

固相成長 Ge 薄膜の電気的特性に影響を与える物理的起源の探索 Investigation of the physical origin affecting the electrical properties of solid-phase crystallized Ge thin films

筑波大院 数理物質¹, 学振特別研究員²・今城利文^{1,2}, 末益崇¹, 都甲薫¹
Univ. of Tsukuba¹, JSPS Research Fellow²・T. Imajo, T. Suemasu, and K. Toko
E-mail: imajo.toshifumi.mg@alumni.tsukuba.ac.jp

【はじめに】 高性能デバイスの実現を目指し、絶縁基板の上にGe薄膜を形成する研究が活発化している。我々はガラスやプラスチック基板上Ge薄膜において、シンプルな固相成長に工夫を加えることで、ホール移動度の最高値を更新し続けてきた[1-3]。本技術は、堆積中、固相成長中、成長後の熱処理(ポストアニール:PA)の3段階の加熱プロセスを特徴とする。今回は本法の原点に立ち返り、各熱処理が多結晶Ge薄膜に与える影響について、詳細に議論した。

【実験方法】 石英ガラス基板の上に、基板加熱(T_d : 50-200 °C)を行いながらGe膜(100 nm)を分子線堆積した。 N_2 中で熱処理(450 °C, 5 h)して固相成長を誘起した後、Ar中でPA(500 °C, 5 h)を行った。

【結果・考察】 EBSD像(Fig. 1(a)-(d))より、加熱堆積が粒径拡大を誘起することが判る。粒径ならびに双晶粒界、ランダム(R)粒界密度を T_d の関数として整理した(Fig.1 (e))。その結果、 $T_d = 125$ °C付近で粒径が最大となり、R粒界密度は粒径と負の相関を示した。一方で、双晶粒界密度は低 T_d 側ほど増加した。これは、低密度な非晶質Geの成長速度が遅いことに起因する。 T_d の影響を正孔密度 p 、正孔移動度 μ の観点から調査した。結晶中の欠陥に起因し[4]、全ての試料でp型伝導となった。室温における p 、ならびに μ はR粒界密度を反映した傾向となった(Fig.2(a),(b))。すなわち、多結晶Ge中の p はR粒界由来のアクセプタ欠陥が一要因であることが示唆される。これらの電気的特性に対し、PA前後の変化率を確認した結果、全 T_d に対し特性は向上した。特に、 μ 増加率では $T_d = 50$ °Cのみ特異な振る舞いをした一方、 p 減少率は粒径に強く相関した。従って、PAでは粒内欠陥を中心に補償することが推察される。 μ 阻害要因の物理的起源を調査する為、温度依存性を評価した。Fig. 3(a),(b)より、室温では粒界散乱以上に不純物散乱が μ を律速していることが判明した。また、低温領域の傾きより、粒界障壁 E_B 、ならびにトラップ準位密度 Q_t を見積もった[5]。その結果、 E_B および Q_t は大粒径化が発現する T_d 付近で最小となり、更にPAによって全 T_d に対し概ね低減することが判った(Fig. 3(c),(d))。以上、熱処理過程の工夫により達成される固相成長Ge薄膜の移動度向上は、「大粒径化(R粒界の抑制)と Q_t 減少による粒界散乱の低減」および「粒界および粒内のアクセプタ欠陥の補償による不純物散乱の低減」に起因していると判った。現在、Ge薄膜の諸特性がトランジスタ特性に与える影響を調査している。

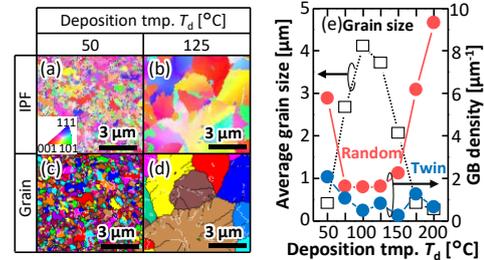


Fig. 1. (a),(b) Typical IPF and (c),(d) grain images by EBSD. The black line shows random GBs and the white line shows twin GBs. (e) Average grain size, and the density of random and Twin GBs as a function of T_d .

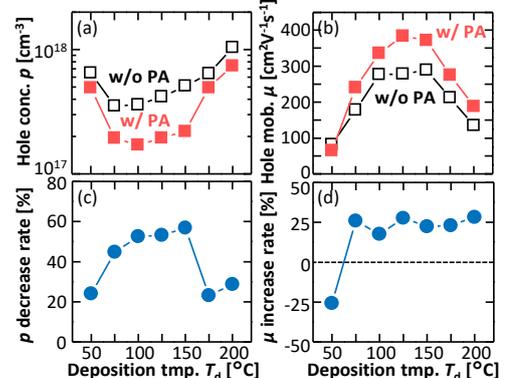


Fig. 2. (a) Hole concentration p , (b) hole mobility μ , (c) p decrease rate and (d) μ increase rate as a function of T_d .

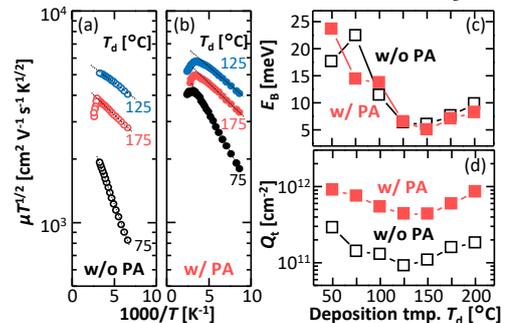


Fig. 3. Arrhenius plots of $\mu T^{1/2}$ (a) before and (b) after PA. (c) Grain boundary barrier height E_B and (d) trap state density Q_t as a function of T_d .

[1] K. Toko *et al.*, *Sci. Rep.* **7**, 16981 (2017). [2] T. Imajo *et al.*, *APEX* **12**, 015508 (2019). [3] 今城 他, 第 68 回春応物 17a-Z33-7 (2021). [4] H. Haesslein *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **80**, 2626 (1998). [5] J. Seto *J. Appl. Phys.* **46**, 5247 (1975).