

トレンチ埋め込み Si 上 Ge 層における格子ひずみの影響

Effect of lattice strain in Ge layer on Si by trench-filling growth

豊橋技科大¹, SUMCO² ○(M1)加藤 滉大¹, (M1)Mohd Faiz Bin Amin¹,

Jose A. Piedra-Lorenzana¹, 飛沢 健¹, 中井 哲弥², 石川 靖彦¹

Toyohashi Univ. of Tech.¹, SUMCO², Kota Kato¹, Mohd Faiz Bin Amin¹, Jose A. Piedra-

Lorenzana¹, Takeshi Hizawa¹, Tetsuya Nakai², Yasuhiko Ishikawa¹

E-mail: kato.kota.vd@tut.jp, ishikawa@ee.tut.ac.jp

1. はじめに Si 上 Ge 層は通信波長帯(1.3~1.6 μm)の近赤外光を吸収するため, Si フォトニクスにおいて受光器材料として利用されている. Si 光導波路と集積した Ge 受光器は高効率動作が可能である. 一方, 自由空間伝搬光の高効率受光には, 膜厚が数 μm 以上の厚い Ge が必要となる. 前回, Si(001)基板上にトレンチを[100]方向に沿って形成することにより, 数 μm 厚の Ge エピタキシャル層をトレンチ内部に短時間に形成できることを報告した[1]. 今回は, Ge 埋め込み層中に熱応力によって導入される引張格子ひずみを理論解析し, バンドギャップに与える影響を調べた.

2. Si 上 Ge 層(平坦膜)の引張格子ひずみ Si 上 Ge 層には面内に引張応力が印加される[2]. 約 4.2%の格子不整合による圧縮応力は臨界膜厚(数 nm)以上の Ge 層では緩和するが, 成長温度(典型値 600°C)から室温に冷却する際, Si 基板との熱膨張係数差により面内に引張応力が誘起される. 面内引張格子ひずみは約 0.2%である. Ge の直接遷移バンドギャップが 0.80 eV から約 0.77 eV に縮小し, 光吸収端が 1.55 μm から 1.61 μm まで長波長化する効果が得られる. 光通信で利用される波長 1.55 μm での高効率受光に効果的である.

3. トレンチ埋め込み Ge 層に対する格子ひずみのシミュレーション 埋め込み構造が格子ひずみに及ぼす影響を有限要素法によるシミュレーション(COMSOL Multiphysics)を用いて調べた. Ge を成長温度 600°C から室温(25°C)まで降温した際に, 熱膨張係数差によって導入される格子ひずみの分布を計算した. Si および Ge の熱膨張係数はそれぞれ $2.6 \times 10^{-6} [1/K]$ および $5.9 \times 10^{-6} [1/K]$ とした. Fig. 1(a)に Ge トレンチ埋め込み層(幅: 1 μm , 深さ: 3 μm : 奥行き向は一様), Fig. 1(b)に膜厚 1 μm の Ge 平坦膜に対する結果を示す. 横方向, 奥行方向, 膜厚方向をそれぞれ x, y, z 方向と定義し, $\epsilon_{xx}, \epsilon_{yy}, \epsilon_{zz}$ の分布を示した. どちらの構造も y 方向は約 0.20%の引張ひずみが誘起される. トレンチ埋め込み構造ではひずみに分布がみられるが, トレンチ中央部において x 方向は僅かな圧縮ひずみ(約 -0.05%), z 方向は引張ひずみ(0.10%程度)を有する. 一方, 平坦膜に対しては, x 方向では y 方向同様の引張ひずみが誘起されるが, z 方向では圧縮ひずみ(-0.15%)となる. トレンチ埋め込み構造では, 側壁で Ge 層が Si に束縛される効果があり, 全体として引張ひずみが大きくなる. 直接遷移バンドギャップが一層収縮し, 近赤外光の吸収が増大する効果があると期待される.

[1] 本村 他, 2021 応用物理学会秋季学術講演会 10p-N202-1. [2] Ishikawa et al., APL 84, 2044 (2003).

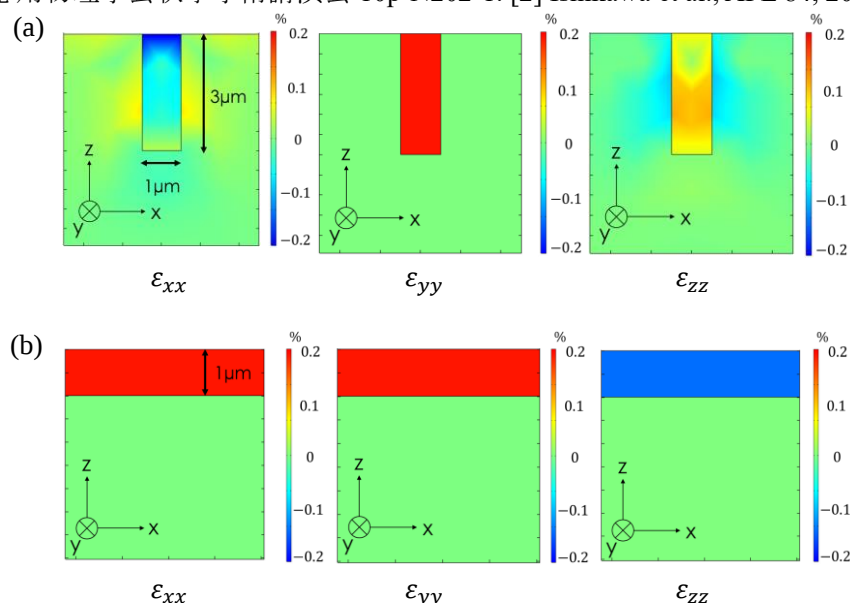


Fig. 1. Simulated distribution of lattice strain for (a) trench-filled Ge and (b) blanket Ge film on Si.