

非晶質酸硫化亜鉛 ($\text{ZnO}_{1-x}\text{S}_x$) 薄膜における電気伝導機構の解析

Electron transport mechanisms in amorphous zinc oxysulfide ($\text{ZnO}_{1-x}\text{S}_x$) thin films

東大院理¹, [○]土井 雅人¹, 陳 臻¹, 廣瀬 靖¹, 長谷川 哲也¹

Univ. of Tokyo¹, [○]Masato Tsuchii¹, Chen Zhen¹, Yasushi Hirose¹, Tetsuya Hasegawa¹

E-mail: tsuchii@chem.s.u-tokyo.ac.jp

【背景】 a-IGZO に代表される非晶質酸化物半導体(AOS)は、低プロセス温度で高い電子移動度($>10 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$)を示すことから電子デバイスに応用されている。しかし、AOS の多くは希少元素である In を構成元素として含むため、汎用元素のみからなる代替材料の探索が進められている。我々は最近、非晶質酸硫化亜鉛(a-ZnOS)が a-IGZO と同程度の移動度を示す n 型半導体であることを報告した[1]。酸硫化物や酸窒化物などの複合アニオン化合物では、価電子帯下端(CBM)が単一カチオンの s 軌道で主に構成されるために CBM の空間的な揺らぎが小さく、AOS と比べて移動度が高くなる可能性が指摘されている[2]。本研究では、この仮説を検証するため、a-ZnOS 薄膜の輸送特性の温度依存性をパーコレーション伝導モデル[3]により解析した。

【実験手法】 パルスレーザー堆積法を用いて ZnO 焼結体と ZnS 焼結体を交互にアブレーションすることで非加熱ガラス基板上に a-ZnOS 薄膜を作成した。キャリア濃度(n_e)は成膜条件の調整と真空中でのポストアニールにより制御した。薄膜が非晶質であることは X 線回折測定により確認した。電気伝導度(σ)は 4 端子測定、 n_e は DC ($n_e > 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)および AC ($n_e < 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)ホール効果測定により評価した。

【結果】 図 1 に輸送特性の温度依存性を示す。 n_e が最も小さな薄膜 (sample #1, $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ @ 300K) は、 $1/T$ の増大に伴って n_e と σ がともに減少する熱活性型の挙動を示した。一方、 n_e が 10^{18} cm^{-3} 台の薄膜 (sample #2, #3) では、 n_e は温度にほぼ依存せず、 σ のみが低温で減少した。この振る舞いは、 E_F が移動度端よりも高いが、空間的な揺らぎによるポテンシャル障壁よりも低いと同程度であるとして理解できる。これらの温度依存性から最小二乗法により a-ZnOS のポテンシャル障壁の平均高さ ϕ_0 と標準偏差 σ_ϕ を求めたところ、a-IGZO とほぼ同じであった (図 2)。すなわち、CBM が単一カチオンで構成されると空間的な揺らぎが小さくなるという仮説は a-ZnOS には当てはまらなかった。その理由として、S は電気陰性度が小さいため、Zn 4s 軌道と S 2p 軌道の混成によって CBM が S の局所的な分布の影響を受けることなどが考えられる。

【謝辞】 AC ホール効果測定は東大生産研の小林篤准教授、上野耕平助教にご協力いただいた。本研究は科研費 16H06438, 16H06441, 18H02054 の助成のもと実施した。

【参考文献】 [1] Adv. Electron. Mater. **5**, 1900602 (2019). [2] Sci. Rep. **3**, 1459 (2013). [3] Appl. Phys. Lett. **96**, 122103 (2010).

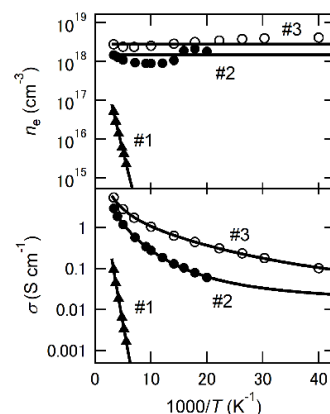


Fig. 1 Temperature dependence of n_e and σ of the a-ZnOS thin films with various n_e . Solid lines denote fitting curves.

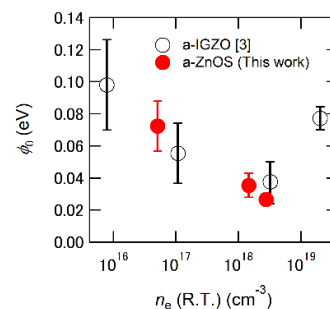


Fig. 2 Potential barrier height of the a-ZnOS and a-IGZO thin films evaluated based on random barrier model. ϕ_0 and σ_ϕ are expressed as markers and error bars, respectively.