高品質 n 型多結晶 Ge 膜の合成に向けた Sb 添加固相成長

Sb-doped solid-phase crystallization for high-quality n-type polycrystalline Ge films

筑波大院 数理物質 °斎藤聖也，高原大地，今城利文，茂藤健太，末益崇，都甲薫

Univ. of Tsukuba, °Masaya Saito, Daichi Takahara, Toshifumi Imajo, Kenta Moto,

Takashi Suemasu, and Kaoru Toko

E-mail: saimasa.tkb@gmail.com

【はじめに】 情報端末や太陽電池の高性能化に向け、絶縁基板上へのⅣ族半導体薄膜の形成及び伝導型制御が必要不可欠である。我々は最近、Ge の固相成長において前駆体となる非晶質 Ge 層を加熱堆積することで、結晶 Ge 層の劇的な大粒径化を促し、正孔移動度を大幅に更新した[1,2]。今回、n 型 Ge の形成を目指し、前駆体に Sb をドーピングした Ge の固相成長における加熱堆積効果を調査した。

【実験方法】 石英ガラス基板上に分子線堆積法により、Ge 前駆体（膜厚 t: 100-500 nm, 堆積温度 T_d: 50-200 °C, Sb K-Cell 温度 T_{Sb}: 260-300 °C）を形成した。その後、N_2 雰囲気中で熱処理（成長温度 T_g: 375, 450 °C）を施し、固相成長を誘起した。

【結果・考察】 Fig. 1 より、T_d を適切に選択することで固相成長 Ge が大粒径化することが判る[1]。また、Sb 添加により、適切な T_d における粒径は undoped-Ge に比して 2 倍に拡大した。Sn 添加により Ge が大粒径化する現象が知られているが[3,4]、他元素でも同様の効果があることは、現象解明へ前進する知見である。また、電子密度 n は T_d に強く依存することが判明した（Fig. 2(a)）。SIMS 測定により、膜中の Sb 濃度は T_d によらず一定となることが判っており、T_d による Sb の活性化率の変化が示唆される。電子移動度 μ_n は、粒径、n に依存する粒界障壁、および過剰な Sb 析出の影響で決定された（Fig. 2(b)）。一方、厚膜化により、n と μ_n は低下したが、500 °C のポストアニールにより、電子移動度の大幅な向上（200 cm^2/Vs）が見られた。また、10^{17} cm^{-3} 台の n が得られたのは poly-Ge として初めであり、CMOS 化に優位な成果である。Sb 添加が固相成長に与える影響について、詳細は当日議論する。

[1] K. Toko *et al.*, Sci. Rep. **7**, 16981 (2017).
[2] T. Imajo *et al.*, APEX **12**, 015508 (2018).
[3] T. Sadoh *et al.*, APL **109**, 232106 (2016).
[4] K. Moto *et al.*, Sci. Rep. **8**, 14832 (2018).

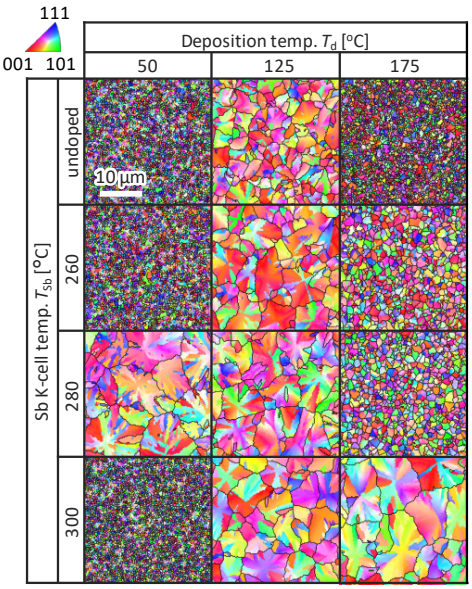

Fig. 1 EBSD images of Sb-doped SPC-Ge summarized as the matrix composed of T_d (50, 125, and 175 °C) and T_{Sb} (undoped, 260, 280, and 300 °C). Here, t = 100 nm and T_g = 450 °C.

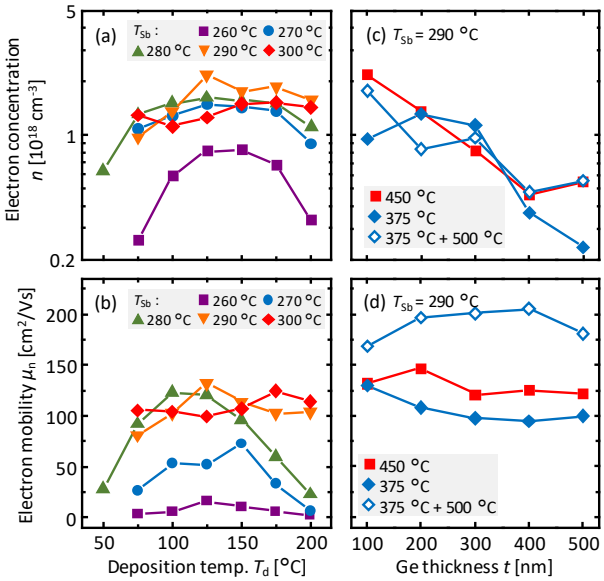

Fig. 2 (a, b) Electrical properties of Sb-doped SPC-Ge as a function of T_d for T_{Sb} = 260-300 °C where t = 100 nm and T_g = 450 °C.
(c, d) Electrical properties of Sb-doped SPC-Ge as a function of t for T_g = 375 and 450 °C where T_d = 125 °C and T_{Sb} = 290 °C. For T_g = 375 °C, the data after PA (500 °C) are shown by open symbols.

© 2019年 応用物理学会