

Ge_{1-x-y}Si_xSn_y エピタキシャル層の結晶性への伸長または圧縮歪の影響

Influence of Tensile or Compressive Strain on Crystallinities of Ge_{1-x-y}Si_xSn_y Epitaxial Layers

¹名古屋大学大学院, ²学術振興特別研究員

○浅野孝典^{1,2}, 寺島辰也¹, 山羽隆¹, 田岡紀之^{1*}, 竹内和歌奈¹, 中塚理¹, 財満顕明¹

¹ Graduate School of Eng. Nagoya Univ., ² Research Fellow of Japan Society for the Promotion of Science

○T. Asano^{1,2}, T. Terashima¹, T. Yamaha¹, W. Takeuchi¹, N. Taoka¹, O. Nakatsuka¹, and S. Zaima¹

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

【はじめに】 Ge_{1-x-y}Si_xSn_y 三元混晶は、Ge, Si, および Sn の組成を制御することで、エネルギーバンド構造と格子定数を独立して設計できる [1]。このため、Ge_{1-x-y}Si_xSn_y は電子デバイスのみならず、IV 族半導体を用いた受光、発光デバイスへの応用が期待されている [2,3]。我々は、これまでに Ge_{1-x-y}Si_xSn_y 層の分子線エピタキシャル成長を報告しており、Sn 組成が 7% と高い場合も、基板と薄膜との格子不整合を低減することでミスフィット転位や Sn 析出を抑制できることを見出している [4,5]。混晶組成や歪は、結晶成長へ影響することが一般に知られているが [6,7]、Ge_{1-x-y}Si_xSn_y 層の組成および歪が結晶性へ及ぼす影響は、よく理解されていない。本研究では、伸長および圧縮歪 Ge_{1-x-y}Si_xSn_y 層を形成し、結晶性と表面形態との関係を詳細に調べた。

【試料作製】 固体ソース MBE 法を用いて、清浄化を施した Ge(001) 基板上に非ドープ Ge_{1-x-y}Si_xSn_y 層を形成した。膜厚および成長温度は、それぞれ 200 nm および 200°C とした。

【結果および考察】 形成した伸長および圧縮歪 Ge_{1-x-y}Si_xSn_y 層の暗視野断面透過電子顕微鏡 (TEM) 像をそれぞれ Fig. 1(a) および 1(b) に示す。これらの像は、回折ベクトル g_{220} を用いて結像した。また、これらの Ge_{1-x-y}Si_xSn_y 層の歪量は、X 線回折二次元逆格子空間マッピング法を用いて、伸長歪 +0.20% および圧縮歪 -0.31% と見積もられた (not shown)。ここで、伸長および圧縮歪を、それぞれ正および負符号とした。伸長歪の場合、柱状の不均一なコントラストが観察される (Fig. 1(a))。これは、歪量が小さいにも関わらず、伸長歪 Ge_{1-x-y}Si_xSn_y 層中には、{220} 面に不均一性があることを示している。一方、圧縮歪の場合、比較的均一なコントラストが観察される (Fig. 1(b))。これらの結果は、歪の正負が、結晶構造の均一性に影響することを示唆している。これらの試料の表面形態を、原子間力顕微鏡 (AFM) を用いて観察した (Fig. 2(a) および 2(b))。伸長歪の試料では、圧縮歪の場合より RMS 粗さが大きいことが分かる。したがって、三次元島成長が Fig. 1(a) で観察される結晶の不均一性を引き起こすと考えられる。歪と表面ラフネスとの関係を明らかにするために、歪の量および正負と RMS 粗さの関係を調べた (Fig. 2(c))。図中には、Sn 組成も示した。圧縮または無歪の場合、比較的平坦な表面が得られる一方、伸長歪の増大に伴って RMS 粗さが著しく増大することがわかる。更に、この結果は、RMS 粗さは Sn 組成ではなく、歪によって支配的に決まることを示している。以上の結果より、歪量の小さい Ge_{1-x-y}Si_xSn_y 層においても、歪の正負が結晶性に顕著に影響を及ぼし、高品質な膜形成には圧縮または無歪の状態に設計することが重要であることが明らかとなった。

【参考文献】 [1] Y. -Y. Fang *et al.*, J. AM. CHEM. SOC. **130**, 16095 (2008). [2] R. Beeler *et al.*, Appl. Phys. Lett. **101**, 221111 (2012). [3] G. Sun *et al.*, J. Appl. Phys. **108**, 033107 (2010). [4] T. Yamaha *et al.*, ECS Trans. **50**, 907 (2012). [5] 寺島他, 春応物 18p-F6-20 (2014). [6] 寺澤他, 秋応物 18p-B4-6 (2013). [7] Y. Xie *et al.*, Phys. Rev. Lett. **73**, 3006 (1994).

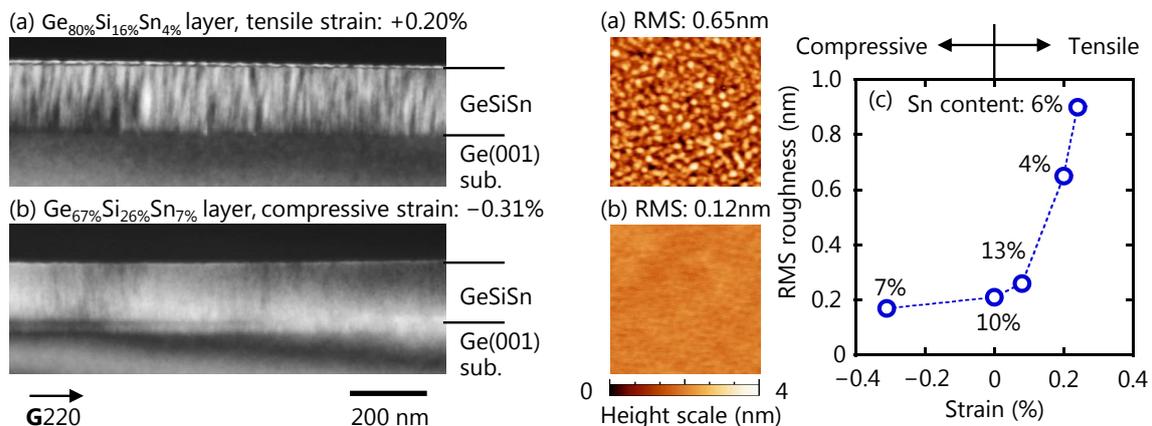


Fig. 1: Dark-field cross-sectional TEM images of (a) tensile and (b) compressive strained Ge_{1-x-y}Si_xSn_y layers on Ge(001) substrates. Diffraction vectors were g_{220} .

Fig. 2: AFM images of (a) tensile and (b) compressive strained Ge_{1-x-y}Si_xSn_y layers. (c) Strain magnitude dependence of RMS roughness for compressive and tensile strain conditions.

*現所属: IHP (Present affiliation: IHP)