

Ge(111)基板上にエピタキシャル成長した  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  膜の表面構造に与える Sn の影響Morphological effect of Sn during  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  molecular beam epitaxy on Ge(111)

東大工 ○濱崎 拓, 株柳 翔一, 西村 知紀, 長汐 晃輔, 鳥海 明

Univ. of Tokyo ○H. Hamasaki, S. Kabuyanagi, T. Nishimura, K. Nagashio, A. Toriumi

E-mail: [hamasaki@adam.t.u-tokyo.ac.jp](mailto:hamasaki@adam.t.u-tokyo.ac.jp)

【緒言】 Ge に Sn を添加し、直接的に電子・正孔の有効質量を変化させる、あるいは歪みのソースとして用いることで Ge の移動度を向上させる、などによって MOSFET のさらなる高性能化の実現が期待されている<sup>[1]</sup>。Ge 中への Sn の固溶限が低いことから良質の膜を得ることが難しいが、近年多くの進展が見られている<sup>[2]</sup>。我々はこの研究をまさに始めたところであるが、GeSn エピタキシャル膜成長中の Sn の挙動を理解することは、GeSn 膜の成長だけでなく GeSn を用いた歪み Ge の成長過程を理解する上でも大きな助けとなるはずである。そのような観点から、Ge(111)基板上に Ge 及び微量の Sn を含む GeSn のエピタキシャル成長を行ったところ、表面に現れるステップ&テラス構造が成長温度、及び Sn の有無によって著しく異なっていることが観測された。そこで今回はエピタキシャル薄膜成長表面形成における Sn の役割について検討した結果を報告する。

【実験方法】 メタノール洗浄、HCl 洗浄および HF 洗浄を施した Ge(111)基板を、超高真空中で 370°C、30 分間加熱後、235°C、288°C、345°C、403°C の 4 種類の温度に保持し、Ge 成長、GeSn 成長を行った。GeSn 中の Sn の組成は後述する表面偏析が観測される場合においても XPS から 1 % 以下であった。成長レートは、Ge 成長  $\approx 1.5 \text{ \AA}/\text{sec}$ 、GeSn 成長  $\approx 1\sim 1.5 \text{ \AA}/\text{sec}$  であり、どちらも 50 nm 成長させた。成長後のエピタキシャル膜の表面形状は AFM を用いて測定し、表面及び膜中の Sn 分布は XPS を用いて測定した。

【結果及び考察】 成膜後の表面および過酸化水素水によるエッチング後の表面の XPS 測定からは、成長温度 235°C の場合には Sn は観測されないが、成長温度 288°C 以上の場合に、エッチング前には観察できる Sn のピークがエッチング後に消失していることが分かった。本実験での Sn の組成は Ge に対する固溶限以下であるが、Sn の標準状態での融点は 231.9°C であるため、融点よりも比較的高温では成長中に Sn が Ge 中に固溶せず表面に析出したものと考えられる。Sn を添加した場合としない場合の Ge エピタキシャル膜における成長温度と表面 RMS ラフネスの関係を Fig. 1 に示す。成長温度 235°C、288°C、345°C のどの温度においても、Sn を添加した場合には表面ラフネスの RMS が減少していることがわかる。345°C ではすでに表面にポイドが形成され始めており RMS の議論は難しいが、235°C、288°C においては添加された Sn がサーファクタントとして Ge の局所的な表面拡散を促進していると考えられる。XPS 測定により Sn の表面析出が見られない 235°C においても RMS が減少していることから、表面平坦化に対するサーファクタント効果は比較的温度が低く<sup>[3]</sup> 少量の Sn の添加においても機能していることがわかる。さらに 288°C においては Sn の添加により RMS の減少だけでなく、Fig. 2 に示すような特徴的な表面形状の変化が観測された。これは Sn の添加によって成長初期の核生成確率が減少し、ステップエッジの曲率半径がかなり大きいテラス構造が形成したものと考えられる。つまり、Sn の添加はサーファクタント効果としての表面拡散の促進とそれに伴う核生成確率の減少にも寄与していることがわかる。

【参考文献】 [1] M.V. Fischetti and S. E. Laux, J. Appl. Phys. **80**, 2234(1996), [2] S. Zaima et al., ECS Trans. **41**(7), 231 (2011). [3] K. A. Bratland et al., J. Appl. Phys. **97**, 044904 (2005).

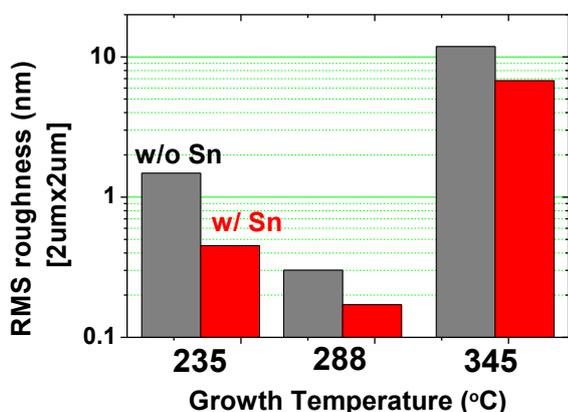


Fig. 1 RMS roughness vs. growth temperature of as-deposited Ge and GeSn surface ( $2 \times 2 \mu\text{m}$ ).

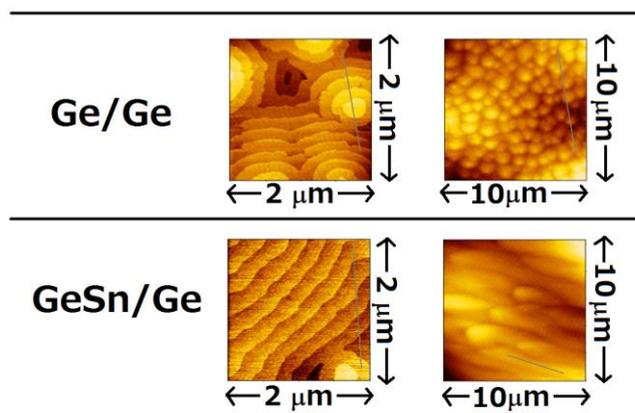


Fig. 2 AFM images of as-deposited Ge and GeSn surface at 288°C.