

# 原子状水素供給が $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ エピタキシャル層の結晶性に及ぼす効果

## Effect of Atomic Hydrogen Introduction on the Crystalline Property of $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ Epitaxial Layers

<sup>1</sup>名古屋大院工, <sup>2</sup>学振特別研究員, <sup>3</sup>名古屋大エコトピア

○藤浪俊介<sup>1</sup>, 浅野孝典<sup>1,2</sup>, 保崎航也<sup>1</sup>, 小山剛史<sup>1</sup>, 中塚理<sup>1</sup>, 岸田英夫<sup>1</sup>, 財満鎮明<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Grad. Sc. of Eng. Nagoya Univ., <sup>2</sup>Research Fellow of JSPS, <sup>3</sup>ESI, Nagoya Univ.

○S. Fujinami<sup>1</sup>, T. Asano<sup>1,2</sup>, K. Hozaki<sup>1</sup>, T. Koyama<sup>1</sup>, O. Nakatsuka<sup>1</sup>, H. Kishida<sup>1</sup>, and S. Zaima<sup>1,3</sup>

E-mail: nakatuka@alice.xtal.nagoya-u.ac.jp

**【はじめに】**  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  は、10%程度の高 Sn 組成化により、間接遷移型から直接遷移型半導体にエネルギーバンド構造を変調できるため、受発光デバイスへの応用が注目されている [1,2]。我々はこれまでに、分子線エピタキシー (MBE) 法により Ge 基板上に成長した  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  層のフォトルミネッセンス (PL) について報告した [3]。さらなる発光効率の改善のためには、低温 MBE 成長の結果形成されると考えられる、膜中の非発光中心となる結晶欠陥の低減が必要と考えられる。我々は前回、MBE 成長中の水素ガス供給による  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  層の結晶性向上を報告している[4]。今回、水素効果の向上を狙って、 $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  エピタキシャル成長時における原子状水素の照射も試み、水素供給が表面形態や結晶物性、発光特性に及ぼす影響を調べた。

**【試料作製】**表面清浄化を施した p-Ge(001)基板上に、固体ソース MBE 法を用いて、非ドープ  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  層を形成した。このとき、導入する水素ガス流量の調節により、成長中における全圧を  $10^{-7}$  Pa (水素供給なし) から  $10^{-2}$  Pa の間で制御した。さらに、加熱したタングステンフィラメントを用いて原子状水素への解離を行った。 $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  層の膜厚および成長温度は、それぞれ 100 nm および  $100^\circ\text{C}$  とした。

**【結果および考察】**  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  層の結晶性に対する水素解離の効果をも、X 線回折 2 次元逆格子空間マッピング (XRD-2DRSM) 測定により評価した (Fig. 1(a)および 1(b))。水素解離の有無に関わらず、Ge 基板上に  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  層は pseudomorphic に成長する。回折ピーク位置から 2 つの  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  層の格子置換位置 Sn 組成は、それぞれ 8.3% および 8.9% と見積もられた。水素分子を解離した試料においては  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  224 回折ピークの [110] 方向への広がりが比較的抑制されることがわかる。これは、 $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  層の (001) 面内の結晶性のゆらぎが抑制されるためと考えられ [6]、水素の解離により  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  層の結晶性がさらに向上することを示唆している。

原子間力顕微鏡法 (AFM) により、 $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  層の表面形態を評価した。水素解離を施さない場合、3 次元島成長に由来するとみられる高さ 5nm 程度の隆起が観察される (Fig. 2(a))。対照的に、水素解離による原子状水素を供給した場合、非常に均一平坦な表面を形成できることがわかる (Fig. 2(a))。二乗平均平方根粗さ (RMS roughness) を見積もった。RMS 粗さの成長中における全圧依存性を Fig. 2(c) に示す。全圧が  $10^{-4}$  Pa の場合、水素解離の効果はほとんど見られない一方、水素分圧  $10^{-2}$  Pa において解離を施した試料は、無解離の場合と比べて RMS 粗さを 4 分の 1 程度に大きく低減できることがわかる。これは、解離によって水素のサーファクタント効果がより顕著に働いた結果、三次元島成長が抑制されることを示唆している。

$\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  層の PL 強度の改善に水素雰囲気中熱処理が効果的であることも見出し、当日は原子状水素照射が  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  層の PL 発光に及ぼす効果についても議論したい。

**【参考文献】** [1] K. L. Low *et al.*, J. Appl. Phys. **112**, 103715 (2012). [2] Y. Chibane and M. Ferhat, J. Appl. Phys. **107**, 053512 (2010). [3] 保崎 他, 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会, 18p-B4-7 (2013) [4] 浅野 他, 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会, 19p-A16-3 (2014). [5] A. Sutoh *et al.*, J. Appl. Phys. **34**, L1379 (1995). [6] P. F. Fewster, *X-Ray Scattering from Semiconductors*, 2nd ed.: World Scientific Publishing Company (2003)

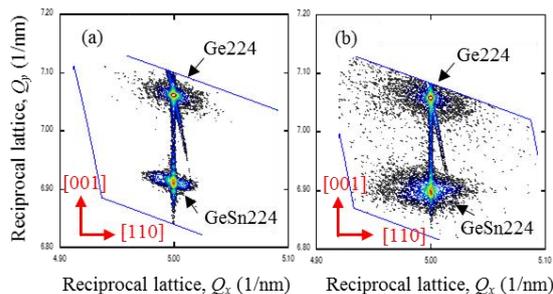


Fig. 1: XRD-2DRSM results of  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x/\text{Ge}$  samples (a) with and (b) without hydrogen cracking.

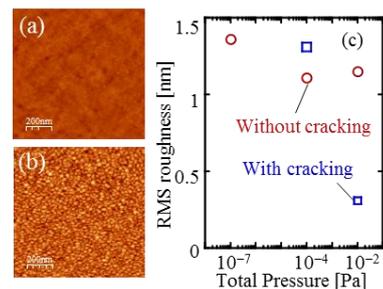


Fig. 2: AFM images of  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x/\text{Ge}$  samples prepared (a) with and (b) without hydrogen cracking. (c) The RMS roughness of  $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$  surface as a function of the growth pressure controlled with the hydrogen introduction.