

水素アニールによる Ge(111)表面の原子レベル平坦化

Planarization of Ge (111) Surface by H₂ Annealing東大院工¹, JST-CREST² ○西村 知紀^{1,2}, 李 忠賢^{1,2}, 長汐 晃輔^{1,2}, 鳥海 明^{1,2}The Univ. of Tokyo¹, JST-CREST², ○T. Nishimura^{1,2}, C. H. Lee^{1,2}, K. Nagashio^{1,2}, A. Toriumi^{1,2}

E-mail: nishimura@adam.t.u-tokyo.ac.jp

【背景】半導体表面の平坦化は界面散乱源の低減, 信頼性の向上, 特性のバラツキの抑制において極めて重要である. シリコン (Si) においては既に犠牲酸化[1], 高温アニール (H₂雰囲気[2], Ar雰囲気[3]) 等の手法が知られている一方, 次世代半導体材料の一つであるゲルマニウム (Ge) においては超高真空中での加熱とスパッタリングを組み合わせるといった手法[4]の他はあまり知られていない. そこで本研究ではSiで行われてきたH₂雰囲気アニールによるGe表面の平坦化効果を, nMOSFETにおいて高いパフォーマンスが期待できるGe (111)面に適用して調べた.

【実験手法】Ge(111)基板をHF-lastプロセスにより洗浄した. その後 100% H₂ 雰囲気の炉内においてアニールを行なう. まず N₂ガス置換により加熱前の残留酸素濃度が 100 ppm以下であることを確認した後, H₂ガス(>99.99999 vol.%)に置換した上で 350~850°Cの範囲で加熱処理を 15 min行なった. これらの処理の後速やかに基板表面を原子間力顕微鏡により観察し, 基板表面の構造, 平坦性を評価した.

【結果・考察】HF-last洗浄直後の表面には特徴的な表面構造は観察されず, また 1x1 μm²におけるラフネスのRoot mean square (RMS)値は約 0.2~0.3 nmであった. 450°C以下でH₂アニールを行なった試料ではラフネスのRMS値や表面構造に有意の変化を確認できなかったが, 500°C以上でH₂アニールを行なった試料ではFig. 1(a)に示す様なエッチピットの無いステップ&テラス構造が形成された. 特に 500~700°Cの範囲で処理を行なった試料においては高さ 0.326 nmのsingle step (<111>方向の2原子層からなる単位層)の形成 (Fig. 1(b))に伴い 1x1 μm²におけるラフネスのRMS値も大幅に改善した. またテラス上 (約 0.1x0.1 μm²における) ラフネスのRMS値は約 0.05 nmであり, 原子レベルでの平坦化が達成されていると推測される. SiにおいてH₂アニール温度が低い場合, ピット形成によるラフネスの増大が生じ, その起源は局所的に残存した基板酸化膜がSiのエッチングを抑制する点にあることが示唆されている[5]. Geについて考えれば, 400°C近辺からの温度域でGeOの脱離により速やかに基板酸化膜は除去されることが予想される. またH₂によるGeのエッチングは少なくとも 700°C以下では殆ど生じないことが分かった. 故にGeにおいては酸化膜が除去されながらもH₂によるGeのエッチングが進まない温度域の存在により, 比較的低温でのH₂アニールにおいてもラフネスが増大しないと推測される. 更にH₂O₂処理により意図的にラフネスを増大させた (1x1 μm²のRMS値で 0.6 nm程度) Ge基板表面においても, H₂アニールによりステップ&テラス構造の形成とRMS値の低減を同様に確認できた (Fig. 2). このことは多少の表面ラフネスはH₂アニールにより容易に平坦化可能であることを示している.

【結論】500°C以上のH₂アニールによってGe(111)面は原子レベルの平坦化が実現される.

【参考文献】[1] 白田他, 信学技報 SDM 200-146 (2000). [2] Y. Morita and H. Ohta, APL **100**, 261605 (2012). [3] R. Kuroda, et al., JJAP **48**, 04C048 (2009). [4] H. Luth, "Solid Surfaces, Interfaces and Thin Films" (Springer, Berlin, 2001). [5] H. Hakuba, et al., JES **142**, 3092 (1995).

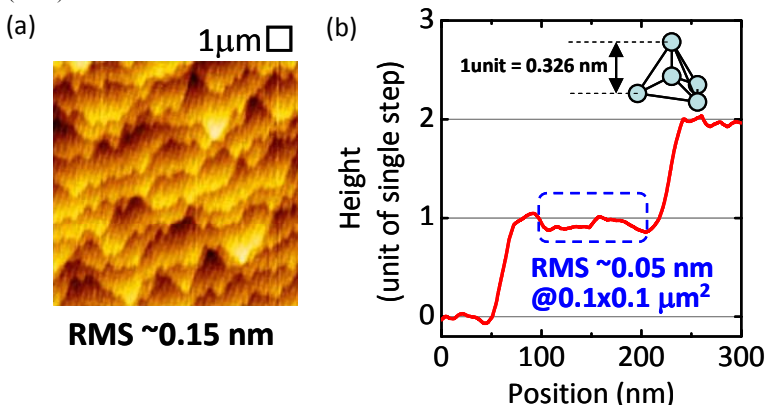


Fig. 1 (a) AFM images of Ge (111) surface in H₂ annealing at 650°C. (b) Cross sectional height profile of Ge surface in H₂ annealing at 650°C in the unit of single step (=0.326 nm). RMS roughness on terrace at 0.1x0.1 μm is ~0.05 nm.

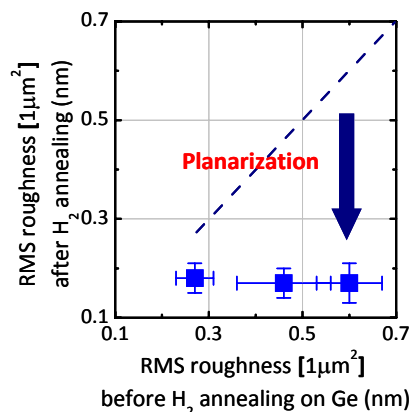


Fig. 2 Surface roughness on intentionally roughened Ge (111) before and after H₂ annealing at 650°C.