

Ni/ β -Ga₂O₃ ショットキー障壁高さの温度依存性の起源: 温度上昇に伴う β -Ga₂O₃ 価電子帯上端の上昇と伝導帯底の低下 Characterization of temperature dependence of Schottky barrier height in Ni/ β -Ga₂O₃ combined with XPS study on valence band structure of β -Ga₂O₃

東大工¹, ノベルクリスタルテクノロジー²

棟方晟啓¹, 佐々木公平², 江間健太郎², 中野義昭¹, 小林正起¹, 前田拓也¹

Univ. of Tokyo¹, Novel Crystal Technology, Inc.²

A. Munakata¹, K. Sasaki², K. Ema², Y. Nakano¹, M. Kobayashi¹ and T. Maeda¹

E-mail: munakata@wbgt.t.u-tokyo.ac.jp

酸化ガリウム(β -Ga₂O₃)は高耐圧かつ低損失なパワーデバイス材料として期待されている。これまで我々は、(001)面 β -Ga₂O₃ ショットキーバリアダイオード(SBD)の障壁高さの温度依存性解析に熱電子放出-拡散(TED)モデルを用いることで、電流-電圧(I - V)特性、容量-電圧(C - V)特性、IPE による光電流測定から広い温度範囲で一貫した温度依存性を得られたことを報告した。また、障壁高さの温度依存性とバンドギャップの温度依存性が一致しない原因を調べるため、XPS で価電子帯上端(VBM)のエネルギーの温度変化を調べ報告した[1]。本発表では、障壁高さの温度係数と VBM の温度依存性の関係について定量的に議論する。

実験には、(001)面 n 型 β -Ga₂O₃ SBD を用いた。高濃度 Ga₂O₃ 基板上にハライド気相成長法(HVPE)により低濃度 Ga₂O₃ 層を 10 μ m ホモエピタキシャル成長した。エピ層の実効ドナー密度は C - V 測定より 5×10^{15} cm⁻³ であった。エピ層表面に Schottky 電極として Ni/Au、基板裏面に Ohmic 電極として Ti/Au を蒸着した。XPS の測定には、電気的特性を測定したサンプルのうち、表面に電極がない部分を切り出して用いた。

図 1 に XPS から得られた VBM 付近のスペクトルの温度変化を示す。横軸は束縛エネルギー、縦軸は強度である。室温における VBM は $E_{FS} - 4.11$ eV であり、VBM は温度の上昇とともに低束縛エネルギー側に僅かにシフトした。この結果は、バンドギャップ(E_g)が温度上昇とともに縮小するという先行研究の結果と合致する[2]。図 2 には、VBM と障壁高さ($e\phi_b$)[1]のそれぞれについて温度依存性を示す。横軸は温度で、図 2 上側の縦軸は VBM - E_{FS} 、図 2 下側の縦軸は 100 K における値からの変化量である。この温度領域においてそれぞれの温度依存性は非線形であるが、簡易的に直線で近似することとすると、 E_g は -1.15 meV/K [2]、VBM は 0.81 meV/K、 $e\phi_b$ は -0.27 meV/K で温度に対して変化している。図中赤線は $E_g + \text{VBM}$ の値(-0.34 meV/K)であり、伝導帯底(CBM)の温度依存性に相当すると考えられる。簡易的な比較ではあるが、CBM の温度依存性(赤線)は $e\phi_b$ の温度依存性と概ね一致している。この結果より、 β -Ga₂O₃ の障壁高さの温度依存性は温度上昇に伴う CBM の低下を反映したものであることがわかる。このときのバンド図の概略を図 3 に示す。Si や GaAs では障壁高さの温度依存性は温度上昇に伴うバンドギャップの縮小と同程度であるが、 β -Ga₂O₃ では CBM だけでなく VBM も温度に対して顕著に変化するため、バンドギャップの温度依存性を直接は反映せず、障壁高さの温度依存性の起源は温度上昇に伴う CBM の低下であると考えられる。これらの結果は酸化ガリウム電子デバイスの温度依存性を考慮する際に有益である上、金属/ワイドギャップ半導体の物性理解において重要な知見である。

【参考文献】 [1] 棟方 他, 春応物 25p-61A-7 (2024). [2] L. Cheng *et al.*, *J. Phys. Chem. Lett.*, **13**, 3053-3058 (2022).

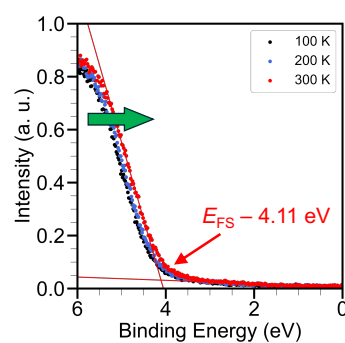


Fig. 1. Temperature dependence of valence band spectra of β -Ga₂O₃ obtained by XPS.

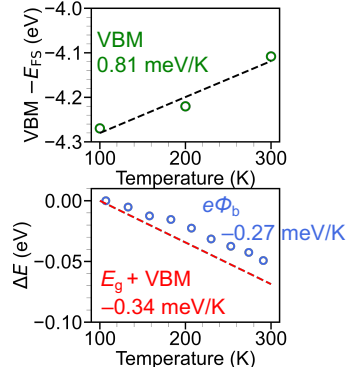


Fig. 2. Temperature dependence of valence band maximum (VBM), barrier height ($e\phi_b$), and (bandgap (E_g) + VBM).

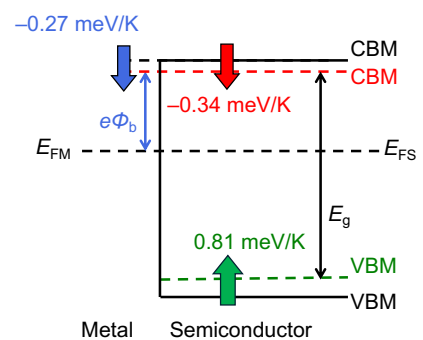


Fig. 3. Schematic of band diagram.