



SiGeSn 薄膜中の Si および Sn 原子近傍の局所構造評価

志村 洋介²、山羽 隆¹、池 進一¹、福田 雅大¹、
竹内 和歌奈¹、中塚 理¹、財満 鎮明³

1 名古屋大学大学院工学研究科、2 静岡大学電子工学研究所、3 名古屋大学 IMaSS

1. 背景および研究目的

IV 族元素で直接遷移型半導体を実現可能な $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ 混晶が注目されている。直接遷移化に必要な、平衡固溶限以上の Sn 導入は、非平衡的成長により達成されてきたが、格子置換位置導入後の Sn 原子の安定化についてはほとんど議論されていない。我々は、大きな Sn 原子近傍の局所歪に着目し、原子半径の小さな Si 導入が Sn 安定化に寄与することを見出した。理論計算[1]では Si と Sn は隣接せずに第 2、第 5、および第 8 近接位置 (NN) といった、ダイヤモンド構造におけるジグザグ構造上で安定化することが予想されている。Si/Sn 近傍局所的構造を広域 X 線吸収微細構造 (extended X-ray absorption fine structure: EXAFS) 測定を用いて実験的に観測し、Sn 安定化機構の解明を目指した。

2. 実験内容

分子線エピタキシー装置を用いて、Ge(001)基板上に膜厚 50~90 nm の $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x-y}\text{Sn}_y$ 単結晶薄膜を作製した。各試料の膜厚および Si、Sn 組成を Table 1 に示す。EXAFS 測定は、BL6N1 にて全電子収量法により Si K-edge (1838 eV) 付近で行った。動径分布関数へのフーリエ変換は $k=3\sim 11 \text{ \AA}^{-1}$ で行った。

Table 1. Summary of the sample structure.

Sample	Structure	Thickness (nm)	Sn content (%)	Si content (%)
A	SiGeSn/Ge(001)	88	9.8	5.5
B	SiGeSn/Ge(001)	53	7.2	33.2

3. 結果および考察

Sample-A において得られた動径分布関数に、4 種類のモデル (吸収原子である Si の 1NN または 2NN に、Si または Sn を 1 つ配置したもの) を用いたカーブフィッティングを行った。モデルのうち、Si の 2NN に Sn を配置したモデル (Fig. 1 挿絵) で最もよく測定値を再現でき、Si-Ge-Sn 局所構造の形成を明らかにした (Fig. 1)。本試料の Si および Sn 組成では、原子をランダムに配置した際に Si-Ge-Sn 構造ができる確率は低く、Si-Ge-Sn 構造がエネルギー的に安定であることが明らかとなった。またフィッティング結果から得られた Si と Sn の原子間距離は、Si-Ge-Sn 構造の結合角度の増大を示していた。すなわち Sn 原子近傍の局所歪は、Si 導入に伴う結合角変化によって低減され则认为られる。

原子を乱雑に配置した場合、Si 組成の増大に伴い Si と Sn 原子が隣接する確率が増大するため、高 Si 組成の Sample-B では Si-Sn 結合の形成が予想される。しかし、動径分布関数へのフィッティングは、吸収原子 Si の 1NN に Sn を含まないモデルで最も良く実験結果を再現した。この結果から、Si-Sn 結合はエネルギー的には不安定である可能性が実験的に明らかとなった。

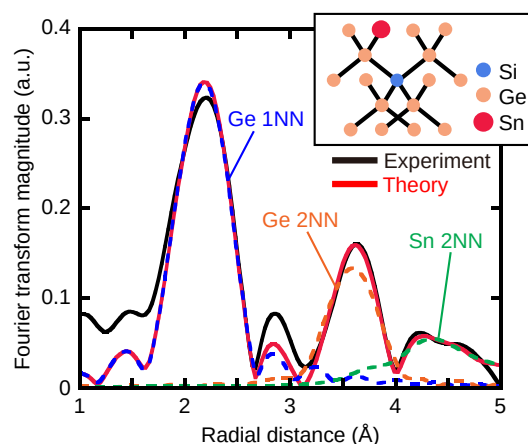


Fig. 1. The curve fitting results on the experimentally obtained radial distribution function for Sample-A. The inset shows the used model containing 1 Sn atom at the 2NN position of the Si absorbent.

4. 参考文献 [1] R. Matsutani et al., Phys. Status Solidi C 11, 1718 (2014).