



応用物理学会秋季学術講演会 注目講演プレスリリース

2022年 9月 14日

酸化ガリウム 100 mm エピウエハの結晶品質改善
Crystallinity improvement of 100-mm-diameter β -Ga₂O₃ epitaxial wafer

β 型 酸化ガリウム 100 mm エピウエハー の更なる高品質化に成功 電気自動車等のパワー半導体の省エネ化に大きな貢献が期待

ノベルクリスタルテクノロジー

林家弘, 江間 研太郎, 榎谷 聡士, ティユクアントウ, 阪口 良一, 佐々木 公平, 倉又 朗人

【発表概要】

- ・ 2022年3月14日、株式会社ノベルクリスタルテクノロジーは、次世代のパワー半導体として期待される酸化ガリウムの100 mmエピウエハーにおいて、100 A級のパワー半導体が求められる市場に 酸化ガリウムパワー半導体を広く展開することが可能となる高品質化（キラ欠陥の低減）に成功したと発表した。（図1）。
- ・ 酸化ガリウムパワー半導体は従来のシリコン半導体や、近年産業化が進む炭化ケイ素半導体、窒化ガリウム半導体に比べて高圧・大電流に対応でき、電気自動車等に必要な大型のパワー半導体への活用が期待される。
- ・ 日本発の技術である酸化ガリウム半導体は低コストで量産が可能であり、また従来の半導体より省エネルギー化につながることから、今後数年でパワー半導体の世界市場への参入が期待されている。

NEDOの「戦略的省エネルギー技術革新プログラム」において「ベータ型酸化ガリウム製ショットキーバリアダイオードの製品化開発」に取り組んできた株式会社ノベルクリスタルテクノロジーは、この度、佐賀大学と共同で第3世代酸化ガリウム100 mmエピウエハー（※1）を開発した。本開発では、エピウエハー製造技術を改良し、酸化ガリウムパワー半導体の大電流化を阻害していた耐圧特性を劣化させる欠陥（キラ欠陥※2）を従来の10分の1に低減させることに成功した。本開発の成果により、電車や産業機器、電気自動車などの100 A級のパワー半導体が求められる市場に、酸化ガリウムパワー半導体を広く展開することが可能となる。酸化ガリウム半導体は従来の半導体より電力損失が少ないため、将来の世界全体の省エネルギー化およびカーボンニュートラルの実現への貢献が期待される。

【詳細】

「キラ欠陥」の低減で100 A級の大型デバイスに対応可能に

酸化ガリウム (β -Ga₂O₃) は、電力損失の小さいパワー半導体を低コストで実現できる新材料として注目を集めている。パワー半導体は家電や自動車、電車、産業用機器などあらゆる電気機器に使用され、電圧や電流を制御するために使われている。従来のパワー半導体はシリコンを用いて作られてきたが、電力制御の際の電力損失が課題だった。その損失を低減するために、炭化ケイ素 (SiC) や窒化ガリウム (GaN) を材料としたパワー半導体が開発されているが、酸化ガリウムを使うことで、さらに電力損失を小さくし、電気機器の消費電力を削減することができる。

ノベルクリスタルテクノロジーでは、すでに酸化ガリウム半導体のエピウエハーを100 mmサイズまで製造可能なエピ成膜装置の開発に成功しており、製造・販売を行ってきた。だがその装置で製造したエピウエハーには、デバイスの耐圧特性を劣化させる欠陥（キラ欠陥と呼ばれる）が10個/cm²程度存在していたため、大型のデバイスを作ることができず、流せる電流値は10 A程度に制限されていた。

その課題を解決するため、同社では、佐賀大学と共同で研究を行い、キラ欠陥の発生原因がエピ成膜中に発生する特定の粉体であることを突き止めた。その結果、エピ成膜の条件を改良することにより、キラ欠陥を従来の10分の1以下の0.7個/cm²まで低減した、第3世代100 mm酸化ガリウムエピウエハーを実現することができた。

図2の表にシリコン (Si)、炭化ケイ素 (4H-SiC)、窒化ガリウム (GaN)、ダイヤモンド (Diamond) と、酸化ガリウム (β -Ga₂O₃) の半導体としての電気的物性値を示した。パワー半導体としての性能を示す指数であるバリガ性能指数において、酸化ガリウムは「理想の半導体」と呼ばれるダイヤモンド半導体に次ぐ3,444という値を示している。バリガ指数が大きいことは、パワー半導体の高性能化に直結する「高耐圧化」と「低損失性」の実現が可能なることを意味する。

低コスト・高速製造・省エネ化を実現

また酸化ガリウム半導体の大きなメリットは、炭化ケイ素や窒化ガリウムより、格段に高速な製造手法で半導体結晶を作ることができるため、大量生産による大きな低コスト化が期待できることだ (図3)。炭化ケイ素および窒化ガリウム製の半導体結晶は原料を蒸気化することで結晶を作成する「気相成長法」によって製造されるが、成長速度が数百 μ m/hと遅いのがコスト面で大きな問題となっていた。それに対して酸化ガリウム半導体結晶は液体の原料から結晶を作る「融液成長法」で作製できるため、結晶の成長速度が数十mm/hと圧倒的なスピードで半導体結晶の製造が可能となる。また炭化ケイ素・窒化ガリウムは硬い材料のため加工の難易度が高いが、酸化ガリウムは軟らかい材料のため、加工が容易であることも大きなメリットである。

ノベルクリスタルテクノロジーは、この度、新しく開発した第3世代の100 mm酸化ガリウムエピウエハーの製品化に向けて製造ラインを構築して早期に販売を開始する予定だ。現在国内外の、酸化ガリウムエピウエハーの製造においては、ノベルクリスタルテクノロジーがトップを走っている。今後、電気自動車の普及によりさらなる拡大が続くと予想されるパワー半導体市場において、日本企業として大きなシェア拡大が期待される。

ノベルクリスタルテクノロジー営業部の増井建和氏は、酸化ガリウム半導体が将来的にもたらず省エネ効果について、「私たちの計算では、充電器、エアコン、電気自動車、データセンター、風力発電、スマートグリッド、鉄道車両などに酸化ガリウム半導体が使用されるようになれば、2050年時点で年間に1000万kw、原子力発電10基分の電力が削減できる見込みです」と語る。

【注釈】

※1 エピウエハー

半導体で作られた単結晶の基板上に結晶膜が形成されたウエハーのこと。結晶膜に半導体としての機能を持たせるため、その結晶膜の品質が重要となる。

※2 キラー欠陥

半導体デバイスに重大な特性不良を発生させる欠陥の総称。結晶の不完全性に起因する欠陥や、ウエハー表面の研磨傷、デバイスプロセスの不良などがキラー欠陥になり得る。大型（大電流）の素子を高い歩留まりで製造するためには、キラー欠陥の密度を低減することが重要となる。

【図】

図1. 第3世代 β -Ga₂O₃ 100 mmエピウエハーを用いて試作したショットキーバリアダイオード。最大のチップサイズは10 mm×10 mm

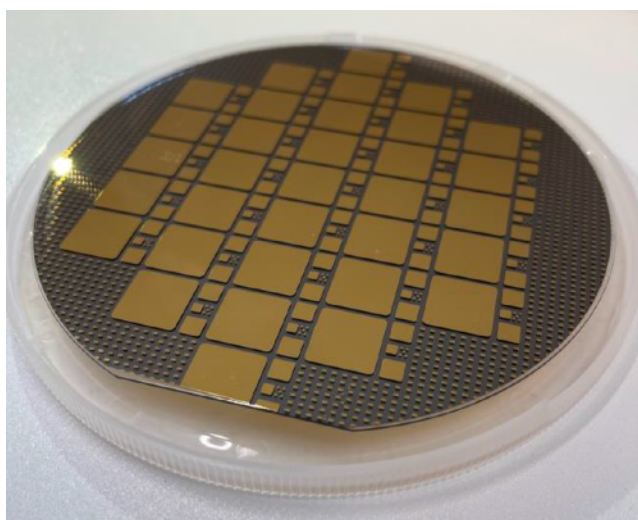


図2. 各種原料半導体の電氣的物性値比較

	Si	4H-SiC	GaN	Diamond	$\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$
バンドギャップ: E_g (eV)	1.1	3.3	3.4	5.5	4.5-4.9
絶縁破壊電界強度: E_c (MV/cm)	0.3	2.5	3.3	10	8(推定)
電子移動度: μ (cm ² /Vs)	1,400	1,000	1,200	2,000	300(推定)
比誘電率: ϵ_s	11.8	9.7	9.0	5.5	10
バリガ性能指数: $\epsilon\mu E_c^3$	1	340	870	24,664	3,444

パワーデバイスの性能を示す指数
(誘電率、電子移動度、絶縁破壊電界強度で決まる値)

図3.半導体結晶の製造における気相成長法と融液成長法の模式図

