

キーワード : パワーデバイス、半導体、非真空、水、ベンチャー、京都大学、酸化ガリウム

平成 27 年 10 月 26 日

京都大学発のベンチャー企業 FLOSFIA が、酸化ガリウム (Ga₂O₃) を用い、世界最小のオン抵抗 0.1mΩcm² を有するダイオードの開発に成功

【本研究成果のポイント】

電力の変換に使用されるパワーデバイスにおいては、その変換効率に直接的な影響を与えるオン抵抗(※1)はもともと重要な特性であり、その値を低減することが強く期待されています。FLOSFIA では、省エネ化のキー材料の一つと考えられている酸化ガリウム (以下、Ga₂O₃) を用い、世界最小 (FLOSFIA 調べ) のオン抵抗である 0.1mΩcm² のショットキーバリアダイオード (以下、SBD、※2) を実現しました (図 1、図 2 参照)。しかもこの SBD は 500V 以上の耐圧を有しており、家庭用の電源用途で使用可能な耐圧を有しています。現在販売されている最新のシリコンカーバイド (以下、SiC、※3) 製 SBD のオン抵抗 0.7mΩcm² と比較すると 86%もの低減となります。

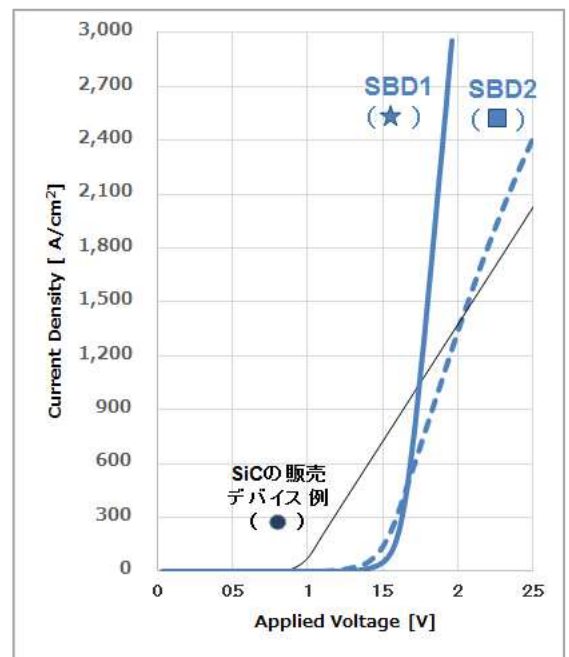
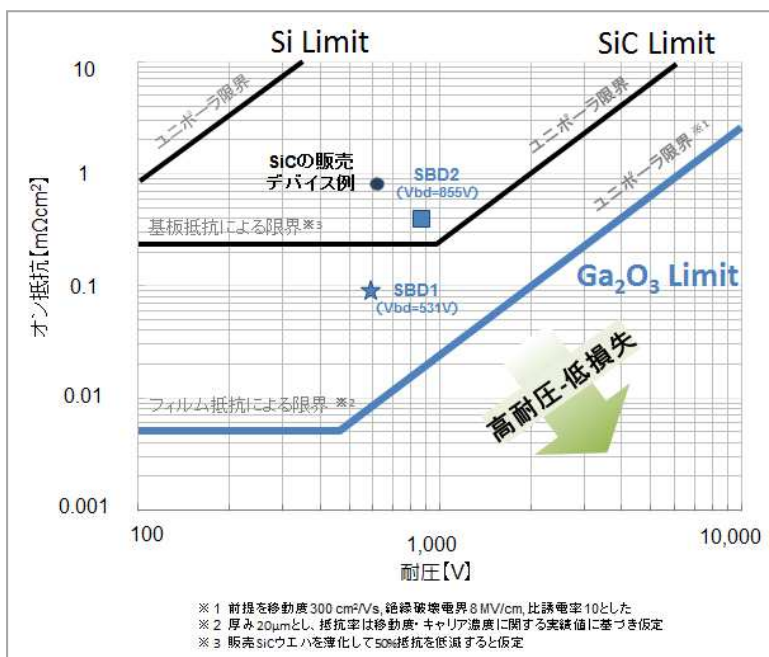
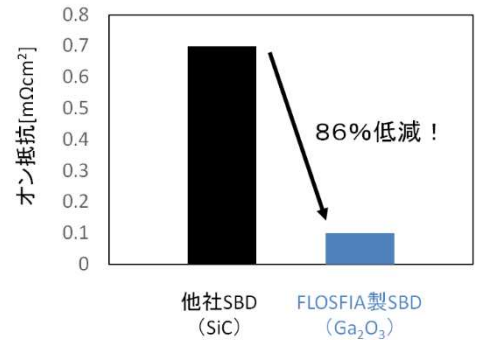


図 1 Ga₂O₃ 製 SBD の耐圧 (Vbd)、オン抵抗プロット

耐圧-オン抵抗特性は、材料物性で規定されるユニポーラ限界と下地材料 (基板、フィルム) の抵抗による限界とで限界値が示されます。(図中では右下であるほど高耐圧・低オン抵抗で優れた特性です) Ga₂O₃ は Si や SiC と比較して高耐圧・低オン抵抗が期待できる優れた材料であることがわかります。試作した SBD1 は世界最小のオン抵抗値である 0.1mΩcm² を実現。耐圧 (Vbd) 531V と高く、SBD2 ではさらに高耐圧化に成功し耐圧 855V と優れた値を実現しました。

図 2 Ga₂O₃ 製 SBD の電流密度-電圧特性

作製した SBD は低オン抵抗であるため、急峻な立ち上がり特性を有しています。電流密度が高い SBD が期待できるため、低損失化が可能です。チップを小型化しても大電流を流せるため、①実装デバイスの小型化や②小型化による低コスト化、③設備投資の低減が期待できます。将来的には Si 製 SBD よりもコストを低減することができます。

【技術の特徴】

本研究開発の技術的な特徴は以下の 3 点です

まず、Ga₂O₃ を材料として用いたことがあげられます。Ga₂O₃ を用いると圧倒的なオン抵抗低減が期待できます。Ga₂O₃ は、極めて良好な物性値を有しており、例えばバリガ性能指数 (※4) によればシリコン (Si) や最先端材料である SiC と比較して、それぞれ 1/3400、1/10 までオン抵抗を低減できる材料ポテンシャルを有していることが示されており、省エネ化のキー材料として注目を集めています。

次に、 $20\mu\text{m}$ 以下のフィルム状に加工した Ga_2O_3 フィルムを半導体ウエハの代わりに下地材料として用いることで、下地材料部分の抵抗を低減したことがあげられます (図 3 参照)。この Ga_2O_3 フィルムは、市販の SiC 基板と比較して 100 分の 1 程度まで抵抗を低減することも可能です。従来は、良好な電気伝導性と半導体層の下地として必要な高品質な結晶性を両立することが困難で、電気伝導性を実現すると結晶性が損なわれたり、逆に、結晶性を追求すると電気伝導性が損なわれたりしました。FLOSFIA の開発した Ga_2O_3 フィルムではこれらを両立できることを見出しました。

この Ga_2O_3 フィルムにはもう一つ重要な価値があります。それは、 Ga_2O_3 の低い熱伝導率という課題を解決したことです。パワーデバイスでは発生した熱をいかに効率よく逃がすことができるかが重要で、そのため、 Ga_2O_3 の熱伝導率が悪いことは、パワーデバイスとしての致命的な欠点と捉えられてしまうこともありました。今回開発に成功した Ga_2O_3 フィルムを用いれば、この材料の欠点を解決することができます。

つまり、 Ga_2O_3 フィルムを放熱板や金属板のような良好な放熱材料上に実装することによって、ミクロンオーダーの厚みしかない Ga_2O_3 半導体層で生じた熱を、放熱材料を通じて効率よく逃がすことができるのです。

Ga_2O_3 単結晶は FLOSFIA の独自技術である MIST EPITAXY®法により作製しました。MIST EPITAXY®法は京都大学藤田静雄教授らにより開発されたミスト CVD 法 (※5) を、FLOSFIA の独自技術により半導体の結晶成長手法に最適化して不純物濃度低減や多層化技術などを組み合わせ発展させたものです。MIST EPITAXY 法®では従来の半導体分野では必要不可欠であった高価で大きな真空装置は不要です。従来は不純物として嫌厭されてきた「水」を反応材料として用います。「水」の酸化力を活かして高品質な半導体単結晶を作るこの方法は、化学反応を優しく引き起こす、環境負荷が小さな画期的な手法です。

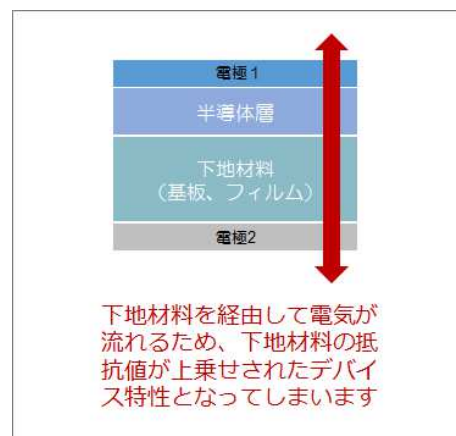


図 3 縦型デバイスの電流パス

縦型デバイスでは縦方向 (チップ形状に対して鉛直方向) に電流が流れるため、下地材料に電気が流れます。この下地材料の抵抗値は Si では問題になりませんが、よりオン抵抗の小さな SiC や Ga_2O_3 では問題になり、抵抗値の低減が期待されていました。

【作製方法】

まず、MIST EPITAXY®法を用いて、サファイア基板上に Ga_2O_3 層を作製しました (図 4 参照)。サファイア基板は LED 用に量産され、安価に入手できる汎用基板です。その後、FLOSFIA 独自技術を用いてサファイア基板を除去し、 $20\mu\text{m}$ 以下の厚みの Ga_2O_3 フィルムを単離しました。その後、エッチング、メタライズ等のデバイスプロセスを経て、フィルム上に SBD を作製しました。作製した SBD はプローブで電気特性を評価しました。

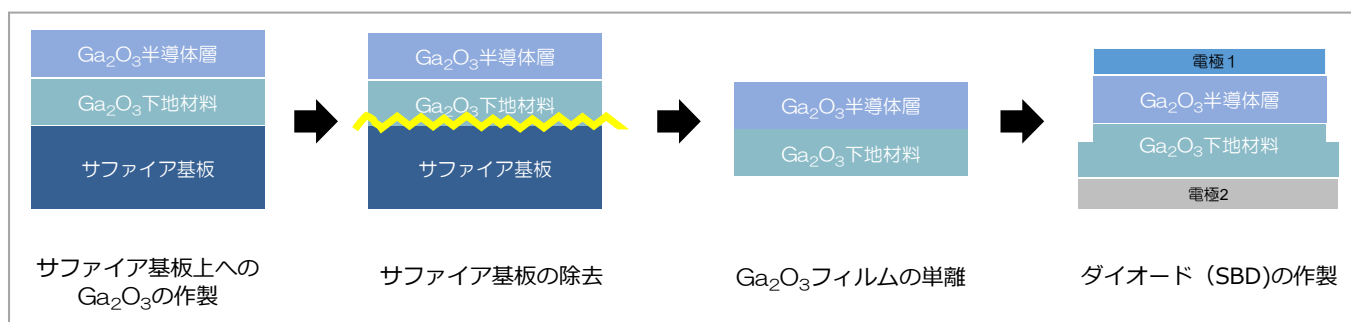


図 4 SBD の作製プロセス

コランダム構造を有するサファイア基板上に Ga_2O_3 をエピタキシャル成長することで、コランダム構造の高品質 Ga_2O_3 単結晶を実現しています。その後、縦方向の電気伝導を実現するために、絶縁性であるサファイア基板を除去して Ga_2O_3 フィルムを単離し、SBD を作製します。

【産業応用への道筋】

2015 年末には TO220 パッケージに実装した 600V 耐圧品のサンプル出荷を開始し、2018 年までに量産する予定です。低オン抵抗な FLOSFIA 製 SBD の実現により、電力変換モジュールの効率化・小型化（例えば、AC アダプタ、インバータ、モータードライブの効率化・小型化）が期待できます。しかも FLOSFIA 製 SBD は低コストで製造できるため、パソコン用 AC アダプタの超小型化、IoT 機器等のウェアラブル端末向け電源への応用など民生品への応用展開が期待できます。

【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：563,685,940 円（資本準備金等含む）
- ・ホームページ：<http://flosfia.com>

【特記事項】

本研究結果は国際学会 IWGO(International Workshop on Gallium Oxide and Related Materials)で発表予定です。IWGO は日本発の Ga₂O₃ 系半導体専門の国際学会であり、その第 1 回目が京都大学で 11 月 4 日から 6 日に開催される予定です。

【用語説明】**※1 オン抵抗**

パワーデバイスの主要な性能指数であり、値が小さいほど低損失が期待できます。SBD においては、立ち上がり電圧よりも大きな電圧を印可したときの電圧変化に対する電流密度の変化量の逆数を示し、 Ωcm^2 の単位で記述されます。

※2 ショットキーバリアダイオード(SBD)

半導体と金属との接合によって生じるショットキー障壁を利用したダイオード。PN 接合ダイオードと比較するとスイッチング速度が速く、オン抵抗が低減できる特徴があります。他方で、高耐圧化や漏れ電流の低減が困難で、より材料物性の優れた SiC や Ga₂O₃ などの新規材料による特性改善が期待されています。

※3 シリコンカーバイド (SiC)

パワー半導体材料として注目を集めている新材料です。既存材料であるシリコン (Si) よりも材料物性が優れていることから、低オン抵抗や高温環境での動作が期待されています。

※4 バリガ性能指数

パワーデバイスのオン抵抗低減のポテンシャルを示す総合指数で、値が大きいほど低オン抵抗が期待できます。

※5 ミスト CVD 法

霧(ミスト)状にした原料溶液と加熱部を用いて、簡便、安価、安全に酸化半導体薄膜が作製できる手法です。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ました。原料溶液としては化学的に安定な有機金属を溶質、水や有機溶媒を溶媒に用います。キャリアガスも酸素や窒素などの人体への毒性が低い気体を用いることで、環境負荷の大幅な低減を実現しています。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】

株式会社 FLOSFIA 担当：間嶋（広報）
TEL：075-963-5202 FAX：075-320-1712
Mail：info@flosfia.com