

FZ 法で作製した $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶の輸送特性Low temperature transport property for the $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ single crystals

産総研, °富岡 泰秀, 尾崎 康子, 稲葉 英樹, 伊藤 利充

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST),

°Yasuhide Tomioka, Yasuko Ozaki, Hideki Inaba, and Toshimitsu Ito

E-mail: y-tomioka@aist.go.jp

次世代パワーデバイス材料として期待が持たれている $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ は、約 5 [eV] のバンドギャップを有し、原料中に不純物として含まれている Si 等がドナーとなって[1]、通常、n 型半導体特性を示す。一方、p 型特性に関しては、有力なアクセプターとしての元素も未だ不明な状況にある。我々は、浮遊帯域溶融 (Floating Zone; FZ) 法により、Si をドープした単結晶を育成し、輸送特性を調べたところ、低温では、アクセプターによる補償効果に起因する不純物伝導[2]が現れ、また、ホール移動度の温度依存性から、原料中に不純物として含まれる Fe または Mg が、イオン化したアクセプターとなって、低温における移動度を律速していることが明らかになった。また、室温付近では、光学フォノンによる散乱が支配的であると考えられる[3]。得られた結果は、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ の p 型特性発現に向けての有力な手がかりになると考えられる。

Fig. 1 は、温度の逆数 ($1/T$) に対してプロットした抵抗率 (a) および、ホール係数の絶対値 ($-R_H$) (b) を示す。ドープ量が低い結晶 (#34, #41 and #44) の抵抗率には、 $1/T \sim 0.04$ ($T \sim 25$ K) 付近から折れ曲りが見え始め、同時に、ホール係数の絶対値は極大を示す。キャリアがドープされかつ補償された Si や Ge では、多数キャリアが電子の場合、アクセプターによってドナーの一部が補償され、低温になっても電子を捕獲していない空のドナーが存在して、この空のドナーとすでに電子に占有されたドナーとの間で電子のホッピングによる不純物伝導が生じる[2]。不純物伝導における最近接ホッピングに要するエネルギー (ε_3) は、ドナーの束縛エネルギー (ε_1) に比べ小さいので、輸送現象には、n 型半導体特性 [$\rho \sim \exp(\varepsilon_1/k_B T)$] から、傾きの小さな $\rho \sim \exp(\varepsilon_3/k_B T)$ への変化となって現れる。Fig. 1 のドープ量が低い結晶では、まさにこのような変化が起きており、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ においても、Si や Ge と同様に不純物伝導が生じることを示唆している。同時に、ドナーである Si がドープされている単結晶にもかかわらず、アクセプターによる補償が起きていることも示している。

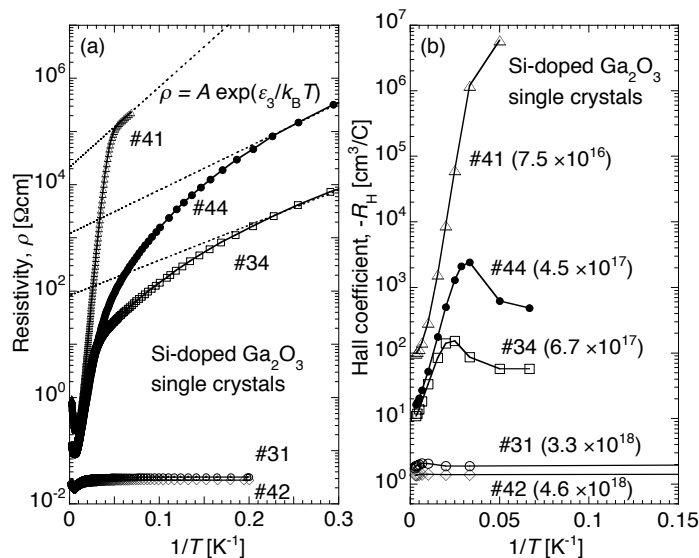


Fig. 1. resistivity (a) and Hall coefficient ($-R_H$) (b) as a function of reciprocal temperature ($1/T$) for Si-doped single crystals. The dotted lines in (a) express $\rho = A \exp(-\varepsilon_3/k_B T)$. The numbers in the brackets in (b) are the densities of conduction electrons at room temperature.

- [1] E. G. Villora et al., Appl. Phys. Lett. **92**, 202120 (2008).
 [2] H. Fritzsche and M. Cuevas, Phys. Rev. **119**, 1238 (1960).
 [3] N. Ma et al., Appl. Phys. Lett. **109**, 212101 (2016).

誘導結合プラズマ質量分析法 (Inductively-Coupled Plasma Mass Spectroscopy; ICP-MS) から、結晶中には、Si の他、Al, Fe, Mg, Zr 等が、不純物として含まれていることが判明し、ホール移動度の解析と照合した結果、Al, Zr は、それぞれ、中性不純物、ドナー、Fe または Mg が、アクセプターになっていると考えられる。

本研究は「革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業 (経済産業省)」により行われました。

本研究は「革新的なエネルギー技術の国際共同研究開発事業 (経済産業省)」により行われました。