

高 Si 組成歪緩和 $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y/\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x/\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ 二重ヘテロ構造の形成および光電特性評価

Formation and Optoelectronic Characterization of High-Si-Content Strain-Relaxed $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y/\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x/\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ Double-Heterostructure

○福田雅大¹、坂下満男¹、黒澤昌志¹、中塚理^{1,2}、財満鎮明³

(1. 名古屋大院工、2. 名古屋大未来研、3. 名古屋大未来社会創造機構)

○Masahiro Fukuda¹, Mitsuo Sakashita¹, Masashi Kurosawa¹, Osamu Nakatsuka^{1,2}, and Shigeaki Zaima³

(1. Grad. Sch. of Eng., Nagoya Univ., 2. IMaSS, Nagoya Univ.,

3. Inst. Innovation for Future Soc., Nagoya Univ.)

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

【はじめに】Si系集積回路の更なる性能向上に向けて、光電融合技術が提案されている。その発光素子材料として既存のSiプロセスと親和性が高く、Sn組成9%で直接遷移化する $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ 混晶が注目されている[1]。理論計算によって、クラッド層に $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ 三元混晶層を用いた $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x/\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ ヘテロ構造による室温でのレーザー発振が予測されており[2]、近年、様々な $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x/\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ ヘテロ構造の形成や光学特性が報告されている[3,4]。しかし、室温でのレーザー発振に向けて重要な $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ 層の高Si組成化による $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ 層への効果的なキャリア閉じ込めと $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ 層の歪緩和による直接遷移化の同時達成に未だ課題がある。本研究では、下層 $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ の歪緩和による大きな面内格子定数の実現によって高Si組成歪緩和 $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y/\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x/\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ 二重ヘテロ構造を形成し、その光電子物性の解明に挑戦した。

【試料作製】清浄化を施したp-Si(001)基板上に、分子線エピタキシ(MBE)法を用いて、膜厚40nmのGe層を200°Cで成長させて仮想Ge基板を作製した。その後、試料を大気中に取り出し、 N_2 雰囲気において550°C、1分間の熱処理を行った。さらに、再度の表面清浄化後、MBE法によって $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ (15nm)/ $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ (15nm)/ $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ (50nm)二重ヘテロ構造を形成した。すべての層において成長温度は150°Cとした。 $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ 層のSiおよびSn組成は、それぞれ33%および19%であり、 $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ 層のSn組成は9%であった。二重ヘテロ構造形成後、試料を大気中に取り出し、 N_2 雰囲気中で300°C、5分間の熱処理(PDA)を行った。

【結果および考察】Fig. 1(a)–(c)に各層成長後の反射高速電子線回折(RHEED)パターンを示す。すべての層の成長後においてストリーク状の回折パターンが観察され、各層がGe(001)基板にエピタキシャル成長していることが確認できる。加えて、2層目の $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ 層と3層目の $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ 層の成長後には整数次の回折パターンの間に明瞭なスポット状の回折パターンが観察され、欠陥の生成による結晶性の劣化が示唆された。1層目の $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ 層の結晶性が歪緩和の際に悪化する結果、上層に成長させた層の結晶性も劣化すると考えられる。

成長直後および300°C、5分間のPDAを施した試料のフォトルミネッセンス測定(励起光波長: 532 nm)の結果をFig. 2に示す。成長後およびPDA後のどちらの試料においても $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ 層由来の発光が観測された。PDAを施すことで成長直後の試料と比較して発光強度が約5倍に増大した。これは、成長中に形成された欠陥をPDAによって効果的に低減し、その結果、発光強度が増大される可能性を示唆している。

【参考文献】 [1] S. Wirths *et al.*, Nat. Photonics **9**, 88 (2015). [2] G. Sun *et al.*, Opt. Exp. **18**, 19957 (2010).

[3] D. Stange *et al.*, Optica **4**, 185 (2017). [4] M. Fukuda *et al.*, Mater. Sci. Semicond. Proc. **70**, 156 (2017).

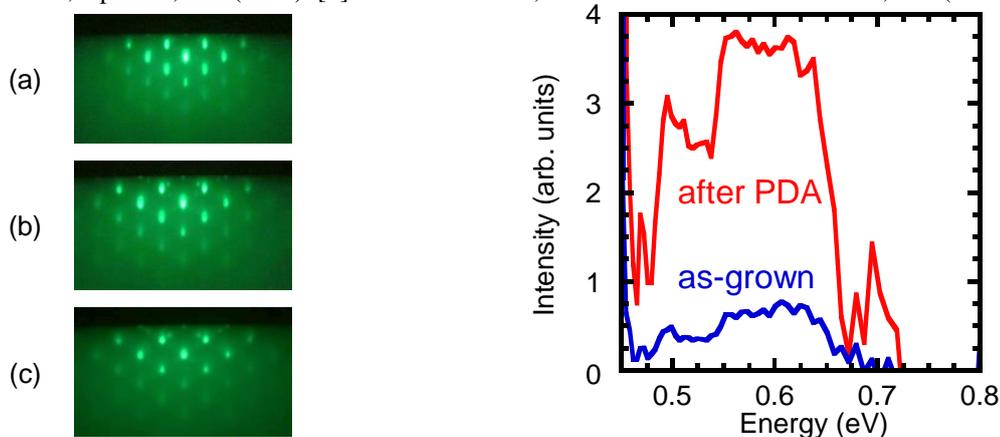


Fig. 1. RHEED patterns after the growth of (a) the 1st $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$, (b) the 2nd $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$, and the 3rd $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ layers.