である。

我々は、大気中での物性評価を可能な構造を有するゲルマネンやゲルマニウムナノシート (Ge-NS) 合成に向けて、Al 金属膜を介した偏析法に着目している。これまで、Ge(111)基板上に Al 膜をエピタキシャル成長させた構造からの Ge 極薄膜偏析は報告されているが^[3]、低コスト化や大面積化を見据えると、Si(111)基板上での Ge の極薄膜結晶の合成が重要である。本研究の目的は、Si(111)基板上での優れた結晶性を有する Ge 極薄膜結晶形成の実現である。

本研究では、Si(111)基板上に形成した Ge エピタキシャル膜への Al 金属膜のエピタキシャル成長および偏析法による Ge 極薄膜結晶の合成を検討した。Ge エピタキシャル膜の平坦性が Al(111)膜の結晶性や偏析した Ge 極薄膜結晶の厚さに与える影響について、Ge 基板上的結果と比較しながら議論する。

[試料作製手順] Si(111)基板上に分子線エピタキシー (MBE) 法により、膜厚 100 nm の低温 Ge 層を基板温度 320 °C で成長した後、膜厚 900 nm の高温 Ge 層を基板温度 400 °C でエピタキシャル成長した。Ge のエピタキシャル成長を、X 線回折法を用いて確認した (結果省略)。一部の試料に対して、化学機械研磨 (CMP) による、Ge 膜の表面平坦化を行った後、抵抗加熱蒸着法にて膜厚 30 nm の Al 層を堆積温度 150 °C で堆積した。最後に、200 および 300 °C、30 min の N₂ 雰囲気熱処理を行った。

[結果および議論] Fig. 1 に、(a) Ge 基板および、(b) CMP 前、(c) CMP 後の Ge エピタキシャル膜表面の原子間力顕微鏡 (AFM) 像を示す。CMP の実施により RMS ラフネスが 2.17 nm から 0.12 nm まで大幅に低減し、自然酸化膜除去直後の Ge(111)基板より平坦な表面を得ることができた。

次に、それぞれの試料に Al 層を堆積させた後の Al *111* 逆格子点における ω ロッキングカーブ測定から、CMP によりピーク半値幅の大幅低減が可能と分かった (Fig.2)。CMP 処理を施した試料においては、Ge 基板上的 Al 層と同等の結晶性を有する Al 層の形成を確認できることから、下地 Ge 膜の表面平坦性が高品質 Al 層の形成の鍵であることが分かる。

最後に、偏析 Ge 極薄膜結晶の厚さを X 線光電子分光法で評価した結果を Fig. 3 に示す。膜厚の算出では、偏析層が均一に Al 層上に形成されていると仮定した。熱処理温度の増大ともなう Ge 偏析量の増大が全ての試料において確認された。3 つの試料間で Ge 偏析量に有意な差は見られないことから、Ge 偏析量は Al 層の結晶性や表面平坦性に依らない可能性が示唆された。

以上、Si(111)基板上において、MBE 法や CMP の駆使によって形成した、高品質かつ平坦な Ge エピタキシャル膜からも、偏析 Ge 極薄膜結晶の形成が可能である。

[謝辞] 本研究はキャノン財団、一部は JSPS 科研費 (挑戦的研究 (萌芽); 23K17745, 基盤 B; 22H01524), JST CREST (JPMJCR21C2), JST PRESTO (JPMJPR21B6) の支援を受けて実施された。

[1] X.-S. Ye *et al.*, RSC Adv. **4**, 21216 (2014). [2] C.-C. Liu *et al.*, Phys. Rev. Lett. **107** 076802 (2011). [3] M. Kobayashi *et al.*, Jpn J. Appl. Phys. **59** SGGK15 (2020).

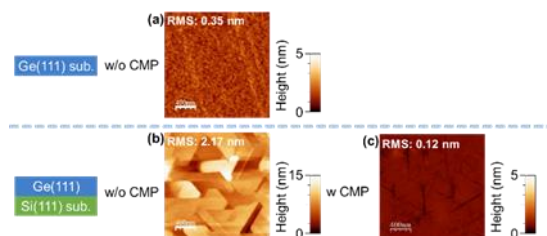


Fig. 1 AFM images of (a) Ge(111) substrate without CMP, (b) Ge on Si(111) substrate without CMP, and (c) Ge on Si(111) substrate with CMP. RMS roughness values are shown in the upper left corner of each AFM image.

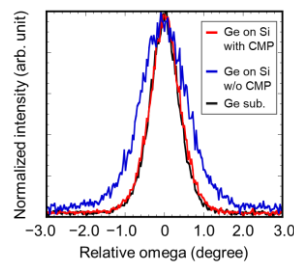


Fig. 2 ω rocking curves of the Al *111* diffraction for each sample. All peaks are normalized to the maximum intensity.

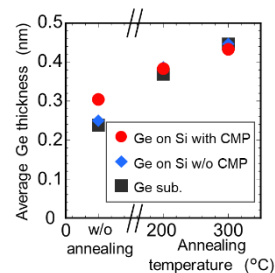


Fig. 3 Average thicknesses of Ge segregated on Al surface as a function of annealing temperature.