

## Ge<sub>1-x-y</sub>Si<sub>x</sub>Sn<sub>y</sub> エピタキシャル層の結晶性の歪構造依存性 Strain Structure Dependence of Crystallinity of Ge<sub>1-x-y</sub>Si<sub>x</sub>Sn<sub>y</sub> Epitaxial Layers

<sup>1</sup>名古屋大学大学院工学研究科, <sup>2</sup>学術振興特別研究員

○浅野孝典<sup>1,2</sup>, 寺島達也<sup>1</sup>, 山羽隆<sup>1</sup>, 田岡紀之<sup>1</sup>, 竹内和歌奈<sup>1</sup>, 中塚理<sup>1</sup>, 財満鎮明<sup>1</sup>

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

○T. Asano<sup>1,2</sup>, T. Terashima<sup>1</sup>, T. Yamaha<sup>1</sup>, N. Taoka<sup>1</sup>, W. Takeuchi<sup>1</sup>, O. Nakatsuka<sup>1</sup>, and S. Zaima<sup>1</sup>

E-mail: [tasano@alice.xtal.nagoya-u.ac.jp](mailto:tasano@alice.xtal.nagoya-u.ac.jp)

**【研究背景】** Si 集積回路は、省電力化や高駆動力化だけでなく、フォトディテクタやレーザーといった光電素子の集積化による多機能化が期待されている。ゲルマニウム-シリコン-スズ (GeSiSn) は三元混晶であるため、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]。また、GeSiSn は IV 族半導体であるため、Si プロセスへの高い親和性を有している。したがって、GeSiSn は電子デバイスのみならず、受光・発光デバイスへの応用が期待できる [2]。我々は、これまでに GeSiSn 層の分子線エピタキシャル (MBE) 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の形成や Sn 析出を抑制できることを見出している [3]。本研究では、GeSiSn 層の組成および歪が結晶性と表面形態へ及ぼす影響を詳細に調べた。

**【実験方法】** 清浄化を施した Ge(001)基板上に固体ソース MBE 法を用いて、大きさの異なる伸長あるいは圧縮歪みを有する GeSiSn 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。

**【特色と独創的な点】** Si 集積回路への光電素子の融合に向けて、GeSiSn は格子定数・バンド構造設計の可能性を広げる重要な IV 族半導体材料である。本研究では、歪量の小さい GeSiSn 層においても、歪の構造が結晶性に強く影響することを明らかにした。また、歪と組成の結晶性への影響を詳細に調べることで、均一な結晶構造と平坦な表面を有する GeSiSn 層の形成条件を明らかにした。

**【研究成果】** 伸長および圧縮歪 GeSiSn 層の断面透過電子顕微鏡 (TEM) 像 (回折ベクトル  $g_{220}$ ) をそれぞれ図 1(a) および 1(b)に示す。これらの GeSiSn 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 (未掲載)。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一方 (図 1(a))、同程度の大きさで正負が逆となる圧縮歪の場合、比較的均一なコントラストであることがわかる (図 1(b))。これらは、歪の正負が結晶構造の均一性に強く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 (図 2(a)および 2(b))。圧縮歪の試料では、伸長歪の場合より平坦な表面を有することがわかる。歪の量および正負と RMS 粗さの関係を図 2(c)に示す。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、歪の正負と大きさによって支配的に決まることを示している。

以上から、歪量の小さい GeSiSn 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] T. Yamaha *et al.*, ECS Trans. **50**, 907 (2012).

**【キーワード】** ゲルマニウム, スズ, シリコン, エピタキシャル成長, 歪

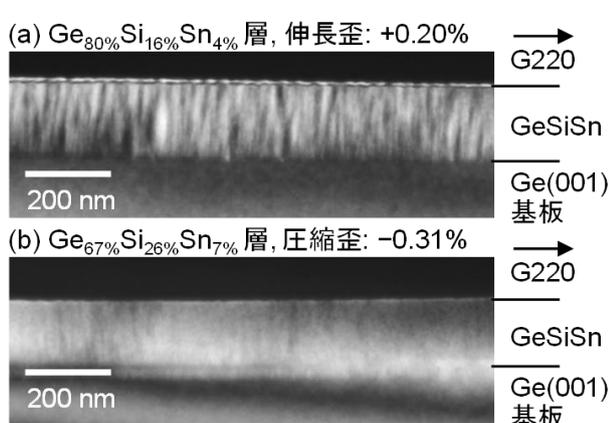


図 1: (a) 伸長および (b) 圧縮歪 GeSiSn 層の暗視野断面 TEM 像。回折ベクトルは  $g_{220}$ 。

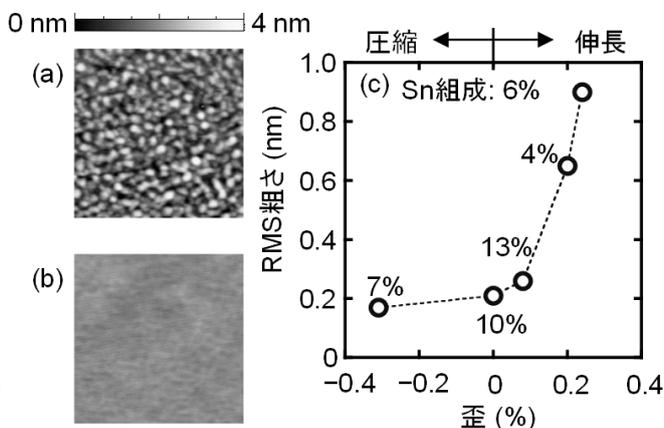


図 2: (a) 伸長および (b) 圧縮歪 GeSiSn 層の AFM 像。走査範囲は 500 nm×500 nm。 (c) RMS 粗さの歪み依存性。