

課題番号 : F-14-UT-0141  
 利用形態 : 機器利用  
 利用課題名 (日本語) : 高濃度 n 型不純物導入による Ge 成長および発光特性に関する研究  
 Program Title (English) : Study of n type heavily doped Ge growth and its photoluminescence (PL) characteristics  
 利用者名(日本語) : 潘 撼、和田 一実  
 Username (English) : Han Pan, Kazumi Wada  
 所属名(日本語) : 東京大学大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 和田研究室  
 Affiliation (English) : Wada Laboratory, Department of Materials Engineering, The University of Tokyo

### 1. 概要 (Summary)

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  $\mu\text{m}$  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 は間接遷移型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させることにより 1.5~1.6  $\mu\text{m}$  での発光が報告された<sup>[1]</sup>。本研究では、n 型不純物の添加による、Ge のキャリア密度変化および Ge のフォトルミネッセンス(PL)強度変化を調査し、n 型 Ge の物性を評価する。

### 2. 実験 (Experimental)

超高真空 CVD による、Ge を成膜時に、温度と  $\text{GeH}_4$  の流量を一定に保ち、 $\text{PH}_3$  の流量をパラメータとしてキャリア密度を制御した。また、Ge 成長時にクリーンドラフト及び超純水を用いてウェハの洗浄を行うことで、結晶性の良い Ge の成長が可能となった。成膜した結晶については、Hall 効果測定または CV 測定法によりキャリア密度を確定し、さらに PL を測定した。

### 3. 結果と考察 (Results and Discussion)

Fig. 1 に、成長温度が 600°C、 $\text{GeH}_4$  が 140 sccm で維持された場合、 $\text{PH}_3$  の流量をパラメータとしたキャリア密度の変化を示す。Fig. 1 の結果より、Ge の in-situ ドーピングによるキャリア密度が  $1\text{E}^{19} \text{cm}^{-3}$  で飽和していることがわかった。この結果は、他のグループの結果ともほぼ一致している。また、典型的な n 型 Ge (Si cap 付き) の PL スペクトルを Fig. 2 に示す。この結果より、n 型 Ge (Si cap 付き) の PL は直接遷移側で光っている一方、強度が真性 Ge とほぼ同じであることが分かる。我々はこれを Si cap による界面ピンニングモデルに基づいて解釈した。Fig. 3 に Si cap をドライエッチングによって除去し、さらに熱酸化膜をつけた n 型 Ge の PL 強度を示す。この結果からは、Si

cap が n 型 Ge の PL 強度を低下し、Ge の熱酸化膜が n 型 Ge の PL 強度を増加することがわかった。Fig. 4 にこの現象のメカニズムを示す。Si cap/n 型 Ge の界面には欠陥が存在し、フェルミ準位がこれらの欠陥にピンニングされ、Ge 側に 12 nm の空乏層ができると考えられる。これは、励起に用いたレーザ光の侵入長の半分に適し、励起されたキャリアの半数程度が発光性再結合に寄与しないことを意味する。この結果、Si cap をつけた n 型 Ge の PL 強度が低くなったものと考えられる。また、熱酸化による PL 強度の増大は、熱酸化膜が n<sup>+</sup> Ge の界面準位密度を減少させるため、界面準位を経由する非発光性の再結合が減少したため生じたと考えられる。

### 4. その他・特記事項 (Others)

[1] J. Liu et al., Opt. Lett., 42, 679, (2010).

### 5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

H. Pan et al, 'Photoluminescence quenching effect by Si cap in n<sup>+</sup> Ge on Si', SPIE WEST, 2015 年 2 月

### 6. 関連特許 (Patent) : なし

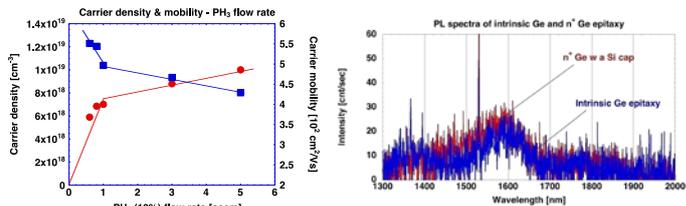


Fig. 1 Carrier density and mobility.  $\text{PH}_3$  flow rate.

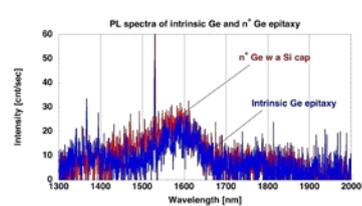


Fig. 2 PL spectre of n-Ge

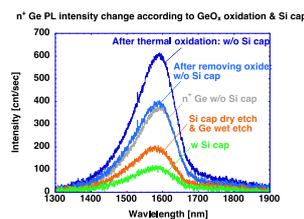


Fig. 3 PL Intensity of n-Ge with different surace conditions

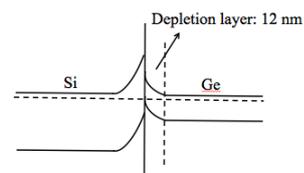


Fig. 4 Fermi level pinning and carrier depletion