

多結晶 Ge 系薄膜における分光感度の初実証

First demonstration of photoresponsivity in a polycrystalline Ge-based thin film

筑波大院 数理物質¹, 九州大院 総合理工²○溝口拓士¹, 茂藤健太², 末益崇¹, 都甲薫¹Univ. of Tsukuba¹, Kyushu Univ.². ○T. Mizoguchi¹, K. Moto², T. Suemasu¹, and K. Toko¹

E-mail: mizoguchi.takuto.sj@alumni.tsukuba.ac.jp

【はじめに】多接合型太陽電池の低コスト化には、長波長光吸収材料を安価な基板上に合成することが鍵となる。Ge は長波長光吸収材料として豊富な実績をもつが、その多結晶薄膜においては、粒界および欠陥誘起アクセプタにより光励起キャリアを取り出せた例はなかった。我々は絶縁基板上の固相成長において、堆積時加熱^[1]、Sn 添加^[2]、GeO₂ 下地層の挿入^[3]により、多結晶 Ge 薄膜の劇的な大粒径化ならびに低欠陥化を実現してきた。今回、これらの手法を重畳し、Ge 薄膜のさらなる低欠陥化に取り組むとともに、太陽電池構造を作製し分光感度の実証を試みた。

【実験方法】GeO₂ 下地層 (25 nm) をスパッタ堆積した石英基板上に、Ge_{1-x}Sn_x (x: 0–0.04) 前駆体 (100 nm) を分子線で加熱堆積 (125 °C) した。堆積後、N₂ 中にて熱処理 (375 °C, 150 h) を施すことで固相成長を誘起し、ポストアニール (PA, 500 °C, 5 h) を行った。また、同様の手順で GeO₂ 下地層 (1 nm) を堆積した n⁺-Si(111) 基板上に Ge_{1-x}Sn_x (x = 0.024, 200 nm) を合成した。

【結果・考察】結晶粒径を評価した結果 (Fig. 1)、GeO₂ の挿入により、全 Sn 組成において粒径が拡大した。GeO₂ による核発生抑制効果が、GeSn に対しても有効だと推察される。高 Sn 組成 (x = 0.04) では、析出 Sn が核発生を促進したため小粒径化した。

電気的特性を評価した結果 (Fig. 2)、全ての試料は Ge 中の欠陥誘起アクセプタに起因して p 型伝導を示した。GeO₂ を挿入した試料では、大粒径化を反映して正孔密度 p が低減した。さらに、適切な Sn 濃度 (x = 0.024) では少量の析出 Sn により粒界欠陥が補償され、多結晶 Ge 系薄膜として最低水準の p ($3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$) を示した。また、正孔移動度 μ は、 p および粒界障壁に依存する、不純物散乱および粒界障壁の影響を反映した。

分光感度測定のため、Fig. 3(a)の構造で Si 基板上に固相成長 GeSn (Fig. 3(b)) を合成した。本構造は面直方向に整流性を示しており (Fig. 3(c))、デバイスシミュレーションからも p-GeSn/n-Si 間における空乏層の形成が示唆された。分光感度測定の結果 (Fig. 3(d))、順方向バイアスの印加時に赤外光を含む幅広い波長帯 (400–1600 nm) で光電流が検出された。Si 基板上にエピタキシャル成長した単結晶 Ge では格子不整合に起因する欠陥誘起アクセプタ ($p \sim 10^{18}$) により光電流が検出されないことから、本 GeSn 膜の低い p が分光感度の取得に結実したと推察される。多結晶 Ge 系薄膜から分光感度を取得した世界初の事例であり、また全工程が低温プロセスであることから、ガラス・プラスチック上展開も期待される。

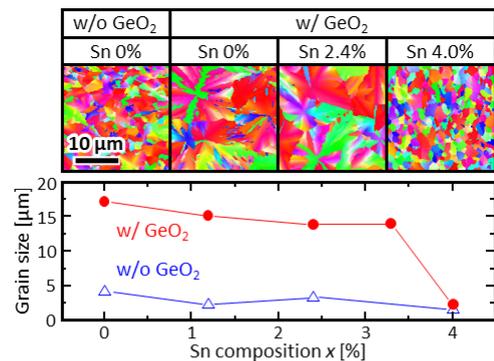
[1] K. Toko *et al.*, *Sci. Rep.* **7**, 16981 (2017).[2] K. Moto *et al.*, *Sci. Rep.* **8**, 14832 (2018).[3] T. Imajo *et al.*, *Appl. Phys. Express.* **12**, 015508 (2019).

Fig. 1 (a) EBSD images of the crystallized samples. (b) Composition dependence of resulting grain size with and without GeO₂ underlayer.

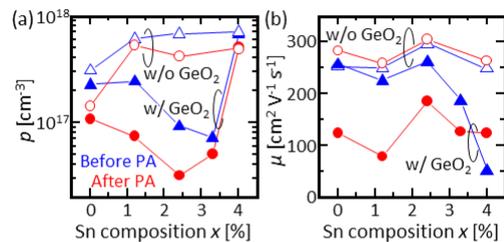


Fig. 2 Composition dependence of (a) p and (b) μ of the samples with and without GeO₂ underlayer.

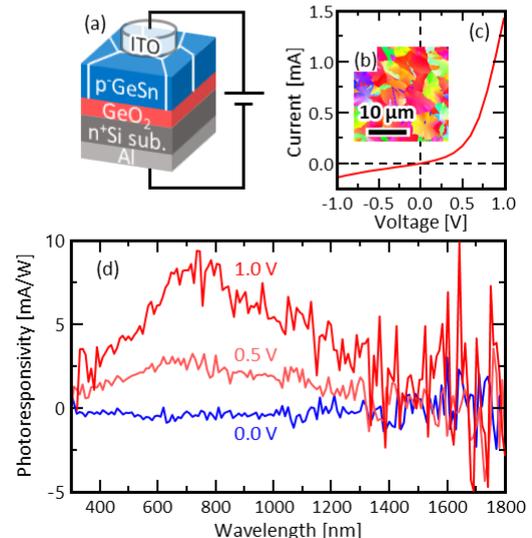


Fig. 3 (a) Schematic of the sample for the photoresponsivity measurement. (b) EBSD image of the GeSn layer on GeO₂ coated Si substrate. (c) I-V characteristic and (d) photoresponsivity of the sample.