

# ワイドバンドギャップ半導体パワー素子の可能性

橋詰 保 (はしづめ たもつ)

北海道大学量子集積エレクトロニクス研究センター 教授  
工学博士



現在、世界全体の電力消費量は約 15 兆 kWh であるが、今後は著しい増加が予想され、2020～2025 年には現在の 1.5 倍の使用量が見積もられている。国内的に深刻な問題は、高度情報通信システムの中核をなす集中型データセンターでの電力増加である。データセンター電力の 70～75% は心臓部のデジタル機器以外の冷却・空調・電源設備に費やされ、このままデータセンターの増設が進むと、その電力消費は 2025～2030 年には総電力量の 50% にも達すると予想されている。したがって、いかに効率的に電力を制御するか、電力流通過程における変換損失をいかに抑制するかが、グリーンエネルギー社会を目指す日本にとって、非常に大きなポイントになっている。

Si IGBT, パワー MOSFET を中心とする高性能電力変換素子は、エネルギー流通・消費過程での損失を抑制する切札的存在になっている。進化し続ける結晶技術、プロセス技術、デバイス・回路設計技術により、Si 電力スイッチング素子は、パワーエレクトロニクスの中核素子であり、今後もその地位に揺るぎは無い。しかし、電気エネルギー消費の爆発的増大、エネルギー変換・流通過程の多様化は、電力素子に更なる性能向上を求めており、IGBT 以来のパラダイムシフトの必要性を感じている。次世代 CMOS 論理集積回路の分野では、高移動度チャンネル候補として、n-InGaAs (InAs) と p-Ge が注目されている。しかし、あくまでも Everything on Si 構想の範囲内であり、これらの材料はライバルではなく Si の補強材なのである。

さて、SiC や GaN に代表されるワイドバンドギャップ半導体は、果たして Si のライバルになり得るであろうか？ 周知のように SiC や GaN は Si の約 10 倍の絶縁破壊電界を持ち、その低損失・高速性により次世代パワー素子用材料として素質は充分にある。しかし、真に重要な点は、材料物性の優位性が本質的に素子の動作性能に反映されるかどうかである。

筆者の研究室では GaN 系半導体の研究を中心に行っており、ここでは GaN の可能性を展望する。GaN の特長は絶縁膜界面特性の標準性と異種 (ヘテロ) 接合の多様性にあると考えている。絶縁ゲート構造の実現を目標として、

筆者は GaAs や InP を中心に、多くの III-V 半導体の界面を扱ってきた。しかしながら、その絶縁膜界面特性は、III-V 半導体表面状態、絶縁膜の種類、プロセス条件等に非常に敏感であり、特殊な手法で界面を制御できたように見えても、その再現性・安定性は乏しく、トランジスタ応用への標準構造・プロセスになり得るものではなかった。

これに対して、GaN に絶縁ゲート構造を形成すると、どのような絶縁膜を堆積しても、誰がプロセスを行っても、とにかくポテンシャル変化が得られ、MIS (MOS) トランジスタが動作し、しかもその電流密度や相互コンダクタンスはチャンネル層の移動度と電子密度をほぼ反映した値になる。もちろん、今後乗り越えなければならない課題も多いが、GaN 絶縁膜界面は Si に似た「標準的特性」を持っていると感じている。ワイドバンドギャップ半導体特有の強靱な結合力が、界面ボンド乱れを空間的に最小限にとどめ、表面ポテンシャル制御を可能にしているのかも知れない。今後、界面機構を解明することは非常に重要であり、筆者の研究もその点に軸足を置いている。

もう 1 つの特長は、良質なヘテロ接合をエピタキシャル成長で形成できることである。InN-GaN-AlN 系半導体のバンドギャップは 0.7～6.0 eV ものエネルギー範囲をカバーしており、そのヘテロ接合は多様なポテンシャル構造を実現できる。特に AlN/GaN (InGaN) 界面では強いキャリア閉じ込めが可能であり、結晶成長技術の向上により絶縁性 AlN が形成できれば、SiO<sub>2</sub>/Si 系に匹敵する安定な 2 次元チャンネルを持つトランジスタが期待できる。この場合、材料特性の本質的優位がトランジスタ特性に反映されるため、パワー素子に真のパラダイムシフトが生まれると考える。

結晶性の向上、界面制御、動作信頼性の向上等、SiC・GaN 素子にはまだ課題が残っているが、これらが Si のライバルとして認められた場合、材料限界が指摘される Si パワー素子も、再度その底力を発揮して更なる進化を遂げる可能性がある。パワー素子のパラダイムシフトにより、省エネルギー・グリーンテクノロジーへの貢献度がより高まることを多に期待する。



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。