

課題番号 : F-13-UT-0117  
 利用形態 : 機器利用  
 利用課題名 (日本語) : n型不純物添加によるゲルマニウムの物性評価  
 Program Title (English) : Evaluation of material properties for n type doped Ge  
 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  
 Affiliation (English) : 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励起することにより 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り、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変化を調査し、n タイプ Ge の物性を評価する。

## 2. 実験 (Experimental)

超高真空 CVD により、Ge を成膜すると同時に、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、非常に結晶性の良い Ge の成長が可能となった。成膜した結晶については、Hall 効果またはサイクリックボルタンメトリーによりキャリア密度を確定し、フォトルミネッセンスを測定した。

## 3. 結果と考察 (Results and Discussion)

図 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は  $\text{PH}_3$  の流量 1 sccm を境に変化しており、 $1\text{E}+19 \text{ cm}^{-3}$  で飽和していることがわかった。この結果は、他のグループとも比較的一致している。また、異なるキャリア密度を持った n 型 Ge のフォトルミネッセンスを測定した結果、Fig.2 のような生データを得ることができた。Fig.2 の結果より、n 型 Ge のフォトルミネッセンスはキャリア密度の変化によりピーク波長が長波長側へシフトするとともに、強度が強くなることがわかった。これ

らの結果をそれぞれピーク波長-キャリア密度、ピーク強度-キャリア密度の関係にまとめ、さらに他グループの実験値<sup>[2]</sup>を加えると、Fig.3 と Fig.4 の結果を得ることができた。これらの結果は、n 型 Ge の自然発光特性を示しており、今後光集積回路に Ge を発光素子として導入するにあたり非常に重要なデータである。なお、キャリア密度の増加により、Ge の直接遷移における発光波長が長波長側にシフトする理由として、bandgap narrowing が挙げられるが、詳しいメカニズムは今後さらに調査する必要があると考えられる。

## 4. その他・特記事項 (Others)

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

[2] J. Liu et al., Semicond. Sci. Technol., 27, (2012).

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

潘撼 (Pan Han)、和田一実、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、2014 年 第 61 回応用物理学会春期学術講演会(青山学院大学)、19a-F8-6 (2014.3)

## 6. 関連特許 (Patent)

なし

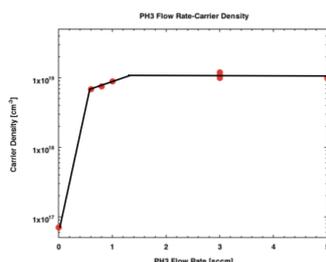


Fig.1 Carrier density vs. PH3 flow rate.

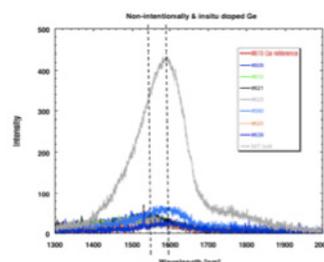


Fig.2 PL spectra variation vs. carrier density.

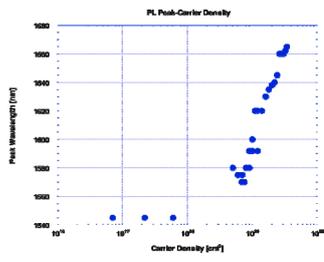


Fig.3 PL peak wave-length vs. carrier density.

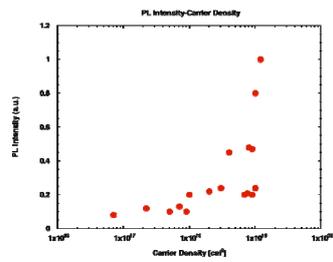


Fig.4 PL peak intensity vs carrier density.