

酸化ガリウムの P 層課題に決着へ！

世界初、ウルトラワイドバンドギャップ P 型半導体「酸化イリジウムガリウム」と組み合わせた構造によりジャンクションバリア効果実証に成功！

～新しい未来を可能にする究極の半導体エコロジー®実現に大きく前進！～

【本研究開発のポイント】

株式会社 FLOSFIA（本社：京都市西京区、代表取締役社長：人羅俊実、以下 FLOSFIA）は、半導体により引き起こされる 3 つの環境負荷（エネルギー、プロセス、マテリアル）の低減を「半導体エコロジー®」※1 と名付け、最終目標としています。そして、その具体的な取り組みとして京都大学発の新しいパワー半導体※2「酸化ガリウム (Ga_2O_3)」※3 の普及を目指しています。この半導体エコロジー®を実現するためには、酸化ガリウムの物性値を最大限引き出すことが効果的で、FLOSFIA では、酸化ガリウムと組み合わせる使う良質な P 型半導体の実現が不可欠であると考えてきました。

図 1 酸化ガリウムのみで作製したデバイスと P 型半導体を組み合わせたデバイスとの比較

	酸化ガリウムのみで作製した場合の酸化ガリウムデバイス	P 型半導体と組み合わせた場合の酸化ガリウムデバイス
材料からみた意味合い	材料物性を最大限引き出すことができない	材料物性を最大限引き出すことができる
デバイスレベルでの特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・小さなチップで大電流が流せない ・デバイスの低コスト化が困難 	<ul style="list-style-type: none"> ・小さなチップで大電流を流せる ・デバイスの低コスト化が可能

これまでに、FLOSFIA では、京都大学と共同で 2016 年に酸化ガリウムと同じ結晶構造を有する新しい P 型半導体「酸化イリジウム ($\alpha\text{-Ir}_2\text{O}_3$)」の開発に成功して以降、新規 P 型半導体層のデバイス実証を進めてきました。今回、FLOSFIA では、最先端のシリコンカーバイド (SiC) ダイオードでも用いられている JBS 構造※4 を酸化ガリウムデバイスに適用し、酸化イリジウムガリウム [$\alpha\text{-(IrGa)}_2\text{O}_3$] ※5（以下「酸化イリジウムガリウム」という）薄膜を P 型半導体層として埋め込み成長することで、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世界で初めて成功いたしました（図 2、図 3）。

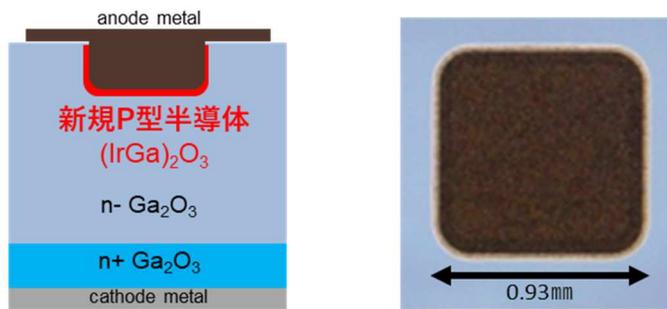
今回用いた酸化イリジウムガリウムはウルトラワイドバンドギャップ半導体※6 で、バンドギャップは約 5eV と極めて大きく、ホール濃度は $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ と高濃度であることを確認しており、高電界を前提とした幅広いデバイス設計に適用可能であることが示唆されます。そして、酸化ガリウムデバイスは、この酸化イリジウムガリウムと組み合わせることにより、SBD や MOSFET、IGBT など様々なパワーデバイスとして特性を最大化でき、小さなチップで大電流を流せることが出来るようになります。さらに、デバイスの低コスト化が期待できるなど、半導体エコロジー®の実現に向けて大きな前進を果たせると考えています。

【本研究成果】

まず、酸化ガリウム n 層の一部にトレンチ構造を作製し、新規 P 型半導体を埋め込んで結晶成長を行いました（図 2）。結晶成長には FLOSFIA 独自のミストドライ®法※7 を用い、チップサイズは約 0.9mm 程度、トレンチ構造のラインアンドスペースの大きさは各 $1 \mu\text{m}$ としました。

その後、作製した JBS 構造チップに逆方向電圧を印加し、酸化イリジウムガリウムの埋込構造によるリーク電流の抑制効果を確認しました（比較対象には、同一ウエハ内に作製した SBD を使用）。また、温度を 25°C から 125°C に上げたとき、さらに抑制効果は大きくなることを確認しました。

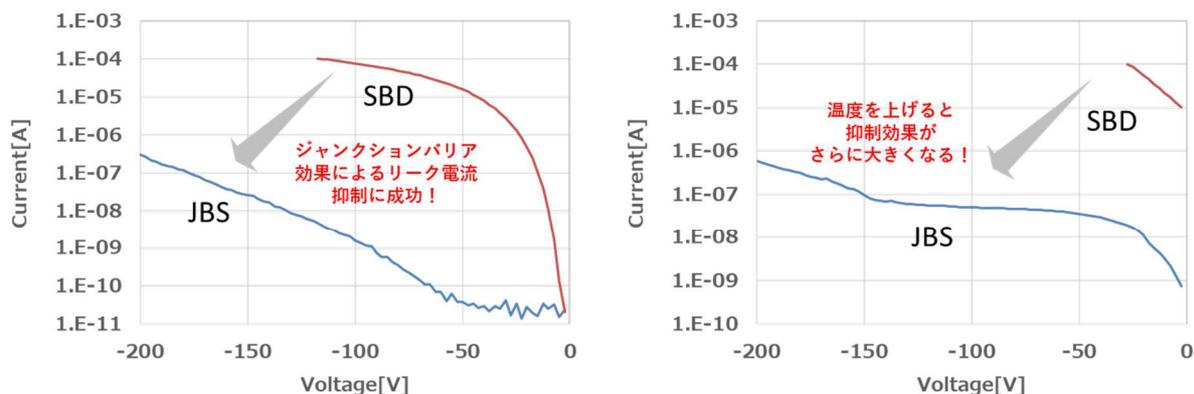
図2 JBS構造に酸化イリジウムガリウムを適用



(a) JBS構造の断面構造

(b) 上面からの顕微鏡写真

図3 逆方向特性



(a) 25°Cでの電気特性

(b) 125°Cでの電気特性

【今後の展開】

今回の研究成果である JBS 構造は FLOSFIA のコランダム型酸化ガリウム (α -Ga₂O₃) パワーデバイス「GaO[®]」シリーズの第 2 世代ダイオードから適用予定です。立ち上がり電圧の低減による順方向電圧降下 Vf の低減が期待できることから、これまでの特徴であった高速動作性に加えて、100kHz 以下の周波数領域で用いるインバーターその他の幅広い電力変換器への適用を目指します。その後 MOSFET や IGBT 等のトランジスタにも新規 P 型半導体「酸化イリジウムガリウム」の適用を目指します。電力変換器の例としては、AC アダプタなどの商用電源、ロボットの駆動回路、電気自動車、エアコンや冷蔵庫などの白物家電、太陽電池のパワーコンディショナなどが挙げられ、GaO[®] パワーデバイスの採用により、「電力変換器全体の小型化や低コスト化の限界」^{※8}の突破を目指します。機器の種類にもよりますが、例えば、電力変換器の小型化の程度は、数十分の一に及ぶことがあり、コスト低減効果は電力変換器全体の 50% に及ぶことが期待されます (FLOSFIA 試算)。

【謝辞】

今回の研究成果は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の「省エレクトロニクスの製造基盤強化に向けた技術開発事業」による支援を受けて実施されました。

【FLOSFIA 概要】



FLOSFIA

- ・会社名：株式会社 FLOSFIA (フロスフィア)
- ・所在地：京都市西京区御陵大原 1 番 29 号
- ・代表者：人羅 俊実
- ・資本金：42 億 850 万円 (資本準備金含む)
- ・ホームページ：<https://www.floSFIA.com>
- ・連絡先：TEL 075-963-5202 FAX 075-320-1712 Mail info@floSFIA.com

※ 「GaO[®]」・「ミストドライ[®]」・「半導体エコロジー[®]」は FLOSFIA の登録商標です。

【用語説明】

※1 「半導体エコロジー®」

半導体の高度化による地球環境への負荷低減を最大化した状態やそれに向けた取り組みを「半導体エコロジー®」と名付けています。エネルギーロスを低減する「**低エネルギーロス**」、製造工程のロスを低減する「**低プロセスロス**」、周辺回路・システム全体で有限な地球資源のロスを低減する「**低マテリアルロス**」といった総合的なエコロジーの実現を通じて、持続可能な新しい未来の実現に貢献してまいります。FLOSFIA では、究極の半導体エコロジー®の実現を目指し、さまざまな企業と連携しています。

※2 「パワー半導体」

電力変換に用いられる半導体のことで、一般的な半導体と比較して、高い電圧・大きな電流を流すところで使用されています。トランジスタやダイオード、サイリスタなどのパワーデバイスとして利用されます。

※3 「酸化ガリウム (Ga_2O_3)」

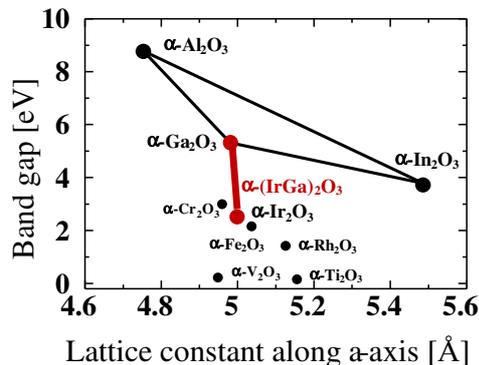
パワー半導体材料として注目を集めている新材料です。様々な結晶構造を有し、コランダム構造 (α 構造) 以外にもベータガリア構造 (β 構造) などの結晶構造をとることが知られています。 β ガリア構造は酸化ガリウムしか取らない特殊な結晶構造であるのに対し、コランダム構造は酸化ガリウム以外にもサファイアや酸化インジウムなどさまざまなファミリーが存在することから、ヘテロ積層での結晶成長やデバイスへの活用が期待されてきました。

※4 「JBS 構造」

ジャンクションバリアショットキー構造。埋め込まれた新規 P 型半導体層から広がる空乏層によりショットキー界面の電界強度を緩和してリーク電流を減らすことができます。

※5 「酸化イリジウムガリウム (α - $(\text{IrGa})_2\text{O}_3$)」

ガリウム、イリジウム、酸素から成るコランダム構造の 3 元系混晶です。



※6 「ウルトラワイドバンドギャップ半導体」

バンドギャップが約 3eV 程度と大きい SiC や GaN はワイドバンドギャップ半導体と呼ばれ、これらよりもさらに大きなバンドギャップ (一般に 4eV 以上) を有する酸化ガリウム、ダイヤモンド、AlN などがあります。

※7 「ミストドライ®法」

京都大学の藤田静雄教授らの研究グループが独自に開発したミスト CVD 法を FLOSFIA が独自に改良した成膜方法をいいます。FLOSFIA では酸化ガリウムの合成やその不純物濃度制御をミストドライ®法で行っています。

※8 「電力変換器の小型化、低コスト化の限界」

電力変換器の小型化、低コスト化には、動作周波数の高周波化が必要と考えられています。シリコン (Si) を用いた場合には、高周波動作させると変換損失が大きくなってしまい追加の放熱対策が必要となることなどから、電力変換器の小型化が困難であると考えられています。また、新しい半導体材料としてシリコンカーバイド (SiC) を用いた場合には、高周波動作は可能で電力変換器の小型化は可能ですが、その合成方法やプロセス技術の特殊性から、低コスト化には限界があると考えられています。

以上