



京都大学  
KYOTO UNIVERSITY

FLOSFIA

注目の新規パワー半導体「コランダム構造酸化ガリウム ( $\alpha$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$ )」を用いた  
超低損失・低コストなノーマリーオフ型パワートランジスタの実現に活路！

p層として利用可能な格子定数差 0.3%の「コランダム構造酸化イリジウム ( $\alpha$ - $\text{Ir}_2\text{O}_3$ )」の作製に成功！

国立大学法人京都大学  
株式会社 FLOSFIA

【本研究成果のポイント】

省エネ社会実現に向けて、パワーデバイス<sup>\*1</sup>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アダプタなどのあらゆる電源や、ロボット・白物家電・ハイブリッド車・電気自動車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。なかでもパワートランジスタ<sup>\*2</sup>は、最も重要な役割を果たしており、電力変換器の効率に大きな影響を与えています。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<sup>\*3</sup>を迎えていると考えられてきました。これは、身近な例では、ノートパソコンのACアダプタをこれ以上、小型化したり安くしたりできないことを意味しており、新規材料によるイノベーションが期待されてきました。

コランダム構造を有する酸化ガリウム<sup>\*4</sup>（以下、 $\alpha$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ）はその最有力候補の一つです。これまで、京都大学はサファイア基板上に良質な $\alpha$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶を作製できること、ドーパントを用いた導電性制御が可能であることを示し、FLOSFIAは世界最小（FLOSFIA調べ）のオン抵抗である $0.1\text{m}\Omega\text{cm}^2$ のショットキーバリアダイオードの試作に成功して、世界に先駆けて、その高いポテンシャルを実証してきました。

他方で、 $\alpha$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$ を用いたパワートランジスタの実現については、悲観的な見方もされてきました。良質なp層が作製困難であり、高性能なトランジスタ（MOSFET）の実現が困難という見方です。トランジスタ（MOSFET）には、一般に、電子がキャリアとなるn層と正孔（ホール）がキャリアとなるp層とが利用されます。しかしながら、酸化ガリウムに関しては、良質なp層についての報告がないことが問題と考えられてきたのです。

今回、当グループは、新規半導体材料「コランダム構造酸化イリジウム（以下、 $\alpha$ - $\text{Ir}_2\text{O}_3$ ）」の作製に成功し、良質なp層として機能することを世界で初めて実証しました。当該材料は、 $\alpha$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$ と組み合わせてデバイス化するp層として期待できる革新的な材料です（図1）。 $\alpha$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$ と同じ結晶構造をもち、格子定数が極めて近く（格子定数差が0.3%程度）、同一の成膜手法であるミスT CVD法<sup>\*5</sup>（MISTEPITAXY®法）による成膜が可能で、 $\alpha$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$ との相互積層が可能で、この発明は、 $\alpha$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$ のパワーデバイスとしての限界を打ち崩し、 $\alpha$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$ 半導体を用いた超低損失ノーマリーオフ型パワートランジスタの実現に活路を見出す画期的なものです。

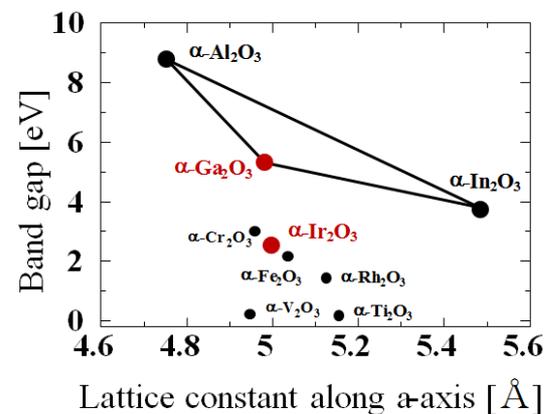


図1  $\alpha$ - $\text{Ir}_2\text{O}_3$ と他のコランダムファミリー材料  
 $\alpha$ - $\text{Ir}_2\text{O}_3$ は $\alpha$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$ と格子定数が近くバンドギャップが大きいことから、 $\alpha$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$ パワーデバイスへの応用が期待される

【研究成果の概要】

$\alpha$ - $\text{Ir}_2\text{O}_3$  の作製に成功し、良好な p 層であることを確認しました。

p 層としての特性 (p 型特性) は、ホール効果測定により確認し、高いホール移動度  $2.3\text{cm}^2/\text{Vs}$  (キャリア濃度  $1.0 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ ) を確認しています。コランダム構造を有することは、X 線回折プロファイル (図 2) および回折スポット (図 3) により確認しました。

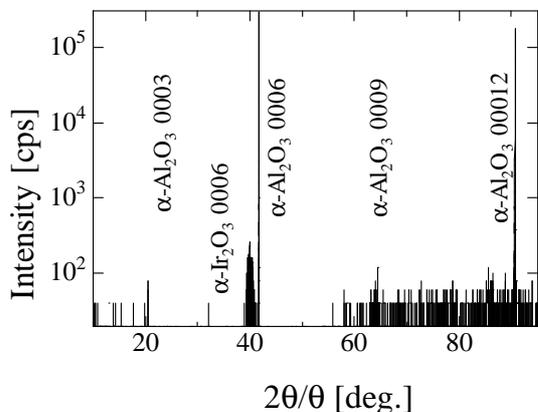


図 2  $\alpha$ - $\text{Ir}_2\text{O}_3$  の X 線回折プロファイル

$\alpha$ - $\text{Ir}_2\text{O}_3$  薄膜は基板である  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  に対して c 軸配向した高品質な結晶成長をしており、X 線回折ピークから、 $\alpha$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$  に近い格子定数 (ミスマッチ 0.3%) をもつ事を確認しています。

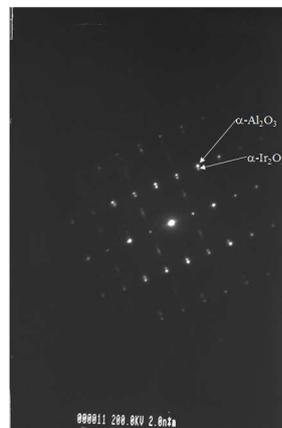


図 3  $\alpha$ - $\text{Ir}_2\text{O}_3$  の回折スポット

コランダム構造結晶の a 面、m 面という 2 方向から断面 TEM 観察を行つところ、コランダム構造をもつ  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  基板の回折スポットの近くに  $\alpha$ - $\text{Ir}_2\text{O}_3$  薄膜の回折スポットが確認され、同じコランダム構造をもつ事を確認した。

【産業応用への道筋】

酸化ガリウムを用いたパワーランジスタは、さまざまな電力変換器への応用が期待されています。例えば、AC アダプタなどの商用電源、ロボットの駆動回路、ハイブリッド車や電気自動車などの自動車、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、さまざまな電力変換器 (回路) への応用が期待できます。特に、これらの電力変換器を小型化し、コストを低減することが期待されています。電力変換器の小型化の程度は、機器の種類にもよりますが、数十分の一に及ぶことがあり、コスト低減の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)。これは、酸化ガリウムを用いたパワーデバイスであれば、オン損失およびスイッチング損失の両面で低損失となり、しかも小型・低コストで製品化できることによります。

【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、酸化ガリウム・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：613,685,840 円 (資本準備金等含む)
- ・ホームページ：http://flosfia.com

【特記事項】

本研究成果は2016年9月15日、応用物理学会秋季講演会で口頭発表済みです。

本研究開発はNEDOの戦略省エネルギープログラム「コランダム構造酸化ガリウム $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を用いた600V耐圧SBDの開発」にて発展させ、デバイス動作を実証することを目指します。

【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 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。

※3 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。

※4 酸化ガリウム(Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

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( $\alpha$ 構造)以外にも $\beta$ 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。 $\beta$ 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。

※5 ミストCVD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合物など、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。

【本件に関する問い合わせ先】

京都大学 工学系研究科 光・電子理工学教育研究センター  
教授 藤田 静雄

TEL : 075-383-3030 FAX : 075-383-3050

Mail : fujitasz@kuee.kyoto-u.ac.jp

京都大学 工学系研究科 光・電子理工学教育研究センター  
助教 金子 健太郎

TEL : 075-383-3039 FAX : 075-383-3050

Mail : ken-kaneko@kuee.kyoto-u.ac.jp

株式会社 FLOSFIA

代表取締役社長 人羅俊実

TEL : 075-963-5202 FAX : 075-320-1712

Mail : info@flosfia.com

以上