

# $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の表面バンドベンディングに関する研究

## Study on Surface Band Bending of $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

立命館大理工<sup>1</sup>, 株式会社 FLOSFIA<sup>2</sup> ○(M2) 藤木 嘉樹<sup>1</sup>, 城川 潤二郎<sup>1</sup>, 荒木 努<sup>1</sup>, 名西 徳之<sup>1</sup>,

松田 時宜<sup>2</sup>, 四戸 孝<sup>2</sup>

Ritsumeikan Univ.<sup>1</sup>, FLOSFIA Inc.<sup>2</sup>, Yoshiki Fujiki<sup>1</sup>, Junjiro Kikawa<sup>1</sup>, Tsutomu Araki<sup>1</sup>, Yasushi Nanishi<sup>1</sup>, Tokiyoshi Matsuda<sup>2</sup>, Takashi Shinohe<sup>2</sup>

E-mail: re0047pv@ed.ritsumeai.ac.jp

### はじめに

酸化ガリウム (Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) は、約 5 eV と大きなバンドギャップを有しており、高耐圧、低オン抵抗なパワーデバイスへの応用が期待されている。酸化ガリウムの 5 つの結晶多形の中でも  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は、サファイア基板上に低コストで薄膜を形成することが可能であり<sup>[1]</sup>、注目を集めている。既に、高耐圧、低オン抵抗のパワーデバイスの開発が MIST EPITAXY<sup>®</sup>法により進められているが<sup>[2]</sup>、物性研究はこれからである。その一つとして、結晶欠陥のデバイスへの影響を考える。

本研究では、 $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 上への良好なオーミック電極形成を阻害する要因として、表面に存在する負に帯電した結晶欠陥による、表面バンドベンディングを提唱している。前回の発表では、 $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> における表面バンドベンディングの有無について調べるために、表面バンドベンディング量とショットキーバリア高さの比較を行った。結果的に、ドナーである Sn のドーブ量に対する両者の変化が同一の傾向を示しており、電極形成に影響するような表面バンドベンディングの存在が示唆された。

本発表では、表面バンドベンディングを生じる要因となる欠陥について調べるために、表面の欠陥による表面準位由来のフェルミレベルピンニングの有無に対する評価と、面方位の異なる  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜に対する表面ポテンシャル評価を行った結果について報告する。

### 実験と結果

まず、フェルミレベルピンニングの有無の評価には、Fig. 1 に示すようなショットキーバリアダイオード (n 層のキャリア濃度は約  $2.0\sim 4.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ) と Fig. 2 に示すような電極配置のサンプル (c 面サファイア基板上 Sn ドープ  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜で、キャリア濃度は約  $8.8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ) を用いた。Fig. 1 のサンプルは 2 種類あり、それぞれのショットキー電極は Pt/Ti/Au (オーミック電極は Ti/Au)、Fe/Ti/Cu (オーミック電極は Ti/Cu) である。Fig. 2 のサンプルのショットキー電極は Ni である。これらのサンプルに対して C-V 測定を行い、ショットキーバリア高さを評価した。

次に、表面ポテンシャルの面方位依存性の評価には、異なる面方位 (a 面、c 面、r 面、m 面) を有するサファイア基板上にミスト CVD により成長した  $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜を用いた。

Table 1 にそれぞれのショットキー電極に対するショットキーバリア高さとその金属の仕事関数<sup>[3]</sup>を示してある。金属の種類が変わっても仕事関数差ほどはバリア高さが変化していないことがわかる。このことから、フェルミレベルピンニングが生じており、表面準位の存在が示唆される。

Fig. 3 にそれぞれの面方位における原子数の面積密度と表面ポテンシャルの関係を示している。この結果から、原子数の面積密度の増加と共に、表面ポテンシャルがマイナス方向に大きくなっている傾向があることがわかり、これは、表面バンドベンディングとしては減少傾向にあると考えられる。このメカニズムについてはまだはっきりとはわかっていないが、(0001)面は Ga 層で終端されているという報告があり<sup>[4]</sup>、この報告から、c 面以外も Ga で終端されていると仮定すると、面積密度に対応して密度が変わるような Ga 関連の点欠陥 (Ga 空孔など) が関係していると示唆される。

### 参考文献

- [1] D. Shinohara and S. Fujita, Jpn. J. Appl. Phys. **47** 7311 (2008).
- [2] M. Oda *et al.*, Appl. Phys. Express **9**, 021101 (2016).
- [3] H. B. Michaelson, J. Appl. Phys. **48**, 4729 (1977).
- [4] D. Tamba *et al.*, Appl. Phys. Lett. **108**, 251602 (2016).

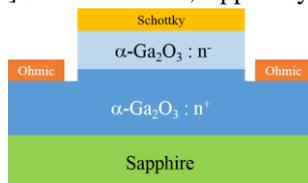


Fig. 1. The structure of Schottky barrier diode sample.

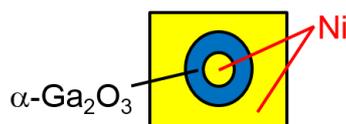


Fig. 2. Top view of sample with Ni electrode.

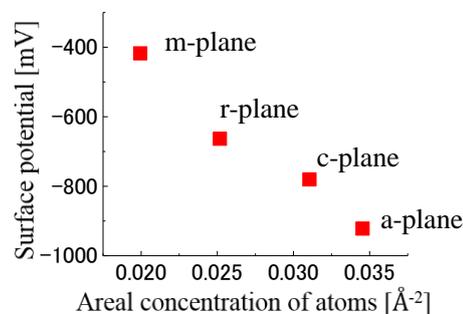


Fig. 3. The relationship between surface potential and areal concentration of atoms.

Table 1. Schottky barrier heights for different metals.

Metal	Metal work function [eV]	Schottky barrier height [eV]
Pt/Ti/Au (Fig. 1.)	5.65 (Pt)	1.58
Fe/Ti/Cu (Fig. 1.)	4.5 (Fe)	1.31
Ni (Fig. 2.)	5.15	1.58