

Al/Ge(111)の表面偏析制御による極薄 Ge 結晶形成

Formation of Ultrathin Ge Crystal on Al/Ge(111) by Control of Ge Segregation

名大院工 °小林征登, 大田晃生, 田岡紀之, 池田弥央, 牧原克典, 宮崎誠一

Grad. Sch. of Eng., Nagoya Univ., °M. Kobayashi, A. Ohta, N. Taoka, M. Ikeda, K. Makihara, S. Miyazaki

E-mail: kobayashi.masato@h.mbox.nagoya-u.ac.jp

序Ge と共晶反応を示す Ag を、真空蒸着により Ge(111)上にヘテロエピタキシャル成長させ、N₂ 雰囲気中[1](もしくは真空中[2])で熱処理することで、Ag 表面の平坦化と Ge 原子の表面偏析が進行し、二原子層程度の極薄 Ge 結晶(もしくは Ge の単原子層:ゲルマネン)を形成できる。また、Ag と同様に Ge と共晶反応を示す Al を Ge(111)基板上に真空蒸着した場合においても、Al がヘテロエピタキシャル成長し、その後 300°C の真空中熱処理をすることで Al 表面に厚さ~0.8nm の Ge 結晶が析出することを報告した[3,4]。更なる Ge 析出の精密制御と試料表面平坦化ができれば、Al 上に Ge 二次元結晶の成長が可能となる。そこで、本研究では Ge 二次元結晶の形成の指針を得ることを目的とし、Al 蒸着時の基板温度を変えて形成した Al/Ge(111)構造において、表面形状および偏析した Ge の結晶状態を評価した。

実験方法>p 型 Ge(111)基板を 4.5%に希釈した HF 溶液に浸漬し自然酸化膜を除去した後、蒸着装置内で真空中の熱処理(300°C, ~1.5×10⁻⁴ Pa)により Ge(111)表面を清浄化した。その後、真空蒸着(到達圧力:~1.5×10⁻⁵ Pa)を用いて、厚さ~50nm の Al 層を室温または 100°C で堆積した。

結果及び考察>室温または 100 °C の基板温度で形成した Al/Ge(111)構造の AFM 表面形状像を Fig.1 に示す。室温堆積に比べて 100 °C で Al 層を堆積することで表面の凹凸が減少し、その平均二乗粗さ(RMS)は 0.9nm から 0.3nm まで低減することが分かった。Al 堆積中の基板加熱による Al 原子のマイグレーションにより、表面平坦化が進行したと考えられる。このとき、別途行った光電子分光(XPS)測定より、100 °C で Al 層を堆積した試料では、自然酸化による表面 Al 酸化膜と Al 層の間におよそ 0.5 nm 程度の厚さの Ge が析出していることが分かった。Fig.1 と同様の試料において、入射角 0.4°で X 線を入射した In-plane X 線回折(XRD)より、析出した Ge の試料表面に対して垂直な格子面の結晶性を調べた(Fig.2)。In-plane 測定における X 線の侵入深さは~数 nm であり、Al 層を室温堆積した試料では顕著なピークは認められないが、基板温度 100°C で堆積した試料ではダイヤモンド構造の Ge(220)に由来する鋭いピークが観測された。このことは、表面偏析した Ge は試料表面と平行に(111)が配向していることを示唆しており、100°C という低温にも関わらず極薄の Ge 結晶が成長していることが分かった。

結論>真空熱処理により清浄化した Ge(111)上に、100°C で Al 層を蒸着することで、平坦な試料表面上に(RMS: ~0.3nm)、厚さ 0.5nm 程度の極薄 Ge 結晶が形成できることが分かった。

謝辞>本研究の一部は、科学研究費補助金(18K19020)の支援を受けた。

参考文献> [1] K. Ito *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. 57, 06HD08 (2018). [2] J. Yuhara *et al.*, ACS Nano 12, 11632 (2018). [3] 小林 他, 2018年 第79回応用物理学会秋季学術講演会予稿集, 18p-235-7. [4] 小林 他, 2019年 第80回応用物理学会秋季学術講演会予稿集, 12a-M113-6.

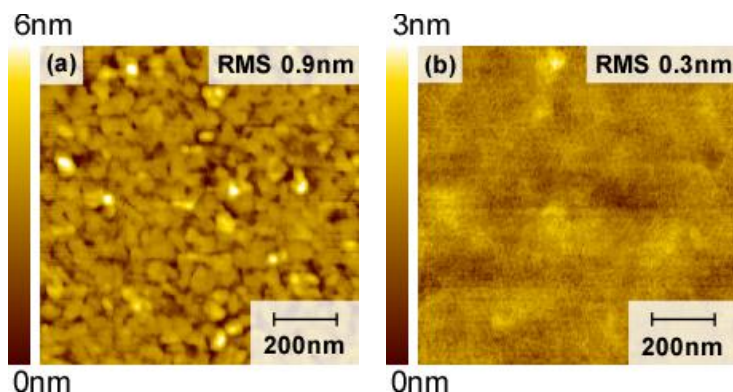


Fig. 1 AFM topographic images taken for 50nm-thick Al/Ge(111) after thermal evaporation at (a) room temperature and (b) 100 °C.

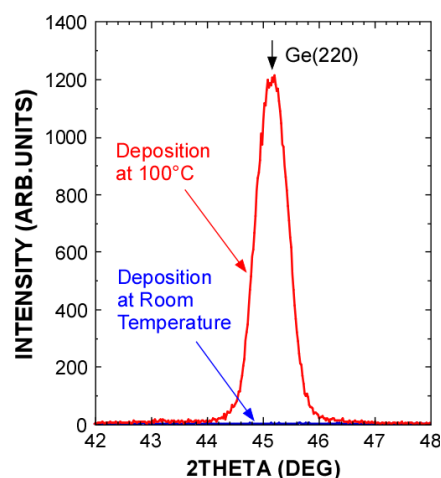


Fig. 2 In-plane XRD diffraction of segregated Ge on Al/Ge(111) structure by thermal evaporation at room temperature and 100 °C.