エピタキシャル Si1-xGex 薄膜中の欠陥構造に対する前駆体ガス原料の効果

Influence of Precursor Gas Source on Defect Properties in Si_{1-x}Ge_x Epitaxial Thin Films

⁰池進一 ^{1,2,3}, Eddy Simoen³, 志村洋介 ^{3,4,5}, Andriy Hikavyy³, Wilfried Vandervorst^{3,4},

Roger Loo³, 竹内和歌奈¹, 中塚理¹, 財満鎭明^{1,6}

(¹名古屋大院工, ²学振特別研究員, ³Imec, ⁴KU Leuven, ⁵FWO PMC Fellow, ⁶名古屋大エコトピア) ^OS. Ike^{1,2,3}, E. Simoen³, Y. Shimura^{3,4,5}, A. Hikavyy³, W. Vandervorst^{3,4}, R. Loo³, W. Takeuchi¹, O. Nakatsuka¹, and S. Zaima^{1,6} (¹Grad. Sch. of Eng., Nagoya Univ., ²JSPS Research Fellow, ³Imec, ⁴KU Leuven, ⁵FWO PMC Fellow, ⁶ESI, Nagoya Univ.) E-mail: sike@alice.xtal.nagoya-u.ac.jp

[はじめに] Beyond 10 nm 技術世代に向けた CMOS デバイスのスケーリングに伴い、IV 族半導体材料 を基準としたデバイスを構築していく上で、エピタキシャル Si_{1-x}Ge_x薄膜の成長温度の低減が要求され る。例えば、Si_{1-x}Ge_x S/D ストレッサに関しては、成長中の歪緩和や不純物ドーパントの拡散を抑制し なければならない。また、(歪) Ge-FinFET 構造に向けて、20 nm 程度の微細トレンチ内の埋め込み Ge は 600℃で表面拡散が起こることが知られており[1]、ナノスケールの微細構造の制御上においてもプ ロセス温度の低温化が要求されている。Si_{1-x}Ge_x 成長において前駆体ガス原料(プリカーサガス)とし てよく用いられる SiH₄、Dichlorosilane (DCS)、GeH₄に代わり、熱分解温度のより低い高次のプリカー サガスを用いて、成長温度を 400℃ 程度まで低減できることが報告されている[2, 3]。一方、低温成長 において膜中にデバイス特性の劣化に繋がる点欠陥等が容易に導入される可能性があるが、詳細はわ かっていない。本研究では、エピタキシャル Si_{1-x}Ge_x 膜の結晶性および電気的活性な欠陥に対して、プ リカーサガスの種類が与える効果について調査した。

[実験方法] 減圧 CVD 法を用いて、n型 Si(001)基板上に膜厚 180 nm の As-doped SiGe 層を形成した。 Si、Ge および As ドーパントのプリカーサガスとして DCS、Si₂H₆、GeH₄、Ge₂H₆、AsH₃を用いた。目 標 Ge 組成を 25% とした。DCS/GeH₄ および Si₂H₆/Ge₂H₆ の各原料の組み合わせにおける成長温度およ び成長速度は、それぞれ 615°C (6.3 nm/min) および 550°C (38.2 nm/min) であった。Si_{1-x}Ge_x 層形成後、 容量-電圧 (C-V) 特性および Deep-Level Transient Spectroscopy (DLTS) 測定を行うため、Au 電極を真 空蒸着しショットキーダイオードを作製した。C-V 特性から、Si_{1-x}Ge_x 膜中の電子密度は 0.8~1.5×10¹⁸ cm³ と見積もられた。

[結果および考察] XRD ω -2 θ 測定の結果を Fig. 1 に示す。Si_{1-x}Ge_x 層は Si 基板上に pseudomorphic に成 長し、また、膜厚フリンジが観察されることから、急峻な Si_{1-x}Ge_x/Si 界面の形成も確認される。 Si_{1-x}Ge_x004 回折点における XRD ω ロッキングカーブ測定により、DCS/GeH₄ および Si₂H₆/Ge₂H₆の試料 間で回折ピークの半値幅 (FWHM)を比較したところ、大きな差異は見られなかった。ゆえに、結晶性 の観点からは 2 つの試料ほぼ同等の品質を有することが示唆された。

Fig. 2 に示す DLTS 測定の結果より、DCS/GeH₄の場合、明瞭なピークが観察されない一方、 Si₂H₆/Ge₂H₆の場合は170 K (ラベル E1) および 250 K (ラベル E2) 付近に正のピークが観察される。 このピークは n 型 Si_{1-x}Ge_x 層中の電子トラップを表している。これらは空孔関連の欠陥である As-V 複 合体か Di-Vacancy あるいは Ge-V 複合体に関連するものと推察される[5-7]。Si₂H₆/Ge₂H₆の場合、 DCS/GeH₄と比較して成長温度が低いことに加えて、成長速度が 6 倍以上高いため、成長中に空孔欠陥 が導入されたと推測される。

[参考文献] [1] A. Hikavyy et al., ECS J. of Solid State Sci. Technol. 2(6) (2013) 282. [2] A. Hikavyy et al., in Abstr. of ICSI-9, Montreal, Canada, May 2015. [3] S. Wirths et al., Solid-State Electron. 83 (2013) 2. [5] V. P. Markevich et al., Phys. Rev. B 70, (2004) 235213. [6] P. Kringhoj et al., Phys. Rev. B 52(23), (1995) 16333. [7] C. V. Budtz-Jorgensen et al., Phys. Rev. B 58(3), (1998) 1110.



Fig. 1: XRD ω -2 θ scans of Si_{1-x}Ge_x/Si samples.



