

熱電物性から見た $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_n$ 大型単結晶のバルク輸送特性

Transport properties of the single crystals $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_n$ via thermoelectric properties
東理大先進工, °加瀬 直樹, 峯尾 隼綺, 吉田 麻彩, 井上 禎人, 漆間 由都, 河村 優介, 宮川 宣明

Tokyo Univ. of Sci., °Naoki Kase, Hayaki Mineo, Maya Yoshida, Tadahito Inoue, Yuto Uruma,

Yusuke Kawamura, Nobuaki Miyakawa

E-mail: n-kase@rs.tus.ac.jp

$(\text{InGaO}_3)_m(\text{ZnO})_n$ (以下 IGZO-mn を表記) で表される透明酸化物半導体は、高い透明度・電子移動度・極めて低いリーク電流などから電子デバイスへの応用化が期待されており、液晶ディスプレイなどに利用される薄膜トランジスタ(TFT)に採用されている。しかし、これらのバルク物性については大型単結晶育成が困難であることから、理解は進んでおらず未解明の部分が多く残されていた。このような背景のもと、我々の研究グループでは 9 気圧下における Optical Floating Zone (OFZ)法によって初めて $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_n$ ($n = 1, 2, 3, 4$)の大型単結晶の育成に成功している[1,2,3]。本研究では、我々が育成した大型単結晶を用いて、輸送特性を理解する上で重要な有効質量 m^* を明らかにすることを目的として熱電特性の研究を行った。

育成に成功した大型単結晶試料 $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_n$ ($n = 1, 2, 3$)を用いて面内方向の電気伝導度 σ_{ab} 、ゼーベック係数 S 、熱伝導率 κ の3つの物理量を同時に測定し、出力因子 PF 、無次元性能指数 ZT を算出した。

As-grown 試料における電気伝導度は大きな温度依存性を示さず、典型的な縮退半導体的な振る舞いを示した。ゼーベック係数の値は ZnO の枚数にかかわらずキャリア密度(n_e)に依存した。キャリア密度とゼーベック係数の関係を調べると、 ZnO の枚数にかかわらず有効質量 m^* の値が 0.2 の理論曲線によく一致した。過去の報告における有効質量の値は ZnO の枚数に関わらず 0.16 程度であることが報告されており、この値よりもバルク結晶の値は若干大きいことがわかった。また Ga を含まない $\text{In}_2\text{O}_3(\text{ZnO})_3$ についても同様に測定を行なった。 S の値は 10^{20} cm^{-3} 程度のキャリア帯ではほとんど変化しないが、 10^{19} cm^{-3} 程度の領域から m^* の値は 0.1 の理論曲線に一致する結果が得られた。また $\text{InGaO}_3(\text{ZnO})_n$ の熱伝導率 κ は ZnO の枚数にかかわらず、酸素アニールにより n_e を減少させると増大した。これは酸素欠損が埋められたことによる、平均自由行程 l の増大に伴う現象だと考えられる。一方で $\text{In}_2\text{O}_3(\text{ZnO})_3$ は酸素アニールに伴い減少する振る舞いが見られた。

当日は、これらの物質の比熱測定の結果についても併せて報告し、輸送特性について緩和時間 τ や群速度 v の観点からの議論を行う。さらに PF や ZT に関する発表も同時に行う。

[1] Y. Tanaka *et al*, Cryst Eng Comm, **21** 2985-2993 (2019).

[2] N. Kase *et al.*, Cryst Eng Comm, **24** 4481-4495 (2022).

[3] N. Kase *et al.*, APL Mater., **12** 081122 (2024).