

Al 誘起層交換によるフレキシブル $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 熱電薄膜

Flexible $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ thermoelectric thin films formed by Al-induced layer exchange

○草野 欽太¹, 山本 淳², 末益 崇¹, 都甲 薫^{1,3}

(1. 筑波大院 数理工学, 2. 産総研, 3. JST さきがけ)

°Kinta Kusano¹, Atsushi Yamamoto², Takashi Suemasu¹, and Kaoru Toko^{1,3}

(1. Univ. of Tsukuba, 2. AIST, 3. JST PRESTO)

E-mail: s1720357@s.tsukuba.ac.jp

【はじめに】 SiGe 混晶は、宇宙用の熱電変換素子として高い実績を持つ。もし絶縁体 (SiO_2 , ガラス, プラスチック等) 上に SiGe 熱電素子を低温形成できれば、独立電子機器の電源として民生応用が期待される。今回, Al 誘起層交換[1,2]を用い, 高濃度 p 型 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0 \leq x \leq 1$) 薄膜を自己組織的に低温合成すると共に, その熱電特性を評価した。

【実験方法】 石英ガラスおよびプラスチック上に Al 層 (50 nm) を堆積した後, 大気暴露 (30 min) により AlO_x 界面層を形成する。その後, 非晶質 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ (x : 0, 0.15, 0.3, 0.6, 0.8, 1) 層 (50 nm) を堆積し, N_2 雰囲気中で熱処理 (340–450 °C) を施すことで, 層交換を誘起した (Fig. 1 (a))。堆積はスパッタリング法によって行われた。層交換後の試料について, 上部 Al 層を希釈 HF (1.5%) で除去した。

【結果・考察】 全ての組成について低温 (≤ 400 °C) で層交換成長が発現し, (111)面に高配向した大粒径 (50 μm) の SiGe 薄膜が得られた (Fig. 1 (b))。正孔密度 p および電気伝導率 σ の熱処理温度依存性 (Fig. 2 (a), (b)) から, 熱処理温度と Ge 組成の増加に伴い p と σ が増加することが判った。この挙動は, p の値が SiGe 中の Al の固溶限で決定されることに起因している。すなわち本法は, 低温でありながら自己組織的に高濃度のドーピングを可能とするユニークな手法である。また, ゼーベック係数 S は p と Ge 組成の増加に伴い減少した (Fig. 2 (c))。これは SiGe 混晶の基礎物性に従う傾向である。出力因子は Ge で最大となったが (Fig. 2 (d)), SiGe 混晶化に伴う熱伝導率の低減を考慮すると, $\text{Si}_{0.4}\text{Ge}_{0.6}$ が最適組成と判明した。Al 誘起層交換により, プラスチック (ポリイミド) 上に $\text{Si}_{0.4}\text{Ge}_{0.6}$ 薄膜を合成した結果, ガラス上薄膜と同等の出力因子を示した (Fig. 3)。プラスチック上に直接合成した熱電薄膜の中で最高値であり, フレキシブル熱電変換素子の可能性を開拓する成果である。



Fig. 1 (a) Schematic of the sample preparation. (b) EBSD image of a $\text{Si}_{0.4}\text{Ge}_{0.6}$ sample.

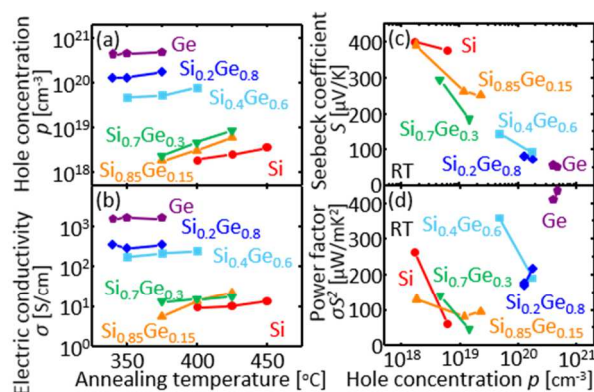


Fig. 2 Thermoelectric properties of the samples.

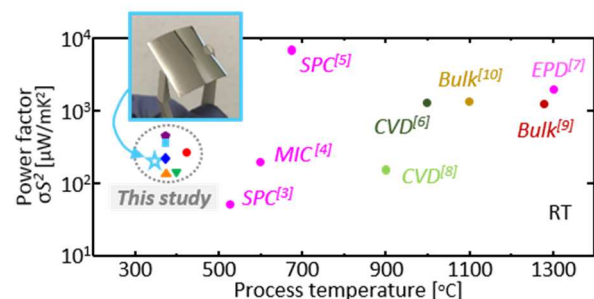


Fig. 3 Power factor of SiGe as a function of process temperature.

- [1] K. Toko, K. Kusano *et al.*, JAP **122**, 155305 (2017).
 [3] H. Takiguchi *et al.*, JJAP **50**, 041301 (2011).
 [5] H. Takiguchi *et al.*, Mater. Trans. **51**, 878 (2010).
 [7] A. Nozariasbmarz *et al.*, Scr. Mater. **69**, 549 (2013).
 [9] D. M. Rowe, CRC Handbook of Thermoelectrics, 1995.

- [2] K. Toko *et al.*, APL **101**, 022106 (2014).
 [4] L. Lindorf *et al.*, JAP **120**, 205304 (2016).
 [6] J. Lu *et al.*, Nanoscale **7**, 7331 (2015).
 [8] M. Takashiri *et al.*, JAP **100**, 054315 (2006).
 [10] G. Joshi *et al.*, Nano Lett. **8**, 4670 (2008).