

n タイプ Ge 量子井戸短波長発光素子のための Ge 仮想基板に関する研究 Study of Ge virtual substrate for n⁺ Ge quantum well short-wavelength emitters

東大院工 ○Han Pan, 和田一実

The Univ. of Tokyo, ○Han Pan, Kazumi Wada

E-mail: kwada@material.t.u-tokyo.ac.jp

【序論】 光集積回路においては発光素子の開発が極めて重要である。発光素子の材料として、直接遷移発光における波長が現状の光通信に用いられる 1.55 μm 付近であり、Si と同じ IV 族半導体である Ge が候補として注目されている。Ge は間接遷移半導体であり発光素子として適さないが、n 型不純物添加と拡張歪の印加によって伝導帯に電子を占有することにより 1.5~1.6 μm での発光が報告されている^[1]。今後は、光通信ではさらに短波長化が必要となり、そのアプローチの一つとして Ge/SiGe 系量子井戸^[2]が注目されている。しかし、障壁層となる SiGe は Ge 量子井戸に格子定数差に起因する圧縮歪を導入するため、 Γ -L 間のエネルギー差が Ge バルクに比して増加する。このため、直接遷移発光は困難と考えられる。そこで、我々は Ge 仮想基板の導入を利用し、この圧縮歪を導入しない(以下、「Strain non-balanced」と呼ぶ)Ge 量子井戸の実現可能性を検討したので報告する。

【構造設計と実験方法】 Ge 仮想基板を用いることにより、Strain non-balanced Ge/SiGe 量子井戸構造は実現できる。課題は、Ge 仮想基板の転位低減と光モードの引き込みの抑制にあり、互いに相反する要求である。即ち、Ge 仮想基板の転位を低減するためには仮想基板となる Ge エピを厚くする必要がある一方、Ge の屈折率が Si や SiGe より大きいことから Ge 仮想基板の厚みが大きいと、光モードが Ge 量子井戸ではなく Ge 仮想基板に引き込まれる。従って、Ge 仮想基板の転位低減と光モードの引き込みの妥協点を求める必要がある。このため、SiGe 障壁層の組成としては $\text{Si}_{0.15}\text{Ge}_{0.85}$ とした。計算からはこの量子井戸構造は 1.45 μm 付近まで禁制帯幅を拡大することができる。Ge 仮想基板への光モード引き込みの問題に対しては、量子井戸における発光モードを有限要素法によりシミュレートした。Fig. 1 (a)は、設計した「Strain non-balanced」構造を示す。Si 基板上に 10 nm 程度の Ge エピを完全に格子緩和させた(Ge 仮想基板)。その上に高温で量子井戸を成長した。この時、Ge 仮想基板上の SiGe 障壁層を臨界膜厚以下に保ち成長することにより、SiGe の格子は Ge に整合し、Ge 量子井戸には圧縮歪みが入らない。ここで、Ge 仮想基板は UHV-CVD により低温成長し、高温アニールにより転位を低減し、その密度は X 線回折法で評価した。

【結果と考察】 Fig. 1 (b)は、Ge 仮想基板の厚みを 10 nm 程度に制御することで完全に格子緩和させ、その後 Ge/SiGe の多層量子井戸を導入することにより、光は量子井戸層側に閉じ込め得ることを示している。次に、Fig. 2 に示すように、厚さ 10 nm 程度の Ge エピを Si 基板上に成長後、750°C において 10 分の熱処理をすると、Ge エピには 0.07%の拡張歪が導入され、完全に格子緩和させることができた。

【まとめ】 Ge リッチ組成の SiGe を障壁層として使い、Ge 仮想基板の厚さを 10 nm 程度に制御することによって、Ge 仮想基板への光モード引き込みが抑制可能なことが明らかとした。また、10 nm 程度の Ge 仮想基板が高温アニール法により、Si 基板上に完全に格子緩和することを検証した。

参考文献

[1] J. Liu et al., Opt. Lett., 42, 679, (2010). [2] Papichaya Chaisakul, Doctor Thesis, (2009).

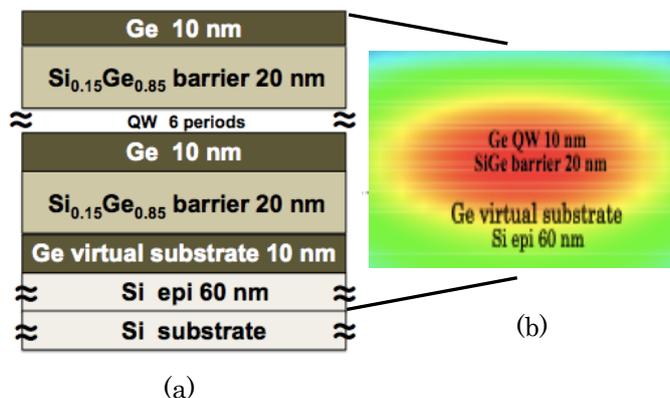


Fig.1. (a) Strain non-balanced Ge QW structure
(b) TE mode light confinement in Ge/SiGe multi-QW.

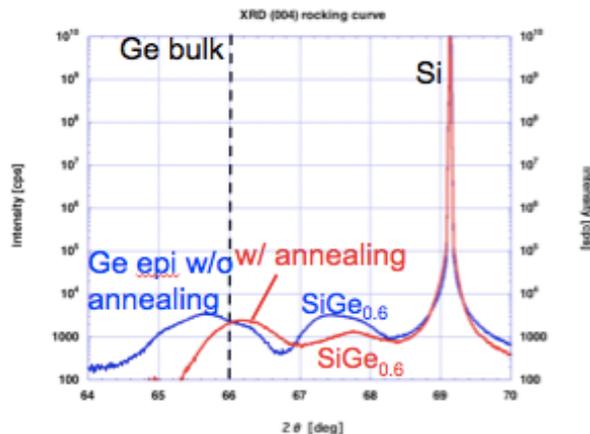


Fig.2. XRD peak of Ge virtual substrate.