

Ge_{1-x}Sn_x エピタキシャル層中における欠陥形成に対する Sn 組成の影響

Influence of Sn Content on Defect Formation in Ge_{1-x}Sn_x Epitaxial Layers

○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}

(1. 名古屋大院工、2. 学振特別研究員、3. 名古屋大エコトピア)

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

(1. Grad. School of Eng., Nagoya Univ., 2. Research Fellow of JSPS, 3. ESI, Nagoya Univ.)

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

【はじめに】 Ge_{1-x}Sn_x は、Sn 組成の増大により電子・正孔双方の有効質量およびバンドギャップの低減が期待できるため、トンネル電界効果トランジスタ (TFET) 等への応用に向けて注目されている[1]。Ge_{1-x}Sn_x の実用化に向けては、キャリアの密度および分布の制御が重要となる。しかし、エピタキシャル成長した Ge_{1-x}Sn_x 層は、欠陥が形成する acceptor-like な準位に由来して、非ドーブにも関わらず 10¹⁷ cm⁻³ を超える高い正孔濃度を有することが報告されている[2]。適切なキャリア濃度の制御のためには、Ge_{1-x}Sn_x 層中の欠陥の電気的特性の理解と制御が必要不可欠である。今回、Ge_{1-x}Sn_x 層中における欠陥の密度 (N_a) およびエネルギー準位 (活性化エネルギー (E_a)) の Sn 組成依存性を詳細に調べた。

【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 の非ドーブ 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 10⁻² Pa に制御した。Al/Al₂O₃/GeO₂/Ge_{1-x}Sn_x/p-Ge(001) 構造の金属-酸化物-半導体 (MOS) キャパシタ作製のため、希弗酸洗浄の後、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 膜を積層し、さらに Al 電極を形成した[3]。

【結果および考察】 成長直後の Ge_{0.940}Sn_{0.060} 層を用いた MOS キャパシタの 300 K における容量-電圧 ($C-V_g$) 特性を Fig. 1 の挿入図に示す。空乏状態における $1/C^2-V_g$ 特性の傾きから、Ge_{1-x}Sn_x 層中のイオン化した acceptor-like な欠陥の密度 (N_a^-) を見積もった[4]。様々な測定温度において見積もられた N_a^- から、そのアレニウスプロットを得た (Fig. 1)。Ge_{1-x}Sn_x および Ge 層において、100 K を境とする高温領域と低温領域とにおいて、それぞれ深い準位と非常に浅い準位に対応する 2 つの依存性が見られた。これらの傾きから、それぞれの準位の N_a および E_a を見積もった[5]。ここでは、2 つの acceptor-like な準位を仮定し、正孔濃度がイオン化した欠陥密度の和で表されると仮定した。実験結果を N_a および E_a についてフィッティングし、各パラメータを得た[5]。Ge_{1-x}Sn_x 層中の深い準位の N_a および E_a の Sn 組成依存性を Fig. 2(a) に示す。 E_a は Sn 組成に依らず約 0.2 eV と見積もられた。この値は、Ge 中の空孔対 (V_2) および V-Sn 欠陥が形成するエネルギー準位に対応すると考えられる[6]。一方、欠陥密度は Sn 組成とともに増大することから、Sn 組成の増大によって、より多くの V_2 および V-Sn 欠陥が形成されると考えられる。一方、浅い準位は測定温度域で濃度変化がなく、完全に活性化していることから (Fig. 1)、 E_a は測定限界 (0.01 eV) 以下と見られる。Ge_{1-x}Sn_x 中において価電子帯端の非常に近くに位置する欠陥準位を初めて観測した。この欠陥の起源は明らかではないが、Fig. 2(b) に示すように、欠陥密度は Sn 組成とともに増大する。

【参考文献】 [1] M. Liu *et al.*, IEEE Trans. Electron Dev. **62**, 1262 (2015). [2] E. Kamiyama *et al.*, Appl. Phys. Express **7**, 021302 (2014). [3] K. Kato *et al.*, Appl. Phys. Lett. **105**, 122103 (2014). [4] S. M. Sze, *Physics of Semiconductor Devices*, international 2 revised ed. (Wiley, New York, 1981). [5] M. Satoh *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **47**, 4630 (2008). [6] V. Markevich *et al.*, J. Appl. Phys. **109**, 083705 (2011).

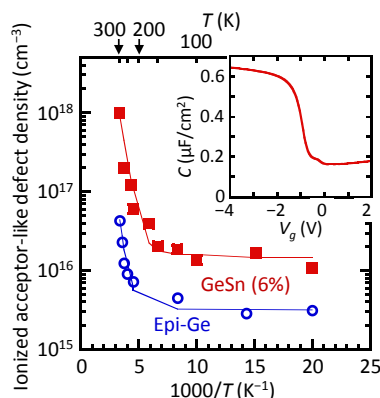


Fig. 1: The Arrhenius plots of N_a^- for as-grown Ge_{1-x}Sn_x and Ge/Ge samples. Inset shows $C-V_g$ curves of Ge_{1-x}Sn_x MOS capacitor at 300 K.

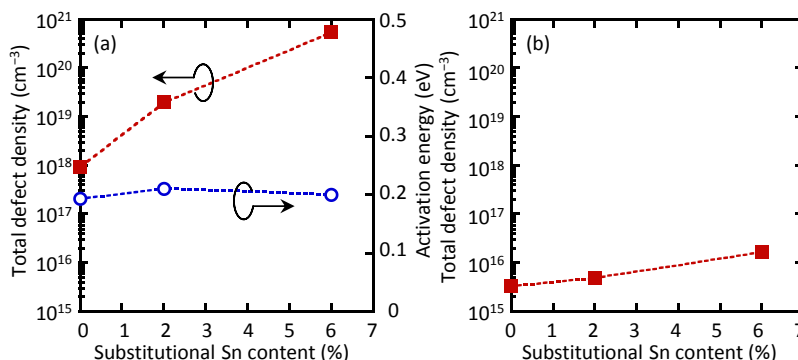


Fig. 2: The Sn content dependence of the density and activation energy of acceptor-like defects with (a) deep and (b) shallow states estimated from Ge and Ge_{1-x}Sn_x/Ge samples.