

# GaNパワーデバイスのスイッチング応用

GaN-Based Power Devices and Their Switching Applications

田村 聡之\*  
Satoshi Tamura

Siパワーデバイスと比較して、低オン抵抗・高耐圧特性を有するGaN材料を用いたGIT (Gate Injection Transistor) やマルチチャネルダイオードを開発した。GaNパワーデバイスをインバータや電源などのスイッチング回路に用いることにより、変換効率の向上を確認した。

We have developed novel GaN-based Gate Injection Transistor (GIT) and multi-junction diode with lower on-state resistances than Si-based power devices. High-efficiency switching systems, for example an inverter system or a Power Factor Correction (PFC) system, have been realized.

## 1. GaN材料への期待

従来、半導体パワーデバイスとしてシリコン (Si) からなるIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) やMOS-FET (Metal Oxide Semiconductor - Field Effect Transistor) が用いられてきたが、材料物性に起因する性能限界に近づいており、今後の特性向上は困難になりつつある。

窒化ガリウム (GaN) をはじめとした窒化物半導体は、絶縁破壊電界がSiと比較して1桁高く、かつ窒化アルミニウムガリウム (AlGaN) とGaNのヘテロ接合界面に高濃度の2次元電子ガス (2DEG: Two-Dimensional Electron Gas) が発生するので、従来のSiパワーデバイスと比較して高耐圧かつ低オン抵抗のデバイスを作製できる。

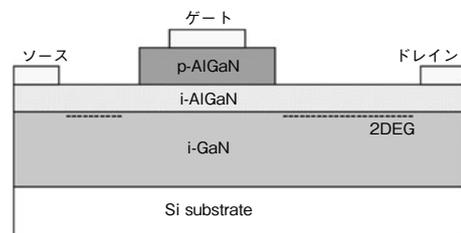
このためGaNパワーデバイスを用いることにより、スイッチング回路の電力変換効率が向上し、機器の消費電力が低減することが期待される。

## 2. GaNパワーデバイスの特長

### 2.1 GITによるノーマリオフと低抵抗の両立

GIT (Gate Injection Transistor) [1] の特徴はAlGaNバリア層上にゲートとなるp型AlGaN層を形成している点であり (第1図)、p型AlGaN層により機器の安全確保のために必要なノーマリオフ特性と低オン抵抗を両立できる。

一般的にノーマリオフ特性と低オン抵抗特性はAlGaN/GaN界面に発生する2DEG濃度に依存し、両者がトレードオフの関係にあるため両立が困難であった。



第1図 GITのデバイス構造

Fig. 1 Schematic illustration of GIT structure

p型AlGaN層はゲート直下のチャネル部の電位を持ち上げて電子を枯渇させるため、従来よりも大きい2DEG濃度でもノーマリオフ化が可能となる。さらにゲートをオンした際にp型AlGaN層からチャネル部へ正孔が注入されることで、電子-正孔対を生成するいわゆる伝導度変調が生じ、オン抵抗を低減できる。

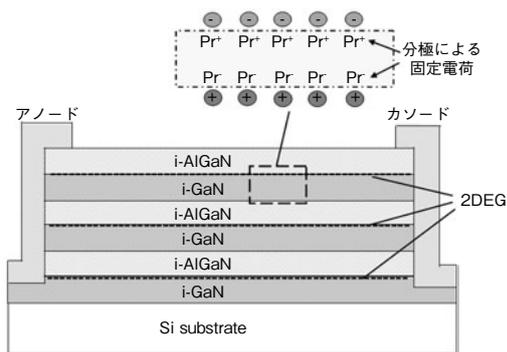
実際に作製したGITでは閾値 (しきいち) が+1 V、ゲート電圧4 Vでのオン抵抗 $2.6 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$ 、耐圧600 Vと高耐圧を維持しながらノーマリオフ特性と低オン抵抗を両立している。

### 2.2 マルチチャネルダイオードによる大電流化

マルチチャネルダイオード[2] は、i-GaN/i-AlGaN界面に形成される2DEGチャネル層を3層有している (第2図)。このような構成により、2DEGチャネルが1層の場合と比較してチャネル抵抗が55%低減し、アノード電圧1.5 V印加時に18 Aという順方向電流を得ている。

また、GaN層の上端および下端には分極により固定電荷が発生する。上端、下端の固定電荷密度は等しいため、逆バイアスを印加した際にGaN層内部に生じる電界が一定となり、GaN層が絶縁体のように機能するという特長

\* デバイス社 半導体事業グループ  
Semiconductor Business Group, Industrial Devices Company



第2図 マルチチャンネルダイオードのデバイス構造  
Fig. 2 Schematic illustration of multi-junctions diode

がある。その効果により600 Vという高耐圧特性を実現できる。

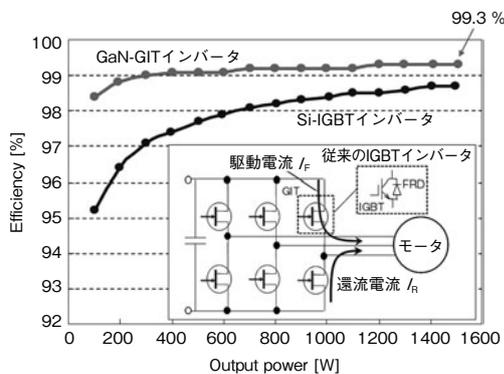
### 3. スイッチング回路への応用

#### 3.1 GaN-GITを用いたインバータの高効率化

産業から家電用途まで幅広く用いられている従来のインバータでは、Si-IGBTとSi-FRD (Si-Fast Recovery Diode) を一対として構成されている (第3図挿入図)。しかし、Si-IGBT、Si-FRDとも電気的特性にオフセット電圧を有するため、導通損失が大きく、電力変換の高効率化が困難である。

GaN-GITはドレイン電圧が順方向でも逆方向でも双方向に電流を流すことが可能である。そのため、Si-IGBTとSi-FRDから構成される部分をGaN-GITのみに置き換えることができ、かつGaN-GITの電気的特性にはオフセット電圧が無いので、変換損失を低減できるメリットがある。

Si-IGBTインバータでは低出力領域において、オフセッ



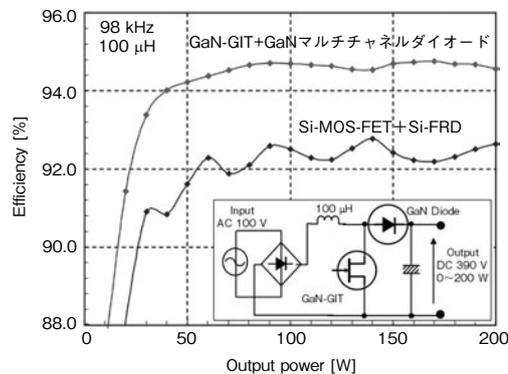
第3図 GaN-GITおよびSi-IGBTインバータの変換効率  
Fig. 3 Conversion efficiency of inverter system

ト電圧の影響により変換効率が大きく低下するが、GaN-GITインバータでは98%以上の高効率動作を実現している。また、GaN-GITインバータでは1500 W出力時に99.3%と非常に高い電力変換効率を得られ、Si-IGBTインバータと比較して約46%の電力変換損失を低減できる (第3図)。

#### 3.2 GaN-GITとGaNマルチチャンネルダイオードを組み合わせたPFC回路の高効率化

電源アプリへの応用に向け、GaN-GITとGaNマルチチャンネルダイオードを用いてPFC (Power Factor Correction) 回路 (第4図挿入図) を構成し、従来のSi-MOS-FETとSi-FRDで構成した場合と変換効率を比較した。なお、周波数は98 kHzで評価を行った。

GaN-GITとGaNマルチチャンネルダイオードで構成したPFC回路において、従来構成より2%以上電力変換効率を改善できる。また出力200 W時のGaNパワーデバイスだけの電力変換損失 (周辺部品での損失を除く) は2.6 Wで、Siパワーデバイスの7.6 Wと比較して非常に大きな損失低減を実現している (第4図)。



第4図 PFC回路の変換効率  
Fig. 4 Conversion efficiency of PFC

### 4. 今後の展望

開発したGITやマルチチャンネルダイオードなどのGaNパワーデバイスは、インバータやPFC回路などのスイッチング回路の電力変換効率を向上させることができる。今後、ますます省エネが求められるなか、さらなる高耐圧化・低オン抵抗化を進め、幅広い応用分野への展開を図っていく。

### 参考文献

- [1] Y. Uemoto et al., "Gate injection transistor (GIT) -A normally-off AlGaIn/GaN power transistor using conductivity modulation," IEEE Trans. Electron Device, vol.54, no.12, pp.3393-3399, 2007.
- [2] H. Ishida et al., "GaN-based natural super junction diodes with multi-channel structures," IEDM Technical Digest, 2008.