

FLOSFIA、酸化ガリウムパワー半導体の最大の壁「p層」を克服！

～世界初、p層を用いた MOSFET でノーマリーオフ 10A 超の大電流化に成功、実用化に向け前進～

株式会社 FLOSFIA（本社：京都市、代表取締役社長：四戸孝）は、酸化ガリウム（ α -Ga₂O₃）を用いた次世代パワー半導体開発において、最大の課題とされてきた「p層」（導電型 p 型半導体層）の改良に成功し（図 1）、世界で初めて MOSFET（電界効果トランジスタ）でのノーマリーオフ特性を有する 10A 超の大電流動作（ドレイン電流 14.3A、ゲート電圧 15V 時）を実現しました（図 2）。

FLOSFIA はこれまで、独自の「ミストドライ®」法により、酸化ガリウム半導体における p 層形成技術を開発し、JBS（ジャンクションバリャショットキー）構造ダイオードにおいて製品レベルのサンプル実証をすでに達成しています。そして今回、さらに技術難易度が高い MOSFET への p 層適用を目指し、独自技術を高度に改良したうえで新規 MOS 構造形成プロセスを開発し、デバイスへの組み込みに成功しました。これにより、ノーマリーオフ動作や大電流特性といった MOSFET における重要機能を、酸化ガリウム半導体として世界で初めて達成しました。今後、本成果を基盤に耐圧構造の導入、高耐圧化および製品化に向けた信頼性確保等の研究開発を一層加速してまいります。なお、本研究成果は、防衛装備庁「安全保障技術研究推進制度」（JPJ004596）の支援を受けて得られたものです。

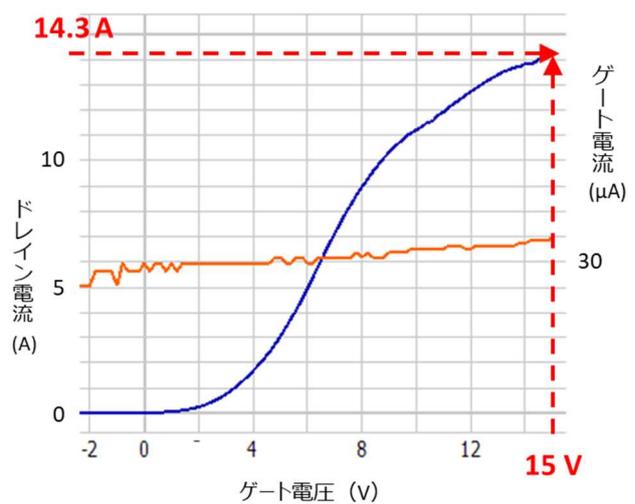
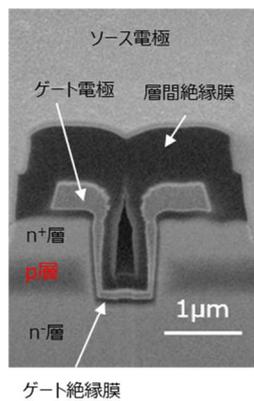
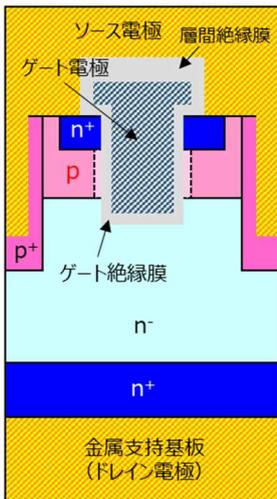


図1 開発中のトレンチゲート型MOSFETの断面模式図（左）と今回試作したトレンチゲート部分の電子顕微鏡写真（右）

図2 ドレイン電流-ゲート電圧特性
Id=14.3A @ Vg=15Vを実証！（ノーマリーオフ特性）

【p層を用いる FLOSFIA のアプローチの優位性について（他の研究例との違い）】

酸化ガリウム半導体の MOSFET 構造を作製するうえで、「p層」は材料としての高い性能ポテンシャルを引き出すために本質的に重要な役割を持っています。その一方で、他機関が報告するアプローチの多くは、現状の技術難易度から p 層を採用せず、デバイス構造をシンプル化した方法を用いています。しかしながら、「本来の酸化ガリウム材料の高い性能（高耐圧・低損失）を引き出し、実用的な量産デバイスを製造するためには、p 層を活用したデバイス構造が有効である」というのが FLOSFIA の見解です。FLOSFIA では、独自開発の p 層形成技術の進展により、デバイスの構造の自由度や性能向上の余地を広げることになりました。詳しくは以下【本研究成果】をご覧ください。

今回のノーマリーオフ動作および大電流動作の実証が、このアプローチの有効性を明確に裏付ける形となっています。引き続き、p層技術を高度化して量産に対応した革新的なパワーデバイスを提案し、この分野でグローバルな競争力を発揮してまいります。

（これまでの p 層実用化に向けた FLOSFIA の技術進展）

- ・ 2023 年 1 月：新規 p 層のデバイス適用に成功し、ジャンクションバリア効果を確認
- ・ 2023 年 3 月：JSR との共同研究により、量産適用を前提とした p 層成膜技術開発に成功
- ・ 2024 年 12 月：p 層を用いた JBS 構造ダイオードで、10A 級の大電流サンプル作製に成功
- ・ **2025 年 6 月（本成果）：さらに改良した p 層を MOSFET に適用、世界初となる 10A 超の大電流動作を実証**

【本研究成果】

FLOSFIA 独自のミストドライ®法で作製した高品質な α -Ga₂O₃ を用いて耐圧 600V 級デバイスのエピタキシャル層を形成し、微細化・低オン抵抗化に有利なトレンチゲート型 MOSFET を作製しました（図 3）。

MOSFET のオン抵抗の大きな部分を占めるチャネル領域の抵抗を低減するために、p 層を活用した新規開発の MOS 構造形成プロセスを適用しています。p 層は高速スイッチング時のアバランシェ破壊耐量を上げるためにも有効です。さらに、約 10 μ m に超薄膜化した α -Ga₂O₃ MOSFET を金属支持基板に転写することで、高い通電能力と SiC 並みの高放熱特性を持つ縦型素子構造を実現しました。その結果、ゲート電圧 15V において、ドレイン電流 14.3A の通電に成功しました。ゲート電圧 0V ではドレイン電流が流れないノーマリーオフ特性を実現しています。通電エリアの特性オン抵抗は 17m Ω ・cm² であり、今後の MOS 構造形成プロセスのさらなる改良とトレンチゲート構造の微細化により、SiC-MOSFET を凌駕する低損失性能を追求していきます。

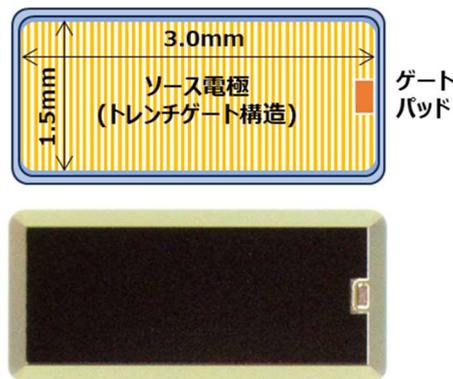


図3 試作したMOSFETの
模式図（上）とチップ写真（下）

【今後の展開】

（激動する市場環境への対応）

世界的な電動化や省エネ化の加速により、パワー半導体市場は大きな転換期を迎えています。従来の技術や産業構造の延長ではもはや競争力の維持が困難となり、グローバル企業の再編や新興勢力の台頭など、市場構造も大きく変化しています。FLOSFIA は、酸化ガリウムおよび独自の p 層技術を強みに、新たな市場ニーズに柔軟かつ迅速に対応し、日本発の技術競争力を世界に発信してまいります。

（低コスト化と社会的価値の創出）

GaO®ブランドを支える FLOSFIA 独自の半導体技術は、サファイア基板の活用により SiC 比で最大 50 分の 1 まで基板コストを低減可能です。さらに、既存 LED 量産設備の転用や自社開発の薄膜デバイス転写技術との組み合わせにより、パワーデバイスの高品質かつ低コストな量産体制を実現します。今後は自動車、産業機器、データセンター、通信インフラ、再エネ・蓄電システムなど多様な分野で、高効率化・省エネルギー化・CO₂削減といった社会的価値創出に貢献してまいります。

（成長戦略と今後のロードマップ）

2008 年の京都大学におけるコランダム型酸化ガリウム (α -Ga₂O₃) 薄膜開発の成功以来、FLOSFIA は数々の世界初実証を達成してきました。現在は、京都大学近郊のマザー工場にて月産 100 万個規模の量産技術基盤の整備を推進しており、2026 年度以降の本格量産開始を計画しています。今後も日本発のイノベーションによるグローバルリーディングカンパニーを目指し、持続的な成長と技術革新を実現してまいります。

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

【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：四戸 孝、中澤 達洋
- ・資本金：42 億 850 万円（資本準備金含む）（2025 年 6 月 1 日現在）
- ・設立：2011 年 3 月 31 日
- ・U R L： <https://www.floSFIA.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

【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 「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。

※3 「酸化ガリウム（Ga₂O₃）」

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。

※4 「p 型半導体層」

p 型半導体は、主に「正孔（ホール）」をキャリア（電荷を運ぶ粒子）とし、これを形成することでデバイスのスイッチング特性や耐圧性能、リーク電流低減などが大きく向上します。特に酸化ガリウム材料では p 層の形成が困難とされており、これを克服することで新しい高性能パワーデバイスの実現が可能になります。

※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 「ノーマリーオフ特性」

MOSFET（電界効果トランジスタ）などの半導体スイッチング素子において、ゲート電圧が 0V（無印加）のときに電流が流れず「オフ」の状態になる特性のことです。これは、電源投入時や異常時に意図せずデバイスが「オン」となり大電流が流れることを防ぐもので、パワー半導体の安全性や信頼性向上に不可欠な特性です。

※7 「トレンチゲート型 MOSFET」

ゲート電極をデバイス内部の微細な溝（トレンチ）に埋め込んだ構造の MOSFET です。これによりチャンネル密度を高めることができ、オン抵抗を大幅に低減できるため、大電流動作・低損失・高効率化に非常に有利です。パワー半導体分野で主流となっている構造の一つで、エネルギー効率や小型化の観点からも注目されています。

※8 「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。

以上