

Bi ドープによる n -SnSe 薄膜の作製

Deposition of n -SnSe thin films doped with Bi

京大院工, °(M2)石谷 康平, 勝部 涼司, 野瀬 嘉太郎

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

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

はじめに セレン化錫 SnSe は硫化錫 SnS や黒リンと同様の 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, 熱電素子など様々な応用が期待されている. ノンドープでは Sn の空孔などに由来し p 型伝導を示すことが知られているが, デバイス応用を考える上では, n 型伝導を示す SnSe にも興味を持たれる. バルク結晶においては, Sb, Bi などの 15 族元素やハロゲンを用いたドーピングにより, 室温でキャリア濃度 10^{14} – 10^{17} cm^{-3} が報告されている一方で, n 型伝導を示す薄膜に関する報告はほとんどない.

一方我々は, Sn 液相と SnS の固液共存体を蒸発源として用いることで, 異相を含まない SnS 薄膜の作製に成功した[1,2]. この方法は SnSe にも応用可能であることを確認している. さらに従来の成膜手法と異なり, ドーパントを予め液相中の成分として導入しておくこともできる. そこで本研究ではドナー元素として Bi を選択し, Sn-Bi 液相と SnSe との共存体を蒸発源として用いることで n -SnSe の作製を試みた. 本手法では製膜環境の Bi の化学ポテンシャルを高く保つことができ, Cl ドープ SnS に関する先行研究[3] と同様に高いドナー濃度を有する薄膜の作製が期待できる.

実験方法 まず, 蒸発源の作製を行った. 純錫, 純ビスマス, 純セレンをモル比で 50 : 25 : 25 となるように石英アンプル中に真空封入 ($\sim 10^{-2}$ Pa) した. 800 °C で等温保持したのち炉冷することで Sn, Bi, SnSe が共存する試料を得た. 次にこれを蒸発源として, 抵抗加熱 (~ 500 °C) を用いた真空蒸着により SLG 基板上に成膜を行った. 基板温度は室温から 350 °C の間で変化させた.

実験結果・考察 Figure 1(a)に示す成膜後の XRD 測定結果から, 本研究の手法により SnSe 単相薄膜が得られたことが確認できる. 特に, 400 回折に加えて, 111 回折の強度が大きい. 一方, Figure 1(b)に示す断面 SEM 像では, 板状結晶が基板に垂直に並んでいる組織が観察された. SnS と同様に板状結晶の平面が puckered 構造の (100) 面に対応する場合, この面と (111) 面とのなす角は約 75° であるため, XRD の結果は断面組織から矛盾なく説明できる. 電気的特性評価の結果を Table 1 に示す. 同様の手法で作製した Bi を含まない SnSe 膜の場合は, これまでの報告と同様 p 型伝導を示したのに対し, Bi をドナー元素として用いた SnSe 膜は n 型伝導を示し, キャリア濃度は 10^{15} cm^{-3} 程度であった. この値はバルク結晶に対する Bi ドーピング[4]の結果と同程度である. 講演では SnS 単結晶上へのエピタキシャル膜の成長や pn 接合についても議論を行う.

謝辞 本研究は科研費 20H02495, 20H00302, 東工大フロンティア研共同利用により助成を受けた.

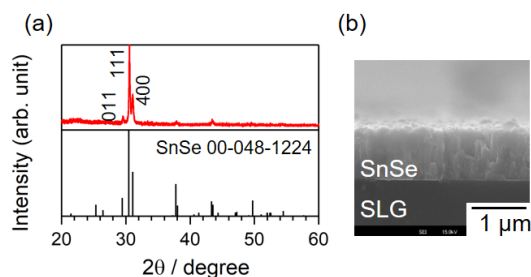


Figure 1. (a) XRD profiles and (b) cross-sectional FE-SEM image of Bi-doped SnSe thin film.

Table 1. Electrical properties of SnSe films

Sample	Conductivity type	Carrier concentration / cm^{-3}
SnSe(Bi)	n	2.8×10^{15}
SnSe	p	1.8×10^{17}

[1] 野瀬ら, 特願 2020-530205, PCT/JP2019/027172. [2] 武村ら, 第 79 回応用物理学会秋季講演会 19a-136-10 (2018). [3] Y. Iguchi et al., *Inorg. Chem.* 57, 6769 (2018). [4] A.T. Duong et al., *Nat. Commun.* 7, 13713 (2016).