

次世代パワー半導体の本命となるかGa₂O₃

◆電力の効率利用に注目されている次世代パワー半導体の課題はコスト

カーボンニュートラルの実現に向け、電気自動車（EV）や再生可能エネルギーの普及などで、パワー半導体が注目を集めている。これまでのシリコン（Si）製のパワー半導体の性能を超える材料として次世代パワー半導体（炭化ケイ素（SiC）や窒化ガリウム（GaN）、酸化ガリウム（Ga₂O₃）など）がある（表）。

テスラがSiC製インバーターを採用したことで、高級EV向けインバーターとしてSiCが採用されるようになり、PCやスマホなどの充電器の小型化、高出力化用途にGaNを見かけるようになった。次世代パワー半導体は耐圧や耐熱などの性能が高いものの、ウェハー製造コストが高く、結晶が硬く特殊加工が必要になるなど、さらなる適用領域の拡大にむけての課題は多い。

表 パワーデバイス用半導体の物性比較

	Si	4 H-SiC	GaN	β-Ga ₂ O ₃
バンドギャップ E _g (eV)	1.1	3.3	3.4	4.5~4.9
臨界電界強度 E _c (MV/cm)	0.3	2.8	~3.5	~8 (推定)
電子移動度 μ _e (cm ² /Vs)	1350	1000	~1000	300
電子飽和速度 v (10 ⁷ cm/s)	1.0	2.2	2.7	1.8~2.0
熱伝導度 k (W/cm・K)	1.5	4.9	2.0	0.1~0.3
Baligaのパワーデバイス利得係数*	1	500	~900	~3000

*Baligaのパワーデバイス利得係数とは ε μ_e E_c³のSiとの比（ε:誘電率、μ_e:電子の移動度、E_c:臨界電界強度）
各種資料よりARC作成

◆ノベルクリスタルテクノロジーは6インチβ型酸化ガリウム単結晶を作製

2023年12月25日、ノベルクリスタルテクノロジー、信州大学、産業技術総合研究所は、垂直ブリッジマン（VB）法による6インチβ型酸化ガリウム（β-Ga₂O₃）単結晶の作製に世界で初めて成功したと発表した。これまでは、EFG（Edge-defined Film-fed Growth）法による単結晶製造技術で100mm基板の製造、販売を行ってきた。EFG法は引き上げ法の一つであり、結晶の成長速度が速い。しかし、低酸素分圧雰囲気下で結晶成長を行うことから、高温中ではGa₂O₃融液の分解反応が起こり、安定な結晶成長

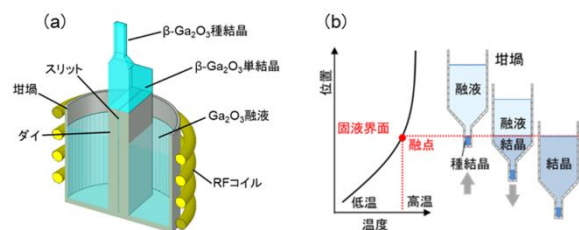


図.1 (a) EFG法の概要 (b) VB法の概要

出典: <https://www.novelcrystal.co.jp/2023/4539/>

が難しく、結晶の大型化、高品質化の阻害要因となっていた。さらなる基板の大口径化、高品質化を達成するため、信州大学の研究成果であるVB法による6インチ基板の開発に取り組んできた（図.1）。VB法は、Siと同じ「融液成長法」で、原料をるつぼに格納し、原料を溶融させた後にるつぼを引き下げて凝固させる方法である。るつぼと同じ形の円筒形の結晶を得ることが可能で、基板加工時の不要な部分がきわめて少なく、低コスト化が可能になる。また、結晶の異方性に起因する成長面の制約を受けにくい、高品質なウェハーが製造できる。

β -Ga₂O₃は電子移動度が低いなどの課題があり、酸化ニッケル（NiO）や酸化銅（Cu₂O）などとのヘテロ接合デバイスの研究開発が進められている。

◆FLOSFIAと三洋化成がフェイルオペレーション技術でパワーユニットの開発

23年12月7日、FLOSFIAと三洋化成は、共同開発により、超小型、薄型のパワーモジュールにも基板埋め込みできるマイクロ温度ヒューズの開発に成功したことを発表した。半導体は過電流などによる発熱が故障原因の一つで、高い信頼性を確保するために過熱保護は重要な機能である。今回開発したのは、高信頼性が求められる自動車などの用途で、特定の回路に故障が発生しても全体の機能を維持できるように、ヒューズが働いてバックアップに切り替えるフェイルオペレーション機能用である。本ヒューズは300度以上の高温で作動し、基板に部品をはんだ付けするリフロー実装の温度にも対応可能である。

FLOSOFIAは「コランダム構造酸化ガリウム（ α -Ga₂O₃）」の研究および同材料を応用したパワーデバイスを製造・販売する京都大学発のベンチャーである。

FLOSOFIAは、独自の成膜技術「ミストドライ法」を活用した成膜を行う。 β -Ga₂O₃とは異なる結晶構造を持ち、既に実績のあるサファイア基板上に成膜して製造できる。サファイア基板は、SiCウェハーの10分の1以下の価格で入手可能である。 α -Ga₂O₃の基板を長時間かけて製造する必要がなく、チップ開発のリスクやコストを低く抑え量産化が可能である。

また、23年1月には、SiCダイオードでも用いられているJBS構造で、酸化イリジウムガリウム（ α -(IrGa)₂O₃）薄膜をP型半導体層として埋め込み成長させることで、ジャンクションバリア効果によるリーク電流抑制の実証に成功している。

酸化ガリウムが次世代パワー半導体の本命となれるか注目する。 【成田誠】