

世界初！ 注目の新規半導体「コランダム構造酸化ガリウム (Ga₂O₃)」を用いて ノーマリーオフ型 MOSFET の動作実証に成功！

～EV 普及の「三種の神器」パワー半導体で課題を解決、酸化ガリウムをパワー半導体のスタンダードへ！～

【研究背景】

省エネ社会実現に向けて、パワーデバイス^{*1}の低損失化が期待されています。パワーデバイスは電力（パワー）の変換に用いられる半導体デバイスのことで、AC アダプタや、電気自動車・ロボット・白物家電に搭載されるインバーターなど、あらゆる電力変換器に搭載されています。これまでは他の半導体デバイス同様、シリコン（Si）が用いられてきましたが、これ以上の特性改善が期待しにくいことから、電力変換器の小型化、低コスト化の限界^{*2}を迎えていると考えられ、新規材料によるイノベーションが期待されてきました。身近な例では、ノートパソコンの AC アダプタを小型化することが期待され、また、電気自動車においては、普及に欠かせない「三種の神器」ともいわれ、燃費向上や走行距離アップへの貢献が期待されています。

酸化ガリウム^{*3}（以下、Ga₂O₃）はその最有力候補の一つで、結晶構造の異なる 5 つの結晶多形が知られています。最も物性値が良いと考えられているのがコランダム構造（α 構造）です。長きにわたり、単結晶薄膜の作製自体が不可能でその存在が注目されることもありませんでしたが、京都大学が 2008 年に世界で初めてサファイア基板上に単結晶薄膜を作製したことを契機とし、その後、FLOSFIA が 2015 年に世界最小（FLOSFIA 調べ）の特性オン抵抗である 0.1mΩcm²のショットキーバリアダイオード（以下、SBD）を試作、さらに汎用パッケージ（TO220）でのサンプル出荷が開始するなど、急速に事業化が進みつつあります。

次の展開に向けて、当グループでは、コランダム構造 Ga₂O₃を用いたパワートランジスタ^{*4}として、絶縁効果型トランジスタ（以下、MOSFET）の開発に取り組んできました。2016 年には、コランダム構造を有する P 型半導体「酸化イリジウム」を発見し、材料面から、普及に不可欠とされるノーマリーオフ動作への道筋をつけることに成功、これを機に MOSFET の動作実証が期待されていました。

【研究成果】

今回、待望されてきた MOSFET を試作し、ノーマリーオフ動作の実証に成功しました（図 1）。デバイス構造としては、サファイア基板上に酸化ガリウムを用いた N+型ソース・ドレイン層や新規 P 型半導体層を用いた P 型ウェル層、ゲート絶縁膜、電極などを形成しました（図 2、図 3）。測定した電流-電圧特性から外挿したゲート閾値電圧は 7.9V でした。本デバイスでは、コランダム構造を有する新規 P 型半導体層をチャンネル層として用いており、反転層チャンネルの動作実証に成功したと解釈されます。

2016 年の当グループによる発表までは、Ga₂O₃デバイスにおいては P 型層の形成が理論上不可能と考えられ、ノーマリーオフ動作は実現不可能と認識されてきたことから、今回の新規 P 型半導体を用いた反転層チャンネルは革新的な成果といえます。

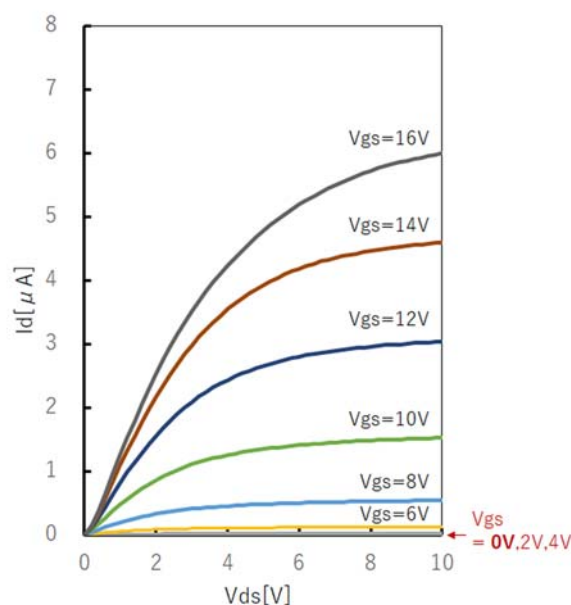


図 1 電流-電圧特性

ゲート電圧 Vgs が 0V のときに電流が流れず、電圧を上げていくと電流が流れるノーマリーオフ動作を確認しました。

これにより、電気自動車を始めとする安全・安心が求められる幅広い電源領域での適用が期待され、電気自動車や小型 AC アダプタの普及を後押しすることが期待できます。

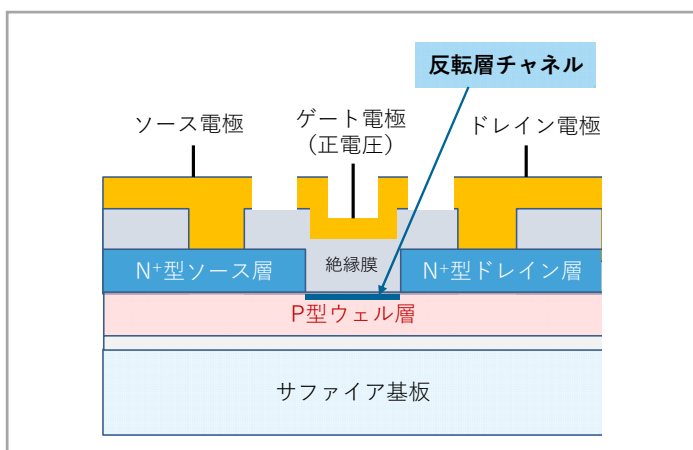


図2 デバイス断面図 (イメージ)

サファイア基板上に P 型ウェル層としてコランダム構造新規 P 型半導体、N 型ソース層として $\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ を積層し、横型の電流パスを有する構造で試作しました。

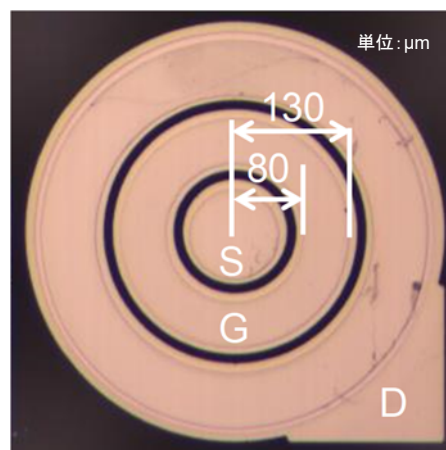


図3 デバイス写真

ノーマリーオフ動作の実証に成功した MOSFET の顕微鏡写真

【産業応用への道筋】

今回の研究成果は、FLOSFIA のコランダム構造 Ga_2O_3 パワーデバイス「 GaO^{TM} 」シリーズとして量産予定で、さまざまな電力変換器への搭載を目指します。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、電気自動車やハイブリッド車などの自動車、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^{TM} 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コスト低減に貢献することを目指します。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)。

【株式会社 FLOSFIA】

京都大学発のベンチャー企業です。様々な智慧・叡智 (sophia) が流れ (flow) 込み集まる会社、そしてこの智慧・叡智 (sophia) を更に磨きあげて、社会に流し戻して (flow) 人類の進歩に貢献する会社でありたいと考え、我々が目指すこのような姿を「FLOSFIA」と名付けています。作り出された電気を効率よく使用するために必要不可欠な低損失・低コストなパワーデバイスを実現するため、 Ga_2O_3 パワーデバイスの事業化に取り組んでいます。



- ・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 36 号 京大桂ベンチャープラザ北館
- ・代表者：人羅 俊実
- ・資本金：22 億 6,000 万円 (資本準備金含む)
- ・ホームページ：http://flosfia.com

【用語説明】

※1 パワーデバイス

電力変換に用いられる半導体デバイスのことで、トランジスタやダイオード、サイリスタなどが知られています。

※2 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。

※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 β ガリア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群が存在することから、バンドギャップエンジニアリングや結晶性緩衝層としての活用など、ファミリー群を活用したデバイス開発が行われています。

※4 パワートランジスタ

パワーデバイス向けのトランジスタのことで、ロジック回路で用いられる一般的なトランジスタと比較して、大電流を流すことが特徴です。

※5 ミスト CVD 法 (ミストドライ[®]法)

霧 (ミスト) 状にした原材料溶液と加熱部を用いて、簡便、安価、安全に酸化物半導体薄膜が作製できる手法で、当グループの藤田静雄教授らの研究グループが独自に開発しました。一般的な化学気相成長法 (CVD : Chemical Vapor Deposition) 法が原材料にガスを用いるのに対し、原材料に液体 (溶液) を用います。原材料溶液は、有機金属やハロゲン化物など、反応の源になる「溶質」と、溶質を溶解させて液体状にするために用いられる水や有機溶媒 (メタノール、エタノールなど) などの「溶媒」とで構成されます。従来の成膜法と違い、真空装置が不要なので装置コストが大幅に低くなり、また真空引きが不要で段取り時間を短縮できるため 1 回の成膜プロセス時間が短縮され、生産性を大きく向上させることが可能です。

【特記事項】

「ミストドライ[®]」は FLOSFIA の登録商標です。

以上