

Si 上ひずみ Ge 層の直接遷移バンドギャップの温度依存性

Temperature dependence of direct bandgap in strained Ge layer on Si

豊橋技科大¹, PETRA² ○(M1) 剣持 進次郎¹, 藤方 潤一², 石川 靖彦¹

Toyohashi Univ. of Tech.¹, PETRA² Shinjiro Kenmotsu¹, Junichi Fujikata², Yasuhiko Ishikawa¹

E-mail: kemmotsu.shinjiro.cr@tut.jp, j-fujikata@petra-jp.org, ishikawa@ee.tut.ac.jp

1. はじめに シリコンフォトニクスにおいて, Ge エピタキシャル層は受光器材料として不可欠である. Franz-Keldysh 効果を用いた電界吸収型光変調器としても検討が進んでいる[1]. Ge 光デバイスの動作波長は, Ge 層の光吸収端, すなわち直接遷移バンドギャップで決まっており, その温度依存性はデバイスの動作特性に直結する. 格子ひずみのないバルク Ge に対しては直接遷移ギャップの温度依存性が調べられているが, Si 上 Ge 層のように格子ひずみを有する場合[2]は報告がない. 今回, Si 上ひずみ Ge 層の直接遷移ギャップの温度依存性を評価したので報告する.

2. 実験方法 超高真空化学気相堆積法を用い, 石英基板上に Si 層が貼り合わされた Si-on-quartz (SOQ) ウエハ上に膜厚 500 nm の Ge 層をエピタキシャル成長した. X 線回折測定の結果, Ge 中に 0.33% の引張ひずみが存在した[2]. 石英基板との熱膨張係数差に起因する引張ひずみであり, 通常の Si 基板上 Ge 層よりも約 2 倍大きい. フトリフレクタンス (PR) 法により, SOQ 上ひずみ Ge 層および参照用バルク Ge ウエハの直接バンドギャップを評価した. 20°C から 60°C まで温度を変化させた. スペクトルを理論フィッティングし[3], 直接遷移ギャップを決定した.

3. 実験結果 SOQ 上ひずみ Ge 層およびバルク Ge の PR スペクトルを, Fig. 1(a)および 1(b)にそれぞれ示す. Franz-Keldysh 振動と呼ばれる振動特性が得られた. 温度上昇とともに振動ピークが低エネルギー側にシフトした. 直接遷移ギャップが減少していることに対応する. 図中の矢印は理論フィッティング (実線) により得られた直接遷移ギャップのエネルギーを示している. SOQ 上ひずみ Ge 層では, バルク Ge よりもエネルギーが縮小し, 価電子帯上端の軽い正孔 (LH) および重い正孔 (HH) バンドの縮退が解け, 対応する二つのエネルギーが得られる. Fig. 1(c)に直接遷移ギャップエネルギーを温度に対してプロットした. Varshni の経験式により得られるバルク Ge の直接遷移ギャップの温度依存性も示した. 格子ひずみの有無によらず, 直接遷移ギャップの温度に対する変化率がおおよそ一致する結果が得られた.

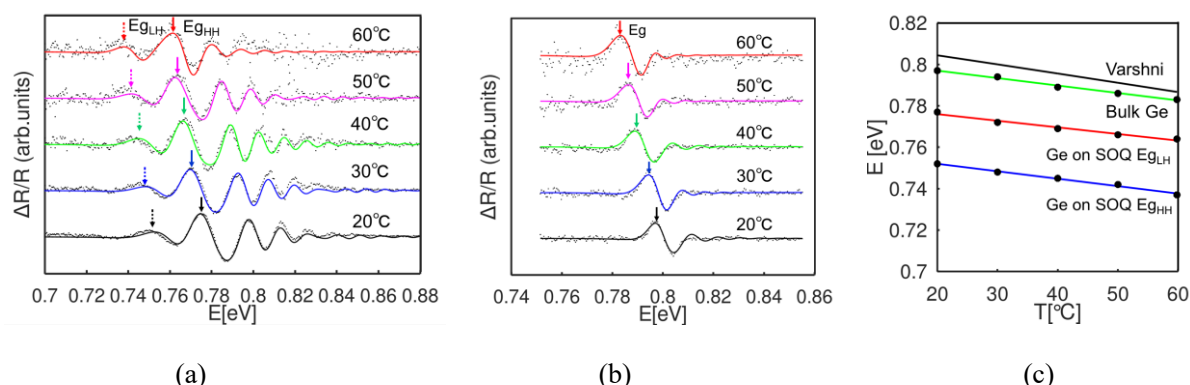


Fig. 1. Temperature dependence of PR spectra for (a) Ge on SOQ and (b) bulk Ge, and (c) direct bandgap energies as a function of temperature.

4. まとめ SOQ 上ひずみ Ge 層に対して直接遷移ギャップの温度依存性を調べた. ひずみのないバルク Ge と同様, 温度上昇とともに直接遷移ギャップが縮小した. その変化率は Varshni の経験式と近い値を示した.

謝辞 SOQ ウエハは信越化学工業の関山有郎氏、秋山昌次氏に提供頂いた.

[1] J. Fujikata et al., Opt. Express 28, 33123 (2020). [2] K. Noguchi et al., J. Appl. Phys. 128, 133107 (2020). [3] H. Shen and F. H. Pollak, Phys. Rev. B 42, 7097 (1990).