

Ge_{1-x}Sn_x エピタキシャル層中の欠陥の電気的特性

Electrical Properties of Defects in Ge_{1-x}Sn_x Epitaxial Layers

¹名古屋大学大学院工学研究科, ²日本学術振興会特別研究員, ³名古屋大学エコトピア科学研究所

○浅野孝典^{1,2}, 柴山茂久^{1,2}, 竹内和歌奈¹, 坂下満男¹, 中塚理¹, 財満鎮明^{1,3}

¹Graduate School of Eng., Nagoya Univ., ²Research Fellow of JSPS, ³EcoTopia Science Institute, Nagoya Univ.

○T. Asano^{1,2}, S. Shibayama^{1,2}, W. Takeuchi¹, M. Sakashita¹, O. Nakatsuka¹, and S. Zaima^{1,3}

E-mail: tasano@alice.xtal.nagoya-u.ac.jp

【はじめに】Ge_{1-x}Sn_x は、電子および正孔の小さな有効質量が期待できるため、高速電子デバイス応用に向けて注目を集めている [1]。しかし、Sn 組成増大に伴う結晶性の劣化および欠陥密度の増大の影響から、Ge_{1-x}Sn_x 本来の物性を引き出せていないのが現状である [2]。前回、我々は分子線エピタキシー (MBE) 中の水素供給によって、Ge_{1-x}Sn_x 層の結晶性向上のみならず、膜中でアクセプタとして振る舞う欠陥の密度を低減できることを報告した[3]。成長や熱処理条件が欠陥形成に及ぼす影響の理解と制御が、高品質 Ge_{1-x}Sn_x 層実現のための重要な知見につながると考えられる。今回、高 Sn 組成と低欠陥密度を両立する Ge_{1-x}Sn_x 層の形成を目指し、電気的に活性な欠陥の密度やエネルギー深さに成長および熱処理条件が及ぼす影響を調べた。

【試料作製】清浄化した p-Ge(001)基板上に、固体ソース MBE 法を用いて、膜厚 130 nm のアンドープ Ge_{1-x}Sn_x 層を基板温度 150°C において形成した。このとき、成長中の水素ガス流量の調節により、全圧を 10⁻⁷ Pa (水素供給なし) または 10⁻² Pa に制御した。成長後、一部の試料には、窒素または水素雰囲気において 400°C、10 分間の熱処理を施し、熱処理後の膜に歪緩和や Sn の析出がないことを確認した。金属-酸化物-半導体 (MOS) キャパシタ作製のため、HF 洗浄の後、基板温度 300°C および 150°C において、原子層堆積法により膜厚 1 nm の GeO₂ および 5 nm の Al₂O₃ 膜を積層形成し、さらに Al 電極を形成した [4]。

【結果および考察】水素を供給して成長した Ge_{0.940}Sn_{0.060} 膜の MOS キャパシタの 300K における容量-電圧 (C-V) 特性および測定周波数 1MHz に対応する 1/C²-V プロットを、それぞれ図 1(a) および 1(b) に示す。Sn 組成が 6.0% と高い膜においても、良好な C-V 特性が得られることがわかる (図 1(a))。1/C²-V プロットの傾きから (図 1(b))、Ge_{1-x}Sn_x 膜中のイオン化した欠陥密度を定量化した。300K における欠陥密度の熱処理雰囲気依存性を図 2 に示す。成長中に水素を供給した試料は、供給のない場合と比べて、水素および窒素中の両熱処理条件において欠陥密度を低減できる。また、窒素熱処理の方が、より効果的に欠陥密度を低減できる。

欠陥のエネルギー深さを明らかにするために、水素を供給して成長した as-grown 試料およびその試料を窒素熱処理した後の欠陥密度のアレニウスプロットを作成した (図 3)。as-grown の試料は、室温付近においてイオン化している欠陥密度が急激に増大する。室温付近における欠陥の活性化エネルギーは 100 meV と見積もられた。一方、熱処理後の試料は、室温付近においてもイオン化した欠陥密度の増加量が小さいことがわかる。窒素熱処理により深い準位の欠陥密度が減少することで、室温における欠陥密度を低減できたことを示している。

【参考文献】 [1] K. L. Low *et al.*, J. Appl. Phys. **112**, 103715 (2012). [2] 浅野 他、応用物理学会春季学術講演会、18p-F6-17 (2014). [3] 浅野 他、第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、19p-A16-3 (2014). [4] K. Kato *et al.*, Appl. Phys. Lett. **105**, 122103 (2014).

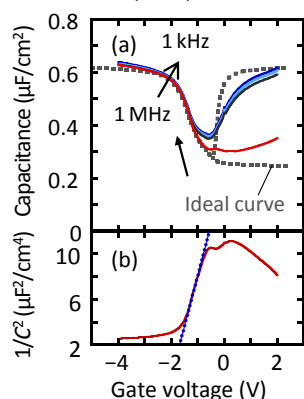


Fig. 1: (a) C-V curves of Al/Al₂O₃/GeO₂/Ge_{0.940}Sn_{0.060}/p-Ge(001) MOS capacitor at 300K. (b) 1/C²-V plots corresponding to C-V curves shown in Fig. 1(a).

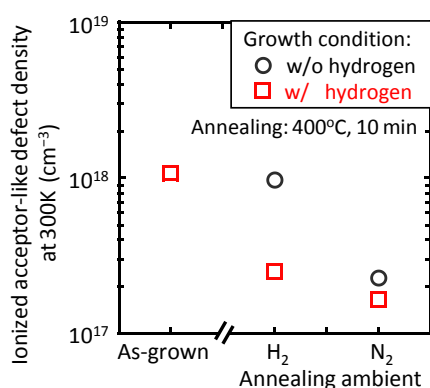


Fig. 2: The annealing ambient dependence of the acceptor-like defect density for Ge_{1-x}Sn_x layers grown with and without hydrogen.

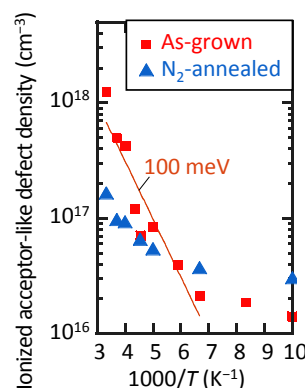


Fig. 3: The Arrhenius plots for as-grown and N₂-annealed samples.