

## Si-rich SiGe バルク単結晶におけるラマン散乱の温度依存性

## Temperature Dependence of Raman Scattering in Silicon-Rich SiGe Bulk Single Crystal

○寿川 尚<sup>1</sup>、横川 凌<sup>1,2</sup>、荒井 康智<sup>3</sup>、米永 一郎<sup>4</sup>、小椋 厚志<sup>1,2</sup>

(1. 明治大理工, 2. 明治大 MREL, 3. JAXA, 4. 東北大)

°S. Sugawa<sup>1</sup>, R. Yokogawa<sup>1,2</sup>, Y. Arai<sup>3</sup>, I. Yonenaga<sup>4</sup>, A. Ogura<sup>1,2</sup>

(1. Meiji Univ., 2. Meiji Renewable Energy Laboratory, 3. JAXA, 4. Tohoku Univ.)

E-mail: [ee181112@meiji.ac.jp](mailto:ee181112@meiji.ac.jp)

【背景と目的】 SiGe は Si より低い熱伝導率を有し、熱電発電デバイスへの応用に期待されている。しかし、電気伝導と比べ熱輸送の評価・実証は難しく、微小領域における熱輸送の理解に重要なフォノン散乱機構の解明は進んでいない。これまで、SiGe のラマンシフト $\omega$ と温度 $T$ の関係( $d\omega/dT$ )は、多結晶が用いられ、かつレーザーパワーが高い条件で実験が行われた[1, 2]が、粒界によるフォノン散乱およびレーザー照射による熱影響を排除できず  $d\omega/dT$  値の精度に疑問が残る。我々は、フォノンエネルギーの熱特性評価が可能である温度可変ラマン分光法に着目した。本研究では SiGe のバルク状単結晶について温度可変ラマン測定を実施し、 $d\omega/dT$  値の高精度算出と Ge 組成依存性を詳細に検討した。

【実験】 試料は Czochralski (Cz)法で作製した Ge 組成 16%の Bulk SiGe[3]、および Traveling Liquidus Zone (TLZ)法で作製した Ge 組成 31.6, 45%[4]の Bulk SiGe を用いた。また、これらの試料は X 線回折(XRD)により無歪および単結晶であることを確認した。ラマン分光測定は励起光源に波長 532 nm のレーザー、分光器の焦点距離は 2000 mm、波数分解能は  $0.1 \text{ cm}^{-1}$  で行い、測定温度は室温、50-300°C(50°C刻み)でそれぞれ昇温、冷却中の計 2 回測定を行った。

【結果・考察】 SiGe(Ge: 16%)における Si-Si mode のラマンスペクトルを Fig. 1 に示す。温度上昇に伴い、ラマンスペクトルの半値幅が増加しかつ低波数側へシフトした。このシフトは温度上昇に伴い非調和振動が支配的で、結晶が熱膨張し格子振動が低下したことによると考えられる。絶対温度に対する Si-Si のラマンシフトの変化を Fig. 2 に示す。3 つの Ge 組成で概ね直線の傾き  $d\omega/dT$  は変化していないことを確認した。Bulk Si 単結晶の  $d\omega/dT$  は  $d\omega/dT = -0.024 \text{ cm}^{-1}/\text{K}$ [5]であることが報告されており、本研究結果と同等の値を有することから Si-Si mode は(Si-rich 側では)Ge 組成に依存しないことが考えられる。よって Ge 組成、および Ge 原子のランダムな配列による Si-Si 非調和振動の変化がないことが示唆され、以上本研究から、熱電発電デバイスの高性能化に向けた微小領域における温度測定の確立に貢献できたと考えている。

【謝辞】 本研究の一部は科研費(21K14201)の補助を受けた。

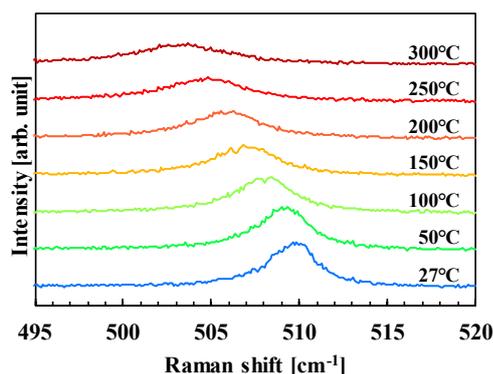


Fig. 1 Temperature-dependent Raman spectra in Si-Si mode of  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  ( $x=0.16$ ).

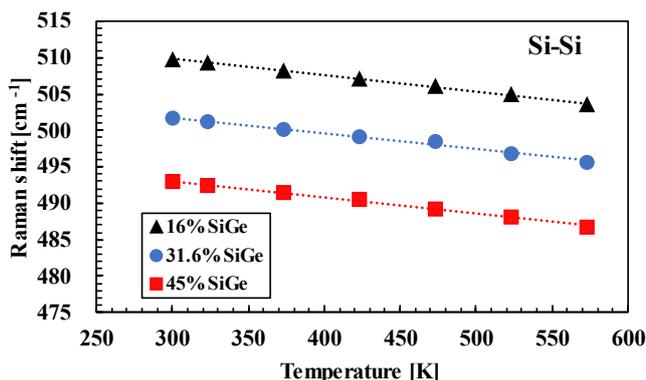


Fig. 2 Raman shifts of Si-Si mode as a function of temperature, in SiGe with various Ge fractions.

## 【参考文献】

- [1] H. H. Burke, *et al.*, Phys. Rev. B **48**, 15016 (1993).
- [2] K. Brunner, in *Properties of Silicon Germanium and SiGe: Carbon* (INSPEC, 2000), p. 115.
- [3] I. Yonenaga, J. Cryst. Growth **275**, 91 (2005).
- [4] K. Kinoshita, *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **54**, 04DH03 (2015).
- [5] D. Fan, *et al.*, Phys. Rev. B **96**, 115307 (2017).