

酸化ガリウムの新規ワイドギャップ半導体としての電子デバイス応用へ向けた技術開発課題

酸化ガリウム (Ga_2O_3) は、超高耐压のパワーデバイスを始めとする新しい分野への応用が期待でき大規模な製造の可能性も有する。本稿では、電子デバイス用の結晶供給技術やデバイス動作実証の現状に基づいて Ga_2O_3 の本格的な産業利用のために残されている技術課題を明確化した。

■ 新規ワイドギャップ半導体 Ga_2O_3 と物性

- Ga_2O_3 の低温・常圧における安定相の β 相と準安定相の α 相の成長技術が確立された(表1)。

■ Ga_2O_3 結晶の成長技術と開発課題

- $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ は欠陥密度低減のためのバルク結晶成長技術が進展すると思われる。エピタキシャル成長ではハライド気相蒸着が成長速度、ドーピング制御両面で期待される。 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ は安価なミストCVD法でサファイヤ基板上エピタキシャル成長が実証された。結晶欠陥密度低減が課題。

■ Ga_2O_3 パワーデバイス開発状況と課題

- $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ ウェーハ上のショットキーバリアダイオード(SBD)では、既に1kVを超える耐压の実証が行われている。 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 製SBDは量産開始間近と期待される。
- $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ の金属-酸化物-半導体電界効果トランジスタ(MOSFET)動作の多くは横型構造で実証開始。縦型の動作実証はまだ始まったばかりだが、高耐压応用に適した縦型構造の研究の本格化が予想される。 $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ はサファイヤ基板上薄膜で、縦型MOSFET構造形成が容易でなく、現在まで横型MOSFETの試作が実施。 Ga_2O_3 はn型伝導しか示さずミストCVD法で成長が可能な他のp型伝導ワイドギャップ半導体探索が進められている。

表1 デバイス開発に用いられている主な $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$, $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 結晶成長技術

結晶の種類	$\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$		$\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$		
	バルク/エピ	バルク結晶成長	エピタキシャル成長	バルク結晶成長	エピタキシャル成長
主な成長法		EFG法 (他にCZ, FZ等)	HVPE法 (他にMOCVD, MBE等)	—	ミストCVD法
特徴		<ul style="list-style-type: none"> • 融点$\sim 1800^\circ\text{C}$ • 15mm/hr (EFG) • 転位密度 $10^3\sim 10^4\text{ cm}^{-2}$ • 2インチウェーハ市販 	<ul style="list-style-type: none"> • (001)ウェーハ上のホモエピ • 1000°C付近で平滑な成長 • $5\mu\text{m/hr}$ (HVPE) • 2インチウェーハ上で実証 • $>1\text{ kV}$耐压 SBD実証 	<ul style="list-style-type: none"> • バルク結晶の成長は困難 	<ul style="list-style-type: none"> • 大気圧で低コスト • $\sim 500^\circ\text{C}$のサファイヤ基板上ヘテロエピ • 4インチ基板で実証 • 成膜技術が事業化 SBD製造
手法概要					

政策立案のための提案

Ga_2O_3 の今後の本格的な産業化と普及を促進するための課題として、(1) $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 結晶, $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 結晶の基礎物性の把握、(2) Ga_2O_3 高品質結晶成長技術、および(3) デバイス形成技術、があげられる。