

Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O 原料ガスを用いた高温・高速酸化ガリウム成長の熱力学的検討Thermodynamic study of Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> growth using Ga<sub>2</sub>O and H<sub>2</sub>O source gases上智大理工<sup>1</sup>, 阪大院工<sup>2</sup>, 伊藤忠プラスチック(株)<sup>3</sup>○富樫 理恵<sup>1</sup>, 鈴木 明香里<sup>1</sup>, 石田 遥夏<sup>1</sup>, 宇佐美 茂佳<sup>2</sup>, 今西 正幸<sup>2</sup>, 秦 雅彦<sup>3</sup>, 森 勇介<sup>2</sup>Sophia Univ.<sup>1</sup>, Osaka Univ.<sup>2</sup>, Itochu Plastics Inc.<sup>3</sup>○R. Togashi<sup>1</sup>, A. Suzuki<sup>1</sup>, H. Ishida<sup>1</sup>, S. Usami<sup>2</sup>, M. Imanishi<sup>2</sup>, M. Hata<sup>3</sup>, Y. Mori<sup>2</sup>

E-mail: r-togashi@sophia.ac.jp

$\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は約 4.5 eV のワイドバンドギャップエネルギーを有することに加え、EFG 法により導電性を有する単結晶バルク基板が実現されていることから、高耐圧・低損失パワーデバイス材料として注目されている。これまで、ハライド気相成長(HVPE)法による単結晶  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (001)基板上高品質  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 厚膜の高速ホモエピタキシャル成長が報告されている<sup>[1,2]</sup>。一方、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>に関する研究の更なる進展には、原料分子種に塩化物を用いない、より簡便な新規成長手法の開拓が重要である。そこで新たに、原料部で高純度金属 Ga と H<sub>2</sub>O ガスの反応で Ga<sub>2</sub>O ガスを選択的に生成し、成長部で生成した Ga<sub>2</sub>O ガスと追加供給する H<sub>2</sub>O ガスとの反応により Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 成長する新規成長系を提案する。今回、成長部における Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 成長について熱力学解析を用い詳細に検討したので報告する。

Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 生成反応群とその平衡定数  $K$  の温度依存性を Fig.1 に示す。これより、Ga<sub>2</sub>O ガスと H<sub>2</sub>O ガスを原料ガス種とする Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 生成の平衡定数は 1000°C 以上の高温下でも正の値を示すことがわかる。さらに、これまで実績のある HVPE 成長系の平衡定数に匹敵する値を有することから、高温・高速成長可能であることが示された。次に、様々なキャリアガス中の水素比率( $F^\circ$ )における Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 生成の駆動力の温度依存性を Fig.2 に示す。これより、生成の駆動力は  $F^\circ$  の値に大きく依存し、 $F^\circ$  を減少させることでより高温で Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 成長することがわかる。特に、 $F^\circ = 1.0 \times 10^{-2}$  以下にすることで、1000°C 以上の高温下での成長が可能であることが明らかとなった。これは水素供給分圧を下げることで、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(s) + 2H<sub>2</sub>(g) = Ga<sub>2</sub>O(g) + 2H<sub>2</sub>O(g)の反応で進行する水素による Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 分解を抑制することに起因する。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 JP19K15457, JP21K18910 の助成を受けて行われた。

参考文献：[1] K. Nomura *et al.*, J. Cryst. Growth **405** (2014) 19. [2] H. Murakami *et al.*, Appl. Phys. Express **8** (2015) 015503.

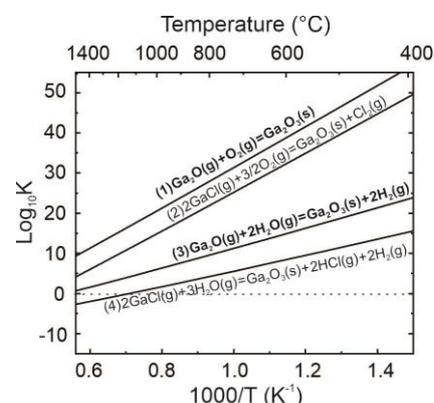


Fig. 1 Temperature dependence of the equilibrium constant ( $K$ ) for Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> formation reactions.

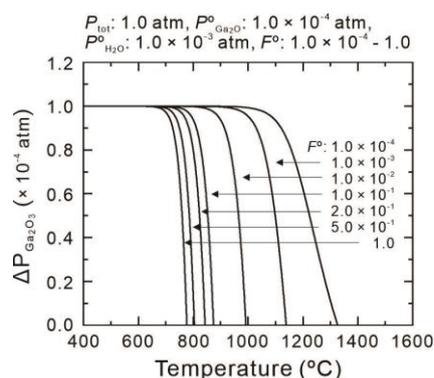


Fig. 2 Driving force for the growth of Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ( $\Delta P_{\text{Ga}_2\text{O}_3}$ ) as a function of growth temperature for several values of  $F^\circ$ .  $\{F^\circ = P_{\text{H}_2}^\circ / (P_{\text{H}_2}^\circ + P_{\text{Inert gas}}^\circ)\}$