

X線非弾性散乱法による  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  薄膜のフォノン分散評価Phonon Dispersion Study in  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  Thin Films by Inelastic X-ray Scattering日立製作所 研究開発グループ<sup>1</sup>, JASRI<sup>2</sup> 〇南部英<sup>1</sup>, 内山裕士<sup>2</sup>, 藪内真<sup>1</sup>, 小田克矢<sup>1</sup>, 早川純<sup>1</sup>R & D Group, Hitachi, Ltd.<sup>1</sup>, JASRI<sup>2</sup> A. Nambu<sup>1</sup>, H. Uchiyama<sup>2</sup>, S. Yabuuchi<sup>1</sup>, K. Oda<sup>1</sup>and J. Hayakawa<sup>1</sup>

E-mail: akira.nambu.tw@hitachi.com

## 緒言

化石燃料が多くを占める一次エネルギーから、産業、民生、運輸部門で最終消費されるまでの過程で約 65% が熱として棄てられている。この未利用熱を電力として再活用可能な熱電変換システムの早期実現に向けて、システムの変換効率を決める熱電変換材料の性能向上が急務である。材料性能の向上には、熱伝導率の低減が解決手段の一つであり、我々は、 $\text{SiGe}$  をナノ複合構造として組み込んだ Si 系熱電変換材料の低熱伝導率化を進めている。本研究では、まず  $\text{SiGe}$  における熱伝導率の起源の理解と制御を目的に、X線非弾性散乱法 (Inelastic X-ray Scattering : IXS) を用いて単結晶  $\text{SiGe}$  薄膜のフォノン分散の Ge 組成依存性を評価した結果を報告する。

## 実験

試料は CVD 法で  $\text{Si}(001)$  基板上に  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  ( $x=0.1, 0.2$ ) をエピタキシャル成長させて厚さ 500 nm の薄膜を作製した。IXS は単色性の高い X 線を試料に照射し、入射 X 線が試料による散乱で失う (得る) エネルギーを高精度で計測する手法であり、SPring-8 のビームライン BL35XU を利用した。また、薄膜からの情報のみを得るために斜入射配置 (X 線入射角  $< 0.1^\circ$ ) として縦音響 (Longitudinal Acoustic; LA) フォノンおよび横音響 (Transverse Acoustic; TA) フォノン分散関係の測定を行った。[1]

## 結果

Fig. 1 に  $\text{Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}$  薄膜 (実線) とリファレンスの  $\text{Si}(001)$  基板 (点線) の LA フォノン分散測定結果を示す。まず、各測定で  $\text{Si}(001)$  基板に比べて  $\text{Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}$  の LA フォノンピークは低エネルギー側にシフトしており、これは Ge 添加による  $\text{SiGe}$  薄膜の弾性率の低下による影響と解釈できる。

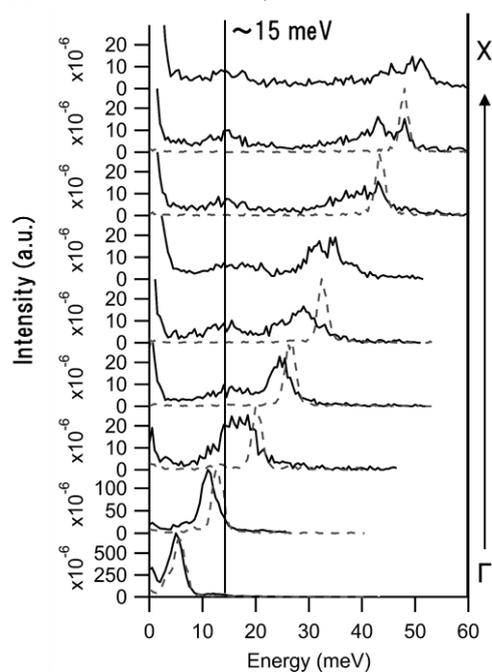


Fig.1 IXS Spectra of  $\text{Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}$  (solid line) and  $\text{Si}(001)$  substrate (dashed line). Those experiments are performed with grazing x-ray incident angle.

次に、 $\Gamma$  点付近の測定では  $\text{Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}$  と  $\text{Si}(001)$  基板の LA フォノンのピーク線幅はほぼ同じであるのに対し、X 点に近づくに従い  $\text{Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}$  の LA フォノンピーク線幅が広がる様子が観測されている。このような線幅の幅広化は  $\text{Si}(001)$  基板の LA フォノンピークでは観測されておらず、Ge 添加による効果と考えられる。さらに、 $\Gamma$  点  $\rightarrow$  X 点での測定全域で 15 meV 付近に分散のないフォノンピークも観測されているが、この分散のないフォノンピークも  $\text{Si}(001)$  基板では観測されておらず、Ge 添加に由来すると考えられる。TA フォノンについても同様の測定を行ない、X 点付近でのフォノンピーク線幅の幅広化は同様に観測された (15 meV 付近の分散のないフォノンピークについては TA フォノンピークのエネルギーと重なる)。

## 結言

$\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  ( $x=0.1, 0.2$ ) の 500 nm の単結晶薄膜の IXS による LA および TA フォノンの分散評価を行い、Ge 添加によるフォノンピーク線幅の幅広化を確認した。発表では X 点付近でのフォノンピーク線幅の広がり起源および 15 meV 付近の分散のないフォノンピークの考察結果についても報告する。

[1] H. Uchiyama et al, Phys. Rev. Lett., 120, 235901 (2018)