

In₂O₃(ZnO)₃ のバルク単結晶の育成及びその輸送特性

Bulk single crystal growth and its transport properties of In₂O₃(ZnO)₃

東理大理¹, °漆間由都¹, 井上禎人¹, 加瀬直樹¹, 宮川宣明¹

Tokyo Univ. of Sci.¹, °Yuto Uruma¹, Tadahito Inoue¹, Naoki Kase¹, Nobuaki Miyakawa¹

E-mail:uruma.yuto.2020@gmail.com

【背景・目的】(In₂O₃)_m(ZnO)_n (m, n は自然数、以下 IZO-mn と示す)は、長らく ZnO の発展物質として研究されてきた歴史を持つ。その一方で、透明酸化半導体の一種であり優れたキャリア移動度と光学的透明性から注目されている(InGaO₃)_m(ZnO)_n (IGZO-mn と示す)と同じ空間群 ($R\bar{3}m$) のホモロガス積層構造を持つ。IZO-1n と IGZO-1n の過去の報告から、IZO-1n に優位な電気的特性を見出せるが、IZO-1n は物性評価が不十分な物質であり、特に単結晶試料の育成報告は数例に留まる。そこで本研究では育成方法が確立されている IGZO-13 と同様のホモロガス構造が最安定とされる IZO-13 のバルク単結晶の育成方法の確立を目指した。さらに得られた単結晶の電気輸送特性を明らかにすることで IZO の優位な電気特性の起源を追求することを目的とした。

【実験】加圧式 Optical Floating Zone (OFZ) 法による IZO-13 の育成方法を確立した。この方法にて育成された IZO-13 単結晶に対して面内(ab 軸)方向と面外(c 軸)方向の電気抵抗率をそれぞれ測定し、その電気伝導度と異方性を導出した。合わせてホール効果測定を行い、キャリア密度、移動度を導出し電気輸送特性を明らかにした。また透過率測定によるバンドギャップの導出を行った。

【結果・考察】仕込み比 In₂O₃:ZnO=1:3.8 の、In と Zn が反応していない混合物多結晶棒を用いて 9 気圧下の OFZ 法による育成を行うことで不純物の無い IZO-13 単結晶が得られた。ここで得た単結晶を種結晶として用いて繰り返し OFZ 法を行うことで得られる単結晶は次第に良質化、大型化し 5 回繰り返したところで cm スケールの IZO-13 大型バルク単結晶が得られた。育成した単結晶は過去に当研究室で同様の方法で育成された IGZO-13 に比べて透過度が悪く、厚さ 0.1 mm を超えるとほぼ黒色であった。これを砕いて粉末にすると黄色味を帯び、白色になる IGZO-13 よりバンドギャップが小さいと考えられる。得られた IZO-13 単結晶の格子定数は a 軸が 3.3589 Å、c 軸が 42.665 Å であり IGZO-13 より僅かに大きい。

IZO-13 単結晶の電気伝導度は面内で 1000~2500 S/cm、面外で 100~800 S/cm 程度になり明確ではあるが小さい異方性が存在する。電気伝導度の値は IGZO-13 単結晶に比べて面内面外共に 1 桁程度以上大きく、同キャリア密度で比較すると異方性は同程度か僅かに小さい程度であった。この結果より IZO-13 単結晶においては、IGZO-13 では伝導を担うとされている面内の In のみならず、面間に存在する In も伝導に寄与していると考えられる。

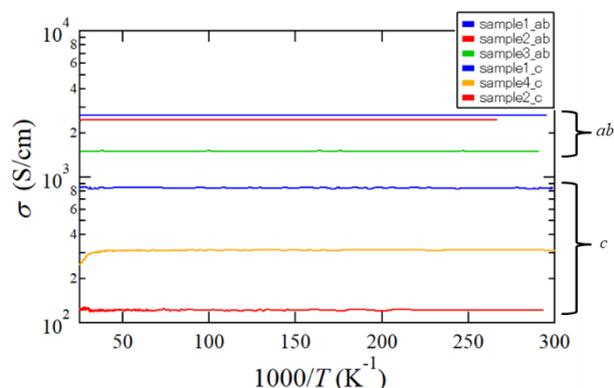


Fig. 1 Typical conductivities for in-plane(σ_{ab}) and out of plane(σ_c) of IZO-13 single crystal