

基板加熱が Al/Ge(111)構造の表面平坦化と Ge 偏析に及ぼす影響 Impact of Substrate Heating on Surface Flattening and Ge Segregation of Al/Ge(111)

¹名大院工, ²(株)東レリサーチセンター

°(M1)松下圭吾¹, 大田晃生¹, 田岡紀之¹, 林将平², 牧原克典¹, 宮崎誠一¹

¹Grad. Sch. of Eng., Nagoya Univ., ²Toray Research Center Inc.

°K. Matsushita¹, A. Ohta¹, N. Taoka¹, S. Hayashi², K. Makihara¹, S. Miyazaki¹

E-mail: matsushita.keigo@f.mbox.nagoya-u.ac.jp

序> Ag/Ge(111)を窒素雰囲気中[1](もしくは真空中[2])で熱処理することで、表面平坦化と Ge 原子の表面偏析が進行し、Ag 表面に数原子層程度の極薄 Ge 結晶を形成できる。Al/Ge(111)においても同様に、熱処理により Al 表面に極薄 Ge 結晶が析出する[3]。本研究では、表面偏析による極薄 Ge 結晶の形成指針を得ることを目的とし、Al 蒸着時の基板加熱による表面平坦化と、窒素雰囲気熱処理による表面形状変化と Ge 析出を評価した。

実験方法> p 型 Ge(111)基板を 4.5%希釈 HF 溶液浸漬と真空中熱処理(400°C, 30min, $\sim 3.0 \times 10^{-3}$ Pa)により表面清浄化を行った後、室温もしくは基板加熱して厚さ 30nm の Al 薄膜を蒸着した(到達真空度: $\sim 3.0 \times 10^{-5}$ Pa)。その後、一部の試料は、300°C および 400°C で窒素雰囲気中熱処理(10min)を行った。

結果および考察> Fig.1 に、室温および基板加熱して Al を蒸着した試料の AFM 像を示す。室温に比べて、100°C に基板加熱することで試料表面の平坦化が進行し、その二乗平均粗さ(RMS)は 0.50nm から 0.26nm に低下する。200°C の場合は、高低差 2nm 以上の表面荒れが起こる。したがって、基板加熱による Al 原子のマイグレーションの制御が、表面平坦化に有効であることが分かった。さらに、Ge 原子の表面偏析を促進するために、室温および 100°C で形成した Al/Ge(111)の窒素雰囲気中熱処理後の AFM 像を Fig.2 に示す。いずれの試料においても、300°C の熱処理前後で表面荒れは認められない。200°C で Al を蒸着した場合に、表面荒れが生じたことを考慮すると、大気暴露により表面酸化膜が形成され、安定性が向上したと考えられる。室温形成よりも表面平坦性が高い 100°C で Al 蒸着した試料において、放射光(hv=360.3eV)を用いた XPS により、熱処理による Ge 原子の表面偏析を評価した(Fig.3)。熱処理前の試料表面に、Ge 偏析に相当する Ge-Ge 結合成分が観測される。熱処理温度の増大に伴い、Ge 偏析量は徐々に増加し、400°C の熱処理では Ge-O 結合成分が検出されることから、表面酸化膜との反応が示唆される。信号強度より概算した Ge 膜の平均膜厚は、熱処理前で 0.1nm、300°C で 0.4nm、400°C で 0.5nm であり、サブナノメートルの Ge 膜が析出できることが分かった。ここで、平衡状態の相図によると Al 中の Ge 原子の固溶度は 205°C で ~ 0.1 at.%, 310°C で ~ 0.8 at.%, 395°C で 1.5~2.0at.%[4]であり、Al 上の Ge の表面偏析は温度による固溶度の変化だけでなく、一部では結晶粒界などを介した局所的な拡散の寄与が考えられる。

結論> Ge(111)上に 100°C で Al 蒸着することで極平坦な表面(RMS: ~ 0.3 nm)を形成でき、窒素雰囲気熱処理によりその平坦性を維持して Ge 偏析量を制御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(19H02169 および 20K21142)、および村田学術振興財団研究助成より支援を受けた。また、放射光 XPS は、あいちシンクロトロン BL7U にて実施した。

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] M. Kobayashi *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **59**, SGGK15 (2020). [4] A. J. McAlister *et al.*, Bulletin of Alloy Phase Diagrams **5**, 341 (1984).

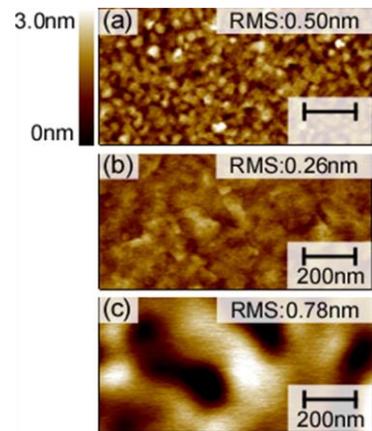


Fig.1 AFM images for the 30nm-thick Al evaporation on Ge(111) maintained at (a) R.T., (b) 100°C, and (c) 200°C.

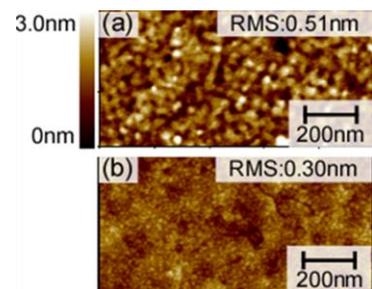


Fig.2 AFM images for the Al/Ge(111) after N₂ anneal at 300°C. Al was evaporated on Ge(111) maintained at (a) R.T. and (b) 100°C.

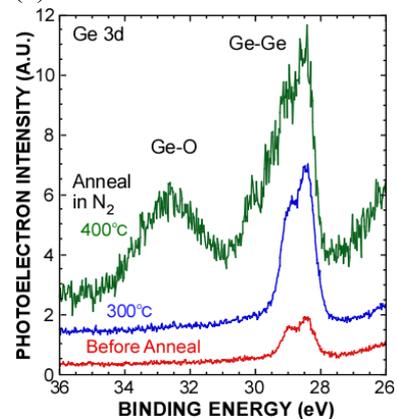


Fig.3 Ge3d spectra for Al/Ge(111) before and after N₂ anneal. In Al evaporation, Ge(111) was heated at 100°C.