

X線非弾性散乱法による Bulk SiGe フォノンスペクトルの線幅測定 Inelastic X-ray Scattering Measurements of Phonon Spectral Line-width in Bulk SiGe

○横川 凌^{1,2}、竹内 悠希¹、原 豊¹、荒井 康智³、米永 一郎⁴、Sylvia Yuk Yee Chung⁵

富田 基裕⁵、内山 裕士⁶、渡邊 孝信⁵、小椋 厚志^{1,2}

(1.明治大理工、2.MREL、3.JAXA、4. 東北大学、5. 早稲田大理工、6. JASRI)

○R. Yokogawa^{1,2}, H. Takeuchi¹, Y. Hara¹, Y. Arai³, I. Yonenaga⁴, S. Y. Y. Chung⁵,

M. Tomita⁵, H. Uchiyama⁶, T. Watanabe⁵, and A. Ogura^{1,2}

(1. Meiji Univ. 2. MREL 3. JAXA 4. Tohoku Univ. 5. Waseda Univ. 6. JASRI)

E-mail: r_yokogawa@meiji.ac.jp

【背景と目的】SiGeはSi、Geに比べ熱伝導率が顕著に低くなることから、次世代熱電発電デバイスへの応用に期待されるが熱伝導率低下のメカニズムの解明にはSiGe結晶におけるフォノン散乱、分散曲線の理解が極めて重要である。ただ、SiGeでは単純なSi、Geと異なり様々な振動モードが存在し、フォノン散乱機構は複雑である。我々はSiGeのフォノン物性解明を目的に、これまでにフォノンエネルギーを選択的に測定可能なX線非弾性散乱(IXS: Inelastic X-ray scattering)を用いて、フォノン分散曲線および低エネルギー側に光学・音響モードとは異なる特異なモードが存在することを確認した[1]。本研究では、熱伝導の微視的機構を理解する上で重要な要素の一つであるフォノン寿命を詳細に把握するためにフォノンスペクトル線幅の測定を高エネルギー・高運動量分解能下で実施した。

【実験】試料はCzochralski法[2]で作製されたGe組成16%のBulk SiGe、およびTraveling Liquidus Zone法[3]で作製されたGe組成32と45%のBulk SiGeであり、事前にX線回折および電子線後方散乱パターン法で全てのBulk SiGeが(001)単結晶であることを確認した。IXS測定は、SPring-8のBL35XUに設置された装置を用いた。X線のエネルギー21.747 keV、分光器のエネルギー分解能1.5 meV、ビームサイズ約50 μm、室温および50 Kの条件で、Γ点からX点までのブリルアンゾーンを測定した。

【結果・考察】図1はGe組成32%SiGeのIXSスペクトルでの横音響(TA: Transverse Acoustic)モードと縦音響(LA: Longitudinal Acoustic)モードを示している(室温測定、括弧内は運動量を表す)。特徴としてΓ点からX点に移動するにつれ、両音響モードの線幅が広がった。他のGe組成の試料も同様の傾向を示した。ここでTAモードでは、X点に近づくにつれ、これまでのSiGeフォノン分散測定で観測された特異なピーク(Anomalous peak)位置[1]と重なるため、TAモード自体のブロードニングの判別には注意が必要である[1]。一方でLAモードは、低エネ

ルギー側の特異なピーク(Anomalous peak)とエネルギー位置が異なり、LAモード自体のブロードニングだと考えることができる。分子動力学での計算結果においても同様の傾向が示され、この結果はΓ-X点間におけるSiGeの音響フォノン寿命の変化が熱輸送に大きく影響を及ぼすことを示唆するもので、低熱伝導率メカニズムの微視的な解明に重要である。

【謝辞】本研究はJASRI(課題番号: 2016A1496、2017B1630、2019A1678、2019B1750、2020A1463、2020A0662)の承認、およびJST-CREST(JPMJCR19Q5)の補助を受けたものである。また、本研究にあたり、実験・解析に関し多大なるご助言をいただいた(株)キオクシア白田 宏治氏に感謝申し上げます。

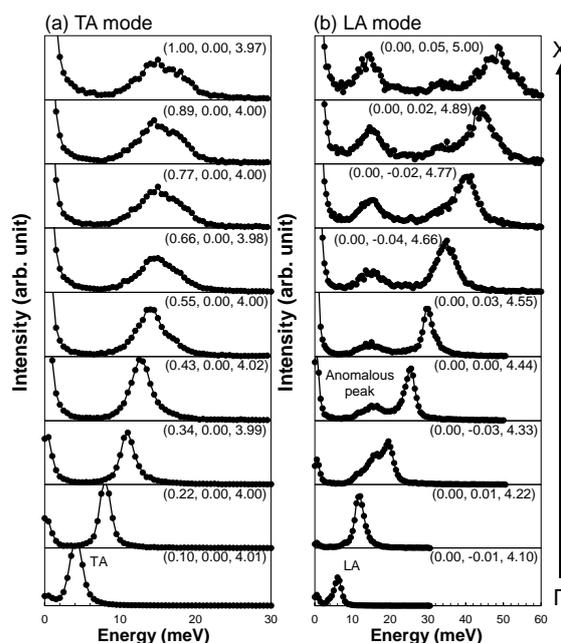


Fig. 1 Momentum dependent IXS spectra of (a) TA and (b) LA modes for bulk SiGe (Ge: 32 %) at room temperature.

[1] R. Yokogawa *et al.*, Appl. Phys. Lett. **116**, 242104 (2020).

[2] I. Yonenaga, J. Cryst. Growth **275**, 91 (2005).

[3] K. Kinoshita *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **54**, 04DH03 (2015).