

# 横方向液相成長によって作製した引張歪み高濃度 n 型 Ge 細線の光学特性評価

## Optical properties of tensile-strained highly-doped n-type Ge wires fabricated by lateral liquid-phase epitaxial growth

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、引張歪みの印加により直接遷移型のバンド構造に近づく。加えて n 型ドーピングによりΓ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。我々はこれまでに単結晶 Ge を Si 基板上に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 細線を溶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。この手法では Ge 細線に 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るため、Sb をアモルファス Ge に添加することにより引張歪み単結晶 n 型 Ge 細線を形成することができる。しかし、結晶化時に成長界面で Sb が偏析するため、細線の成長終端でのみ Sb が高濃度化し、その他の領域での高濃度化が困難であった。前回、我々は Ge 細線を厚膜化し、膜厚方向への Sb の偏析を積極的に利用することにより、細線表面の Sb の高濃度化ができることを示した[1]。その結果、細線表面側全域にわたり  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  程度の高 Sb 濃度と参照用 Ge 基板の約 30 倍のフォトルミネッセンス (PL) 強度を達成した。今回は、本手法により作製した Ge 細線の光学特性を低温 PL 測定により評価した結果について報告する。

【実験および結果】 SOI 基板 (SOI/BOX: 50/150 nm) に Si シード領域を形成後、Sb 添加 Ge 層 (膜厚: 200 nm, 初期 Sb 濃度:  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ) を分子線蒸着により堆積し、細線状 (長さ: 100  $\mu\text{m}$ , 幅: 2  $\mu\text{m}$ ) に加工後  $\text{SiO}_2$  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)). Figs. 1(b), 1(c) に細線の中央付近の微小領域における TOF-SIMS により測定した Sb 深さ分布と顕微 PL 測定による発光スペクトルを示す。細線中央付近でも表面側で  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  を越える高濃度 Sb 領域が形成されており、Ge 基板の 32 倍の発光強度を確認した。

Fig. 2 に PL スペクトルとそのピーク強度の測定温度依存性を示す。Ge 細線では試料温度が低下するにつれ直接遷移発光が強くなっており (125-300K)、直接遷移型半導体に類似する傾向を示したが、さらに低温領域 (<125K) では発光強度が減少した。通常、間接遷移型半導体では低温でΓ点でのキャリア密度が減少するため、直接遷移発光は減少する (Fig. 2(b))。Ge 細線には 0.4% 程度の引張歪みが印加されているが、直接遷移化には至っていないので、Ge 細線からの発光特性は、引張歪みと高濃度 n 型ドーピングによる L 点での電子の充満による疑似的な直接遷移化と低温域 (<125K) でのキャリア濃度の減少によるものと理解できる。

本研究は JSPS 科研費 JP25246028, JP15H03975, JP16J00819 の助成を受けたものです。

[1] 富田 他, 2016 年第 77 回秋季応用物理学会講演会予稿集, 15a-P8-2.

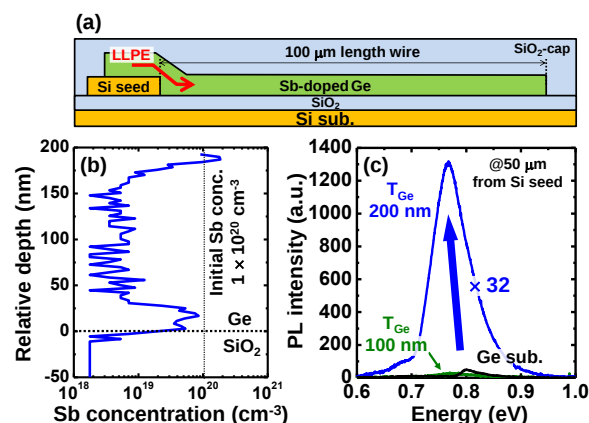


Fig. 1 (a) Schematic of LLPE Sb-doped Ge wire. (b) Sb depth profile and (c) PL spectra of LLPE Sb-doped Ge wires at 50  $\mu\text{m}$  from Si seed.

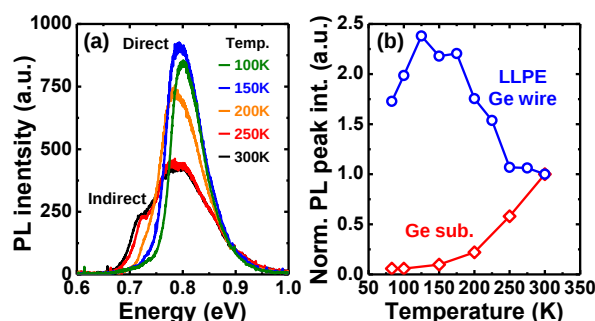


Fig. 2 (a) PL spectra of Sb-doped Ge wire measured at various temperature. (b) Temperature dependence of PL peak intensity from LLPE Ge wire and Ge substrate.