

貴金属坩堝を使わない(水冷銅坩堝を用いた) 酸化ガリウム単結晶の作製方法

東北大学 金属材料研究所
吉川 彰

1. 序論

$\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ は、SiC や GaN などの従来のワイドバンドギャップ材料に比べ、バンドギャップが広い (4.5~4.9eV) ため、より高性能な省エネルギーパワーデバイスの実現に役立つと期待されている。 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ を用いたパワーエレクトロニクス用ショットキーバリアダイオード¹⁻⁴⁾や電界効果トランジスタ⁵⁻⁸⁾の開発が急速に進んでいる。Si と同様、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ は融液から成長させることができるため、低コストで高品質な特性が期待されている。現在、バルク酸化物単結晶の成長法として最も広く用いられているのは、貴金属坩堝を使用する方法である⁹⁻¹¹⁾。2019年に発表されたテクノエコノミックモデリング結果は、(坩堝材料として使用される) イリジウムのコストが $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ ウェーハの総コストを決定する主要因であることを示している。この分析結果の発表以降、イリジウムの価格は約 5 倍に上昇している。この 5 倍に上昇する前の 2019 年に、Reese ら¹²⁾は、酸化ガリウム基板のコストを大幅に下げるには、イリジウムを代替する坩堝材料の開発などの技術革新が必要であると主張し、その技術革新が酸化ガリウム半導体デバイスの普及を促進するであろうことを示唆している。Reese らの主張を考慮に入れると、イリジウムの価格は約 5 倍に上昇して以降は、経済的な観点からはイリジウムを代替する坩堝材料の開発の技術革新の必要性は高まっていると考えられる。

我々は、貴金属坩堝を使用せず、水冷銅坩堝を用いて融液からの結晶引き上げに基づくバルク $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 結晶の成長を報告している¹³⁾。Oxide Crystal growth from Cold Crucible (OCCC)法と名付けられた我々の結晶作製法は、スカルメルト法と Czochralski (CZ) 法の融合である。高価な貴金属をつぼを使用しないため、半導体産業において重要な要素である費用対効果の高い結晶成長法である。

2. スカルメルト法について

スカルメルト法は融液の形成にスカル溶解を用いた結晶作製法の包括的な名称である。原料の融液を誘導加熱 (非接触加熱) 方式で加熱し、それを化学組成が同一の固体 (容器となる: Cold Crucible (CC), これがスカルと呼ばれる所以) で保持する方法である。坩堝材による融液の汚染がないことや融点や雰囲気制限がないなどの特徴がある。スカルメルト法による結晶作製は以下の4つのステップから構成される。

(a) 熔融開始, (b) 融液の形成, (c) 融液-固体の平衡化 (均質化), (d) 結晶化 (図 1) である¹⁴⁾。酸化物原料は殆どが絶縁体であるため、融液を作るために開始加熱に使用する金属が必要となるが、これは、不純物の混入を避けるため、酸化物原料を構成する金属を用いることが多い。

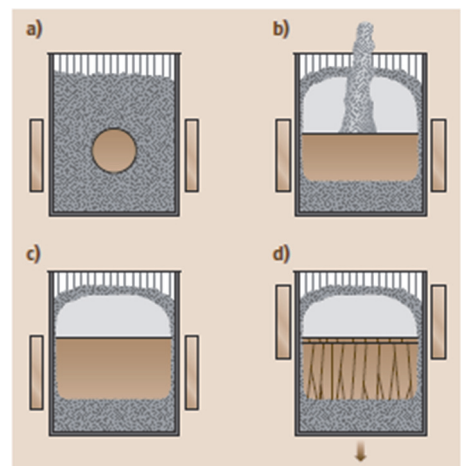


図 1 スカルメルト法による結晶作製における4つのステップ