## Si(001)基板上における Si<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>薄膜のエピタキシャル成長 Epitaxial growth of Si<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub> layers on Si(001) substrates

名大院工<sup>1</sup>, 名大未来研<sup>2</sup><sup>0</sup>黒澤昌志<sup>1</sup>, 丹下龍志<sup>1</sup>, 中塚理<sup>1,2</sup> Grad. Sch. of Eng., Nagoya Univ.<sup>1</sup>, IMaSS, Nagoya Univ.<sup>2</sup>, <sup>O</sup>Masashi Kurosawa<sup>1</sup>, Ryuji Tange<sup>1</sup>, Osamu Nakatsuka<sup>1,2</sup> E-mail: kurosawa@nagoya-u.jp

【緒言】光通信用発光素子材料として、Si<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>混晶に注目している。Si<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>混晶のバンドギャップのSn 組成依存性や直接遷移化 Sn 組成は理論的にも異なる予測があり、実験的解明が求められる。我々のグ ループではこれまで、Si<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub> 混晶の光物性解明に向けて、様々な Sn 組成の Si<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub> 薄膜を形成すべ く、固相成長法による薄膜形成に取り組んだ。その結果、高 Sn 組成域(20%以上)では、下地基板の格 子定数に整合する Sn 組成(Ge 基板上:21%、InP 基板上:41%)のエピタキシャル Si<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub> 薄膜形成に成 功した[1]。一方、低 Sn 組成域(20%以下)の Si 基板上における Si<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub> 薄膜の固相成長では、X 線によ る構造評価が困難な、結晶性の低いエピタキシャル薄膜が形成された。本研究では、低 Sn 組成域の結 晶成長法を確立すべく、分子線エピタキシー法(MBE)を用いて、Si 基板上における Si<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub> 薄膜形成 に取り組み、結晶構造および光物性を評価した。

【実験方法および結果】 表面清浄化した Si(001)基板上に、Si<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub> 薄膜を MBE 法により堆積した。その 膜厚は 30~80 nm、設計 Sn 組成は 4~34%、堆積温度 ( $T_{depo}$ )は 180~300 °C とした。設計 Sn 組成 4%、堆 積温度 300 °C の試料の結晶構造を X 線回折 2 次元逆格子空間マップ (XRD-2DRSM)により評価する と、Si<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub> 薄膜は下地基板に pseudomorphic にエピタキシャル成長することが判明した (Fig. 1)。さらに、 堆積温度の低下とともにその格子置換位置 Sn 組成は 0.5%から 1.8% ( $T_{depo}$ =260 °C)まで増加した。これ らの試料の Sn 析出を調査するため面内 X 線回折の 2 $\theta$ χ 測定による多結晶評価を行った結果、堆積温 度 260 °C の試料においては β-Sn 由来の回折ピークが観測されなかった。これより、堆積温度の低下が Sn 析出の抑制および格子置換位置 Sn 組成の増加を可能にすることを見出した。本条件に基づき、設計 Sn 組成および堆積温度を変化させ、格子置換位置 Sn 組成 1.8%、2.2%および 6.1%の Si<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub> 薄膜を 作製した。FT-IR 測定より各試料のバンドギャップを評価した結果を Fig. 2 に示す。Sn 組成の増加に伴い バンドギャップが減少した。その値は理論計算の結果より 0.3 eV 程小さな値となった。この原因は Sn の 影響に加えて、圧縮歪の効果も受けてバンドギャップがさらに狭小化したためと考えられる。



1.4 This study v : experiment<sup>[2]</sup> Energy bandgap (eV) experiment<sup>[3]</sup> 1.2 1 0 [6] 0/8 his study [5] 0. Solid symbol: Direct 0.4 Open symbol: Indirect [7] 10 20 30 40 50 60 70 0 Sn content (%)

Fig. 1 XRD 2DRSM around the Si $\overline{22}$  4 Bragg reflection obtained from the Si<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub> layer deposited at 300 °C. The target Sn content was 4%.

Fig. 2 Estimated bandgap of  $Si_{1-x}Sn_x$  a as a function of the Sn content.

[謝辞] 本研究の一部は、JSPS 科研費・挑戦的研究(萌芽)(No. 19K21971)により行われました。

[参考文献] [1] M. Kurosawa *et al.*, Appl. Phys. Lett. **111**, 192106 (2017). [2] M. Kurosawa *et al.*, Appl. Phys. Lett. **106**, 171908 (2015). [3] 加藤元太,名古屋大学大学院工学研究科,修士論文(2016). [4] A. M. Hussain *et al.*, Physica. Status. Solidi RRL **8**, 332 (2014). [5] P. Moontragoon *et al.*, J. Appl. Phys. **112**, 073106 (2012). [6] J. Tolle *et al.*, Appl. Phys. Lett. **89**, 231924 (2006). [7] Y. Nagae *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 04CR10 (2017).