

## Sb ドープアモルファス Ge の局所熔融横方向液相エピタキシャル成長による n 型 Ge 細線の作製と評価

Fabrication of n-type Ge wires by local-melt lateral liquid-phase epitaxy from Sb-doped amorphous Ge

阪大院工 °富田 崇史, 岡 博史, 小山 真広, 田中 章吾, 細井 卓治, 志村 考功, 渡部 平司

Osaka Univ. °T. Tomita, H. Oka, M. Koyama, S. Tanaka, T. Hosoi, T. Shimura, and H. Watanabe

E-mail: tomita@asf.mls.eng.osaka-u.ac.jp

**【はじめに】** Ge は間接遷移型半導体であるが、伝導帯下端の L 点と $\Gamma$ 点のエネルギー差が 136 meV と小さく、引張歪みの印加によりエネルギー差がさらに減少する。加えて n 型ドーピングにより $\Gamma$ 点のキャリア密度を増加させ、発光効率を向上できることから、Si CMOS プロセスとの整合性が高い発光素子材料として注目されている。しかしながら、Ge 結晶中の n 型不純物は固溶度や活性化率が低く、また、イオン注入後の活性化熱処理による結晶性の回復が困難であるなど、高濃度 n 型ドーピングには課題が多い。

一方、我々は単結晶 Ge を Si 基板上に絶縁膜を介して形成する技術として、Si シード領域から横方向にアモルファス Ge 細線を熔融結晶化させる横方向液相エピタキシャル成長法 (lateral liquid-phase epitaxy: LLPE) を検討してきた。この手法で作製した Ge 細線には Ge と Si の熱膨張係数差に起因する約 0.4% の引張歪みが印加されており、 $\Gamma$ 点での直接遷移発光が 45 meV 程度、低エネルギー側にシフトすることを確認している[1]。

そこで本研究では、LLPE 法による引張歪み高濃度 n 型 Ge 細線の形成を目指し、Sb を含有したアモルファス Ge 細線を熔融結晶化する手法を検討した。アモルファス Ge は室温で形成するため、高濃度に Sb をドーピングすることが可能であり、また、成膜後に熔融結晶化を行うため、成膜時の膜質の劣化は問題にならない。一方、液相成長の際に成長界面から液相への Sb の偏析が懸念される[2]。

**【実験および結果】** SOI 基板 (Si/SiO<sub>2</sub>: 50/150 nm) に Si シード領域を形成後、Sb ドープアモルファス Ge 層 (膜厚: 100 nm, Sb 濃度:  $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ) を分子線蒸着により堆積し、Ge 層を細線状 (長さ: 100  $\mu\text{m}$ , 幅: 2  $\mu\text{m}$ ) に加工後 SiO<sub>2</sub> キャップ層を成膜し、急速加熱処理により液相成長を促した (Fig. 1(a))。

Fig. 1(b)と(c)に細線の中央付近と先端における TOF-SIMS による微小領域の Sb 深さ分布測定結果を示す。どちらの深さ分布も細線表面と下地 SiO<sub>2</sub> 界面付近で Sb 濃度が高い値を示しており、SiO<sub>2</sub> 界面付近では初期濃度と同程度かそれ以上の値となった。中央付近と先端を比べると、表面側と界面付近のどちらも先端の Sb 濃度が高いことがわかる。これらの結果は、液相成長時に成長方向だけではなく、深さ方向にも Sb 原子が偏析していることを示している。

Fig. 2 にマイクロフォトルミネッセンス (PL) 測定により取得した発光特性を示す。先端付近では Ge 単結晶基板に比べ、13 倍の高い発光強度を示した。これは Sb ドーピングにより $\Gamma$ 点でのキャリア密度が増加していることを示しており、本手法により高濃度 n 型 Ge 細線の作製が可能であることを示唆している。講演当日は初期 Sb 濃度依存性や濃度分布の均質化等も含め、より詳細に議論する。

[1] M. Matsue *et al.*, Appl. Phys. Lett. **104**, 031106 (2014).

[2] R. Matsumura *et al.*, Solid. State. Lett. **2**, 58 (2013).

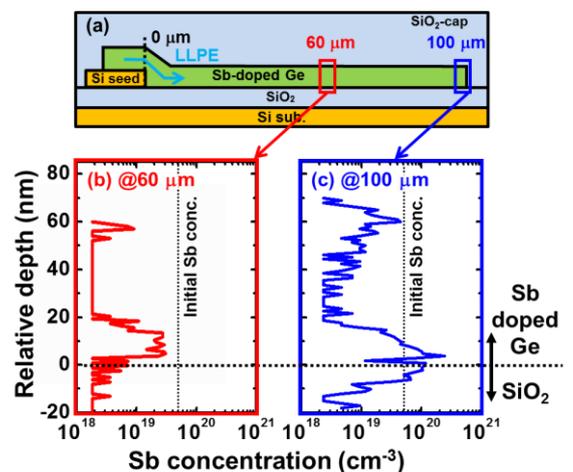


Fig. 1 (a) Schematic of LLPE Sb-doped Ge wire. Sb depth profiles: (b) 60  $\mu\text{m}$  and (c) 100  $\mu\text{m}$  from Si seed.

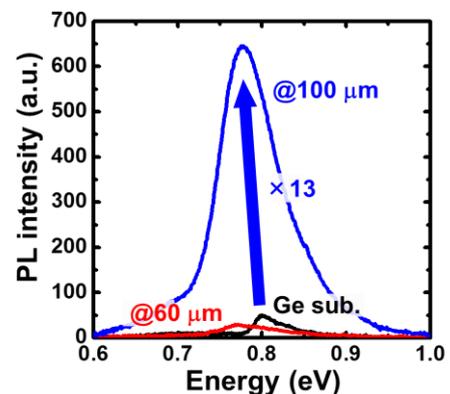


Fig. 2 PL spectra of LLPE Sb-doped Ge wire.