

## 錫モノカルコゲナイド混晶 Sn(S,Se) の単結晶作製

### Fabrication of Sn(S,Se) single crystals

京大院工, °(M1)石谷 康平, 武村 友輝, (P)勝部 涼司, 野瀬 嘉太郎

Kyoto Univ., °Kohei Ishigai, Tomoki Takemura, Ryoji Katsube, Yoshitaro Nose

E-mail: ishigai.kohei.24e@st.kyoto-u.ac.jp

**はじめに** 硫化錫 SnS とセレン化錫 SnSe は黒リンと同様の puckered 構造を有する二次元層状化合物半導体であり, 圧電素子, 熱電素子, 太陽電池等の様々な応用が期待されている. 半導体デバイス応用を考える上では, これらの混晶 (Sn(S,Se)) 形成による物性制御にも興味をもたれる. しかし一般に, 混晶の融液法による成長は難しく, 電気的特性評価に供する Sn(S,Se) 結晶の作製例はほとんどない. 一方我々は, Sn/SnS 二相試料を蒸発源とした蒸留により, cm 級の SnS バルク単結晶成長に成功した [2,3]. 本研究では, 同プロセスを Sn(S,Se) 混晶へと拡張し, Sn/Sn(S,Se) 二相試料を蒸留操作することで Sn(S,Se) バルク単結晶の作製を試みた.

**実験方法** まず純錫粒, 純硫黄粉末および純セレン粒を Sn : (S+Se) = 60 : 40 となるように石英アンプル中に真空封入 ( $\sim 10^{-3}$  Pa) した. 800°C で等温保持したのち炉冷することで Sn/Sn(S,Se) 二相試料を得た. 次にこれを蒸発源として, 蒸留とブリッジマン法を組み合わせた気相成長を行うことで Sn(S,Se) 単結晶作製を試みた. 作製した試料に対しては, XRD 測定により相同定と構造解析を行い, SEM-EDS により組成を, 分光光度計を用いた透過率測定により各組成におけるバンドギャップを評価した. また, 電気的特性についても van der Pauw 法を用いて評価を行った.

**実験結果・考察** 蒸留操作により, Figure 1 に示す実体写真のような Sn(S,Se) バルク単結晶を得ることができた. Table 1 には蒸発源に用いた二相試料中の Sn(S,Se) と蒸留後に得られた Sn(S,Se) の組成を示している. 蒸留前後の組成の差は 1 mol% 未満であり, 仕込み組成を変えることにより固溶体の組成を容易に制御ができることがわかった. Figure 2 に Figure 1(b) に示すような単結晶の劈開面に対する XRD 測定の結果を示す. いずれの組成をもつ結晶においても強い (101) 配向を示す結果が得られた. また, 硫黄濃度が高くなるにつれて回折線が高角側にシフトしており, 格子定数が連続的に変化していることが示唆される. 講演では結晶作製方法や, 物性評価についても詳細に議論する.

**謝辞** 本研究は科研費 17H03436, 20H02496 により助成を受けた.

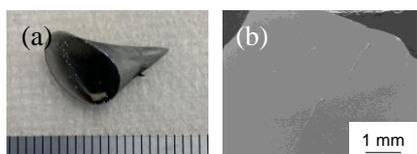


Figure 1. (a) Photograph of grown single crystal and (b) SEM image of its cleaved surface.

	Composition / mol%		
	S	Se	Sn
Sn(S,Se) in source	36.2±0.3	11.8±0.3	52.0±0.4
Grown Sn(S,Se)	35.8±0.6	12.7±0.5	51.5±0.7

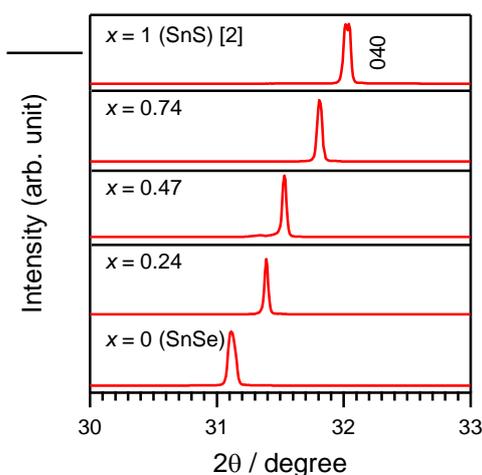


Figure 2. XRD profiles of single crystals of Sn(S<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub>): x = 0, 0.24, 0.47, 0.74, 1.

[1] L.-D. Zhao et al., Nature **508**, 373 (2014). [2] 武村ら, 第 79 回応用物理学会秋季講演会 19a-136-9 (2018). [3] 野瀬, 武村, 勝部, 特願 2018-130688 (2018)