## Ge 上にエピタキシャル成長した Ag(111)表面の平坦化および化学構造評価

Surface morphology and Chemical Bonding Features of Epitaxial Ag(111) grown on Ge

名大院工1、名大高等研究院2、名大未来研3

°伊藤公一¹、大田晃生 ¹,²、黒澤昌志 ¹,²、洗平昌晃 ¹,²,³、池田弥央 ¹、牧原克典 ¹、宮崎誠一 ¹ Grad. Sch. of Eng., Nagoya Univ.¹, Inst. Adv. Res., Nagoya Univ.², IMaSS, Nagoya Univ.³ °K. Ito¹, A. Ohta¹,², M. Kurosawa¹,², M. Araidai¹,²,³, M. Ikeda¹, K. Makihara¹, S. Miyazaki¹ E-mail: itou.kouichi@h.mbox.nagoya-u.ac.jp

**序>**炭素(C)より重い IV 族元素の二次元結晶(シリセン、ゲルマネン、スタネン)は高いキャリア移動度を持ち、バンドギャップ制御やトポロジカル絶縁性の発現などが期待されている究極の薄膜材料である[1,2]。これまでに、超高真空中で清浄化した Pt(111)上に Ge 原子を蒸着し、600-750K で 30 分間熱処理をすることによりゲルマネンが合成できることを走査トンネル顕微鏡(STM)および低速電子線回折(LEED)分析により明らかにされている[3]。また、我々は、化学溶液洗浄した Si(111)および Ge(111)基板上に形成した厚さ 60nm の Ag おいて、400℃以上の熱処理により、Ag 膜上に平均厚さ数 nm の Si 層および Ge 層を析出できることを明らかにした[4]。本研究では、Ge(111)上にエピタキシャル成長したAg(111)において、熱処理温度が表面平坦性と析出した Ge の化学結合状態に及ぼす影響を調べた。

**実験方法**>Ge(111)基板を 4.5%HF 溶液および純水で洗浄後、真空蒸着(到達圧力: $-4x10^{\circ}$ Torr)により厚さ -100nm の Ag を堆積した。蒸着した Ag 膜がエピタキシャル成長していることを X 線回折(XRD)および電子線後方散乱回折法(EBSD)により確認した。その後、Ag 表面を 4.5%HF 溶液および純水で洗浄し、乾燥  $N_2$ 雰囲気中で熱処理を行った。

結果及び考察>Ge(111)上にエピタキシャル成長した Ag(111)において、熱処理前後の表面形状を原子間

力顕微鏡(AFM)で評価した (図 1)。 $350^{\circ}$ C の熱処理によ り平均二乗粗さ(RMS)が減 少し、Ag 表面が平坦化する ことから、表面マイグレー ションにより平坦化したと 考えられる。また、 $450^{\circ}$ C で

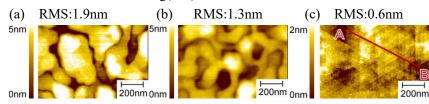


Fig. 1 AFM images of epitaxial Ag(111) surface on Ge taken (a) before and after anneal at (b) 350 °C and (c) 450 °C for 2 hours.

熱処理することでさらに表面平坦化が進行し、(111)面の原子配列を反映した三回対称の表面構造が観測できた(図 1(c))。また、断面プロファイルから、この構造は高さ $\sim$ 0.7nm の原子ステップで構成されていることが分かった(図 2)。さらに、Ag 表面の化学結合状態を硬 X 線光電子分光(HAXPES)分析で行った。熱処理前後において、Ag3d のスペクトルに変化が認められないことから、Ag膜中への Ge の混入は HAXPES の検出限界以下(<0.1 at.%)であることがわかった。また、図 3 に示す Ge2p $_{3/2}$ のスペクトルでは、光電子脱出角度を浅くし表面敏感にすることで信号強度の増大が認められ、一部は表面酸化が進行しているものの、Ag表面への平均厚さが 0.5nm 程度の Ge 原子の析出が観測された。

**結論**>Ge(111)上にエピタキシャル成長した Ag(111)において、350°C以上の $N_2$ 雰囲気中の熱処理により Ag 表面を平坦化することができた。さらに、450°Cで熱処理した場合では、(111)面に特徴的な三回対称を反映した原子層構造を形成できることが明らかになった。

参考文献〉[1] K. Takeda and K. Shiraishi, Phys. Rev. B **50**, 14916 (1994). [2] M. Ezawa, New J. Phys. **14**, 033003 (2013). [3] L. Li, *et al.*, Adv. Mat., **26**, 4820 (2014). [4]M. Kurosawa *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 08NB07 (2016).

**謝辞>**本研究の一部は、科学研究費補助金(15K13943 および 15H03564)の支援を受けた。 また、HAXPES 測定は、SPring-8/BL47XU(課題番号: 2016A0109 および 2016B0109)で行った。

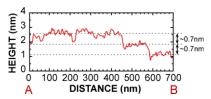


Fig. 2 A line profile between A and B of the AFM image after 450 °C anneal shown in Fig. 1(c).

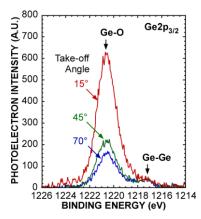


Fig. 3 Photoelectron take-off angle dependence of Ge 2p<sub>3/2</sub> spectrum for the sample after 450 °C anneal. Intensity was normalized by Ag3d signals.