

FLOSFIA と JSR、世界初の P 型半導体「酸化イリジウムガリウム」実用化に向けて進展！

～量産のための新たなイリジウム系成膜材料を開発し、
次世代パワー半導体による究極の半導体エコロジー®実現に向け大きく前進！～

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）と JSR 株式会社（本社：東京都港区、代表取締役 CEO：エリック ジョンソン、以下 JSR）は、FLOSFIA がパワー半導体※1として展開する世界初のコランダム型酸化ガリウム【 α -Ga₂O₃】（以下「酸化ガリウム」※2）と組み合わせて使う新規 P 型半導体である、酸化イリジウムガリウム【 α -(IrGa)₂O₃】（以下「酸化イリジウムガリウム」※3）の量産における課題を解消するため、新しいイリジウム系成膜材料を共同開発いたしました。今回開発した新材料を用いることで、酸化イリジウムガリウムの最大の特徴である P 型特性の発現はもちろん、産業応用に向け、量産における課題を解決する見通しがつきました。

酸化イリジウムガリウムの産業応用においては、以下の 3 つの量産性課題がありました。

- ① イリジウム源として知られているイリジウムアセチルアセトナート【Ir(acac)₃】が水に対する難溶性が高く、結晶成長レートが酸化ガリウムの結晶成長レートの十分の一以下と遅く、生産性に欠ける。
- ② 結晶成長の際のカバレッジが悪く、トレンチ内部への安定的な成膜が困難。
- ③ トレンチ内部の埋込み効率が悪いことから、1 回の成膜に必要なイリジウム成膜材料の使用量が多い。

「イリジウム」元素は半導体としての量産適応例がなく、イリジウム源として入手可能な原材料は限られていることもあり、今回の共同開発に際しては、全く新しいイリジウム系成膜材料の開発に取り組みました。今回開発した新材料は、高速結晶成長レート（従来比で 10 倍以上）の実現、トレンチ内部へのカバレッジ性能の向上（図 1）、イリジウム系成膜材料の使用量の低減を達成しました。この結果、酸化ガリウムデバイスへの新規 P 型半導体、酸化イリジウムガリウムの量産適用の可能性が劇的に上がり、FLOSFIA が目指す「半導体エコロジー®」※4の実現に向けて大きな前進を果たしました。なお、酸化ガリウムと組み合わせて使う良質な P 型半導体「酸化イリジウムガリウム」は、2023 年 1 月 17 日に FLOSFIA から発表されている通り、JBS 構造※5での動作実証に成功しています。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。今回「量産性」の課題解消の道筋ができたことにより、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早期適用が可能となります。詳しくは以下【今後の展開】をご覧ください。

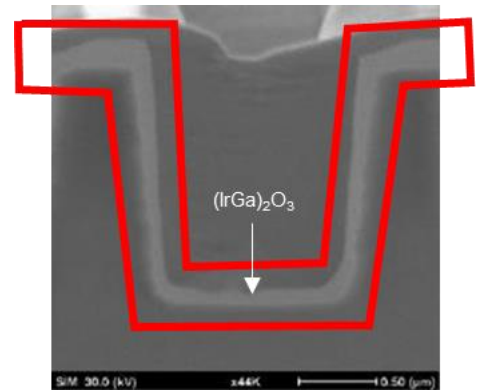


図 1
新規イリジウム系材料を用いて、
トレンチ内部への酸化イリジウム
ガリウム高品質埋込み成長に成功

Press Release

【本研究成果】

酸化イリジウムガリウムのデバイス適用に当たっては、トレンチ構造への埋込みを前提とする JBS 構造への適用を目指し (図 2)、酸化ガリウム n 層の一部にトレンチ構造を作製した後、新規 P 型半導体である酸化イリジウムガリウムを埋め込んで結晶成長を行いました。この時、結晶成長には FLOSFIA 独自のミストドライ®法*7を用いましたが、溶液にイリジウム源として今回共同開発した新しいイリジウム系成膜材料を使用しました。この新材料を用いることで、成長レートは従来比 10 倍以上であることを確認しました。このトレンチ構造部分を SEM により断面観察を行ったところ、酸化イリジウムガリウムの膜厚分布が均一でカバレッジ良く成膜されたことを確認しました (図 3)。

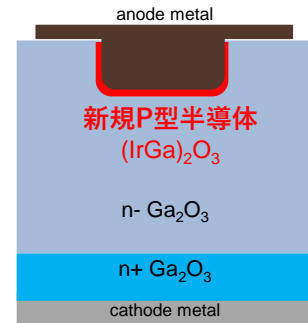
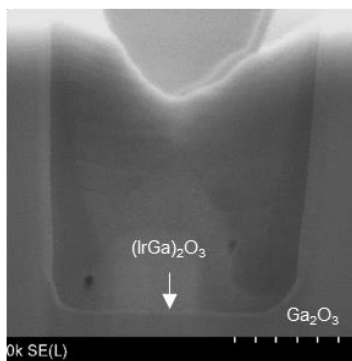


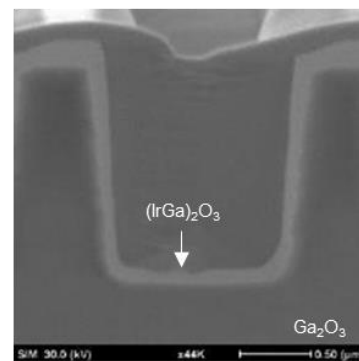
図 2 酸化イリジウムガリウムをデバイス活用 (JBS 構造)

(a) 従来材料を用いた断面写真



・横が分厚く底が薄い

(b) JSR開発の新材料を用いた断面写真



・良好なカバレッジ!
・膜厚分布が均一!

図 3 カバレッジの良い酸化イリジウムガリウム埋め込み成長

【今後の展開】

今回の研究成果を用いた 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。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のほか、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に挑戦します。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)。

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

Press Release

【FLOSFIAについて】

株式会社 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®」と名付け、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「酸化ガリウム（Ga₂O₃）」の普及を目指しています。

- ・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）（2023 年 2 月 1 日現在）
- ・設 立：2011 年 3 月 31 日
- ・U R L： <https://www.flofia.com>
- ・事業内容：酸化ガリウムパワーデバイスの研究・製造・販売等
- ・問合せ先：E-mail info@flofia.com

【JSRについて】

JSR 株式会社は、半導体材料を含むデジタルソリューション事業とライフサイエンス事業を中心に技術力を強みとしてグローバルに事業を展開しながら、世界の先端産業に価値を提供するためのイノベーションを推進し、社会の課題に応える次世代事業の探索も推進しています。なお、JSR およびその CVC 子会社 JSR Active Innovation Fund 合同会社は、FLOSFIA に資本参加しております。

- ・会社名：JSR 株式会社（ジェイエスアール）
- ・所在地：東京都港区東新橋一丁目 9 番 2 号 汐留住友ビル 22F
- ・代表者：エリック ジョンソン
- ・資本金：23,370 百万円（2022 年 3 月 31 日現在）
- ・設 立：1957 年 12 月 10 日
- ・U R L： <https://www.jsr.co.jp/>
- ・事業内容：デジタルソリューション事業、ライフサイエンス事業、合成樹脂事業における研究・製造・販売等
- ・問合せ先：E-mail jsr_koho@jsr.co.jp

Press Release

【用語説明】

※1 「パワー半導体」

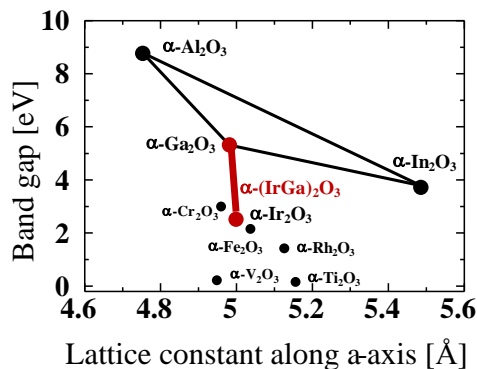
電力変換に用いられる半導体のことで、一般的な半導体と比較して、高い電圧・大きな電流を流すところで使用されています。トランジスタやダイオード、サイリスタなどのパワーデバイスとして利用されます。

※2 「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。ベータ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群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。

※3 「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。



※4 「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。

※5 「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。

※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 などをいいます。

※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行います。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