

InGaO₃(ZnO)_n の大型単結晶を用いた伝導異方性の検証

Electrical transport anisotropy of the single crystals InGaO₃(ZnO)_n

東理大理, °加瀬 直樹, 井上 禎人, 漆間 由都, 田中 啓太, 河村 優介, 宮川 宣明

Tokyo Univ. of Sci., °Naoki Kase, Tadahito Inoue, Yuto Uruma, Keita Tanaka, Yusuke Kawamura,

Nobuaki Miyakawa

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

(InGaO₃)_m(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、すでに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、これらの基礎物性については、Zn の蒸気圧が高いことなどから大型単結晶育成が困難であるため、バルク物性の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 InGaO₃(ZnO)_n (n = 1, 2, 3)の大型単結晶の育成に成功した[1,2]。単結晶の育成により初めて解決できる問題が異方性に関する物理である。特に電気伝導度の異方性は In, Ga, Zn ブロック層が与える電気伝導への寄与を推測することが可能になるため、IGZO の伝導機構解明に大きな役割を果たすと考えられる。本研究では、我々が育成した大型単結晶を用いて、InGaO₃(ZnO)_n (n = 1, 2, 3)の伝導異方性を明らかにすることを目的として研究を行った。

As-grown 試料における面内 σ_{ab} ・面外 σ_c の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。移動度とキャリア密度の関係は測定試料を増やすと n には依存しておらず、キャリア密度に反比例した振る舞いが見られた。IGZO-11 の伝導異方性 σ_{ab}/σ_c は 30 程度となり、これは我々が報告した値(30~1000 程度)とは最小値を除いて大きく異なる[1]。この原因は、結晶の厚さや 2 端子測定の可能性が考えられ、結晶が比較的厚く結晶間が接着されているような場合は異方性が大きくなる振る舞いが見られた。そのため測定試料には 0.05 mm 以下の明確な一枚の結晶を選んで測定を行った。

IGZO-13 の伝導異方性は 200 程度となり、絶縁層を有する銅酸化物などと比較すると小さいが IGZO-11 よりは明らかに増大した。一方で空間群の異なる IGZO-12 は 10 程度と最も小さな値を示した。これらの値はキャリア密度が 10¹⁹ のオーダーであるため、単純な In-In 間のホッピング伝導だけではない影響が考えられる。IGZO-12 の伝導異方性は面内抵抗が下がるにつれ上昇する振る舞いが見られているため、10¹⁹ よりも低いキャリア帯まで測定すれば In-In 間の距離に依存したホッピング伝導的な振る舞いが見られると考えられる。当日は低キャリア側の電気伝導度の測定およびその異方性の結果についても併せて報告する。

[1] Y. Tanaka *et al*, Cryst Eng Comm, **21** 2985-2993 (2019). [2] N. Kase *et al.*, Cryst Eng Comm, **24** 4481-4495 (2022).