

Sb ドープ $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ 三元混晶薄膜の熱電物性制御

Control of thermoelectric properties of Sb-doped $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ ternary alloy layers

○中田壮哉¹, 詹天卓², 富田基裕², 渡邊孝信², 中塚理^{1,3}, 黒澤昌志^{1,4}

(1.名大院工, 2.早大理工, 3.名大未来研, 4.名大高等研究院)

○M. Nakata¹, T. Zhan², M. Tomita², T. Watanabe², O. Nakatsuka^{1,3}, and M. Kurosawa^{1,4}

(1. Grad. Sch. of Eng., Nagoya Univ., 2. Waseda Univ., 3. IMASS, Nagoya Univ., 4. IAR, Nagoya Univ.)

E-mail: mnakata@alice.xtal.nagoya-u.ac.jp, kurosawa@nagoya-u.jp

[はじめに] 未利用排熱量の多い室温付近のエネルギーハーベスティングを目指し, Si 集積回路プロセスとの親和性に優れたIV族系熱電変換材料の開発が求められている. 我々は新規熱電変換材料として $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ 三元混晶薄膜に着目している. Sn 添加で $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ より低い熱伝導率が得られる可能性があるためである. III-V 化合物半導体と同様, バンドギャップと格子定数の独立制御, $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y/\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ ヘテロ接合を用いたタイプ I バンド構造等が実現可能であるが[1], 熱電変換特性のみならず, 電子輸送特性についても必ずしも明らかにはなっていない. そこで今回は Sb ドープ $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ 薄膜を絶縁性基板上に形成し, その基礎的な熱電物性の調査を目的とした.

[実験方法] $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ 薄膜のゼーベック係数および電気伝導率を抽出するため, 本研究では高抵抗 (抵抗率 $>10^8 \Omega\text{cm}$) の GaAs(001)基板を用いた. 固体ソース分子線エピタキシー法を用いて, 膜厚 50 nm の Sb ドープ $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ 薄膜 (設計 Si 組成: 10%, 設計 Sn 組成: 2.7%, Sb ドープ量: $3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$) を GaAs(001)上に 250°C で成膜した. Sb ドープ量は Sb の K-cell 温度により制御した. X 線回折測定により, $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ 薄膜が基板にエピタキシャル成長したことを確認している.

[実験結果] 薄膜形成後に窒素雰囲気中で熱処理 (300–500°C, 10 min) を施し, Hall 電子濃度の変化を調査した. 400°C 以上の後熱処理で Hall 電子濃度が低下するが[Fig. 1], 電子移動度はほとんど劣化しないことが判明した. 各試料の室温におけるゼーベック係数 S と電気伝導率 σ の測定結果を Fig. 2 に示す. 図中の実線は, バルク $\text{n-Si}_{0.1}\text{Ge}_{0.9}$ のパワーファクタ ($P=S^2\sigma$) を大まかに見積もった値である (S は Si と Ge の有効質量の線形近似, σ は n-Ge [2] と $\text{n-Si}_{0.1}\text{Ge}_{0.9}$ [3] 電子移動度の線形近似を用いて計算した). 本試料で得られた最大のパワーファクタは $\sim 12 \mu\text{W}/\text{cmK}^2$ であり, バルク $\text{n-Si}_{0.1}\text{Ge}_{0.9}$ に匹敵する. Sb ドープ量依存については当日報告する.

[謝辞] 本研究の一部は, JST-CREST (No. JPMJCR19Q5) および学際・国際的高度人材育成ライフサイエンス・マテリアル創製共同研究プロジェクト (文部科学省) の研究助成により実施されました.

[参考文献] [1] 中塚理, 黒澤昌志, 応用物理 **88**, 597 (2019). [2] S. M. Sze *et al.*, Solid State Electron. **11**, 599 (1968). [3] G. Busch *et al.*, Helv. Phys. Acta **33**, 437 (1960).

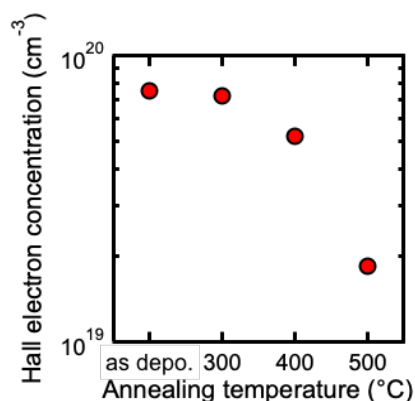


Fig. 1 The post-annealing-temperature dependence of the Hall electron density for Sb-doped $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ layers.

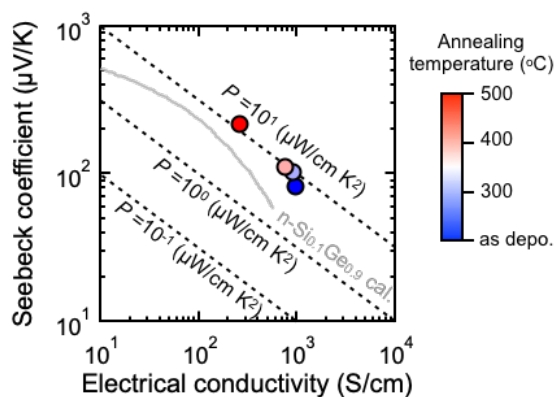


Fig. 2 Seebeck coefficient S and electrical conductivity σ for Sb-doped $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ layers. The power factor of $\text{n-Si}_{0.1}\text{Ge}_{0.9}$ bulk was extracted from Refs. 2 and 3. The color of markers corresponds to the annealing temperature.