



ON Semiconductor®

GaN トランジスタとSiC トランジスタの 違い



ON Semiconductor®

GaNトランジスタとSiCトランジスタの違い

何十年もの間、シリコンがトランジスタの世界を支配してきました。しかし、その状況は徐々に変化しています。2種類あるいは3種類の材料で作られる化合物半導体が開発され、独自のメリットや優れた特性を提供しています。例えば、化合物半導体は発光ダイオード(LED)をもたらしてくれました。あるタイプはガリウムヒ素(GaAs)とガリウムヒ素リン(GaAsP)の混合物で構成されており、別のものはインジウムとリンを使用しています。

問題は、化合物半導体は製造が難しく高価になることです。それでも、化合物半導体には、シリコンに比べ大きなメリットがあります。車載用電気システムや電気自動車(EV)など、要求が厳しい新しいアプリケーションでは、厳格な仕様に化合物半導体がより適合することがわかっています。

解決策として浮上した2つの化合物半導体デバイスは、窒化ガリウム(GaN)とシリコンカーバイド(SiC)のパワートランジスタです。これらのデバイスは、長く使用されているシリコンベースのパワーLDMOS MOSFETやスーパージャンクションMOSFETと競合します。GaNおよびSiCデバイスは、ある点では似ていますが大きな違いもあります。本記事では、この2つを比較し、次の設計の意思決定に役立ついくつかの事実を提示します。

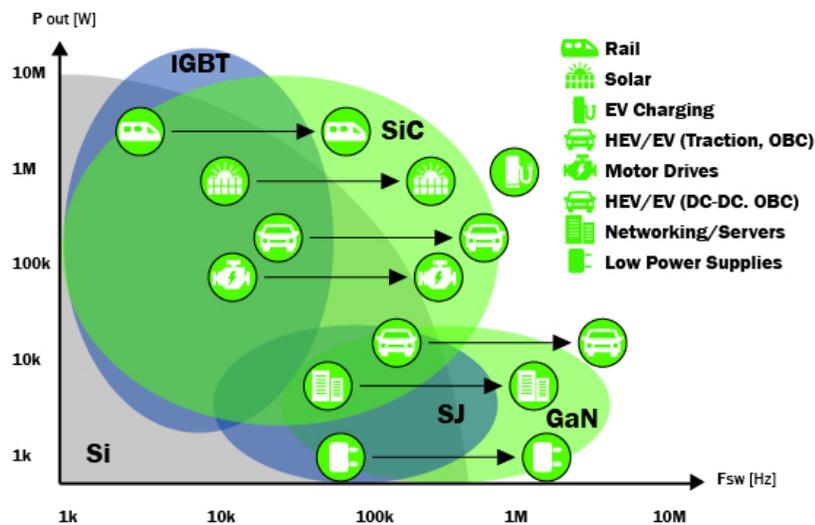


Figure 1. Power Capability vs. Switching Frequency for Popular High Voltage, High Current Transistors and Other Devices is Shown, as well as the Primary Applications

ワイドバンドギャップ半導体

化合物半導体はワイドバンドギャップ(WBG)デバイスと呼ばれます。結晶格子構造やエネルギーレベル、その他の技術的な詳細を議論するのではなく、WBGを化合物半導体内での電流(電子)の流れを説明するモデルで定義してみましょう。

WBG化合物半導体は、電子移動度が高く、バンドギャップエネルギーが高いため、シリコンよりも特性が優れています。WBG化合物半導体でできているトランジスタは、より高い破壊電圧と高温耐性を備えています。これらのデバイスは、高電圧および高電力アプリケーションにおいてシリコンよりも優れています。

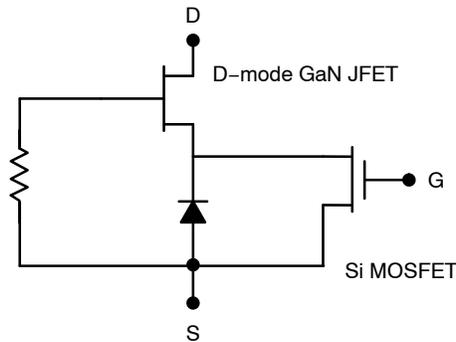


Figure 2. A Two Die Two FET Cascode Circuit Converts GaN Transistors into Normally-off Devices, Enabling Enhancement Mode of Operation that is Standard in High Power Switching Circuits

WBGトランジスタはスイッチングも高速で、シリコンよりも高周波数で動作できます。「オン」抵抗が低いため、電力損失が低く効率が向上します。この独自の特性の組み合わせにより、車載用アプリケーション、特にハイブリッド車や電気自動車に使用される最も要求の厳しい回路のいくつかに対して魅力的なものとなります。

GaNおよびSiCトランジスタは、容易に入手可能になってきており、車載電気機器の課題への対応が進んでいます。GaNおよびSiCデバイスの重要なポイントは、以下に示す利点です。

- 650、900、および1200 V用高耐圧デバイス
- 高速スイッチング速度
- 高動作温度
- 低い導通抵抗による低電力消費と高効率

GaNトランジスタ

GaNトランジスタは無線周波数(RF)電力分野に初期のニッチ市場を見出しました。この材料の性質により、デプレッションモードの電界効果トランジスタ(FET)の開発につながりました。デプレッション型(またはDモード)FETは、疑似格子整合高電子移動度トランジスタ(pHEMT)と呼ばれ、ノーマリ「オン」のデバイスです。ゲート制御入力がなくとも、自然に伝導チャンネルが存在しています。ゲート入力信号でチャンネルの伝導性を制御し、デバイスをオン、オフします。

ノーマリ「オフ」のエンハンスメント型(またはEモード)デバイスは、スイッチング用途には望ましいので、EモードGaNデバイスの開発につながりました。最初は、2つのFETデバイスをカスコード接続したものでした(Figure 2)。現在は、標準的なEモードのGaNデバイスが入手可能です。このデバイスでは、最大10 MHzの周波数で数十kWまでの電力をスイッチングできます。

GaNデバイスは最大100 GHzの周波数のパワーアンプとして無線機器に広く使用されています。主な使用事例は、携帯電話基地局のパワーアンプ、軍用レーダ、衛星の送信機、一般的なRFアンプなどです。しかし、高電圧(最大1,000 V)、高温、高速スイッチングのために、DC-DCコンバータ、インバータ、バッテリー充電器など、さまざまなスイッチモード電源アプリケーションにも利用されています。

SiCトランジスタ

SiCトランジスタはノーマリEモードのMOSFETです。このデバイスは1 MHz程度の高周波数で、シリコンMOSFETよりはるかに高い電圧および電流レベルでスイッチングできます。ドレイン-ソース間最大電圧は、100 Aの電流能力で最大約1,800 Vです。さらに、SiCデバイスのオン抵抗はシリコンMOSFETに比べてずっと低いため、あらゆるスイッチング電力アプリケーション(SMPSの設計)で高効率を実現できます。主な欠点の1つは、他のMOSFETに比べ高いゲート駆動電圧が必要なことですが、これは設計の改善にともない変化しています。

SiCデバイスは、低オン抵抗のデバイスをオンするために、18~20 Vのゲート電圧駆動が必要です。標準的なSi MOSFETは10 V未満のゲート電圧で、完全な導通状態にすることができます。さらに、SiCデバイスはオフ状態にスイッチするのに、-3~-5 Vのゲート駆動が必要です。しかし、このニーズに対応するために特別なゲート駆動用ICが開発されました。SiC MOSFETは、他の代替品よりも一般に高価ですが、高電圧・高電流能力を備えているため、車載用電源回路に最適です。

WBGトランジスタの比較

GaNとSiCデバイスは両方とも、他の確立した半導体、特にシリコンベースのLDMOS MOSFET、スーパージャクションMOSFET、IGBTと競合します。多くのアプリケーションで、これらの古いデバイスが徐々にGaNやSiCトランジスタに置き換えられています。

例えば、多くのアプリケーションでIGBTはSiCデバイスに置き換えられています。SiCデバイスは、高周波数(100 kHz超対20 kHz)でスイッチング可能なため、インダクタおよびトランスのサイズやコストを低減しながら効率を向上させることができます。また、SiCはGaNよりも大きな電流に対処できます。

GaN対SiCの比較を要約すると、重要事項は以下のとおりです。

- GaNはSiよりもスイッチングが高速
- SiCはGaNよりも高電圧で動作
- SiCには高いゲート駆動電圧が必要
- スーパージャンクションMOSFETは、徐々にGaNとSiCの両方に置き換えられています。オンボード充電器(OBC)ではSiCに人気があるようです。技術者が新しいデバイスを見つけ、経験を積むにつれて、このトレンドが継続するのは疑いのないところです。

車載用アプリケーション

GaNやSiCを用いて設計することにより、電源回路や電源機器の多くを改善することができます。最も大きな恩恵を受けるものの1つが車載用電子システムです。最新のハイブリッド車や電気自動車は、これらのデバイスを使用できる装置を搭載しています。一般的なアプリケーションには、OBC、DC-DCコンバータ、モータドライバ、LIDARなどがあります。Figure 3に、高電力スイッチングトランジスタを必要とするEVの主要サブシステムを示します。

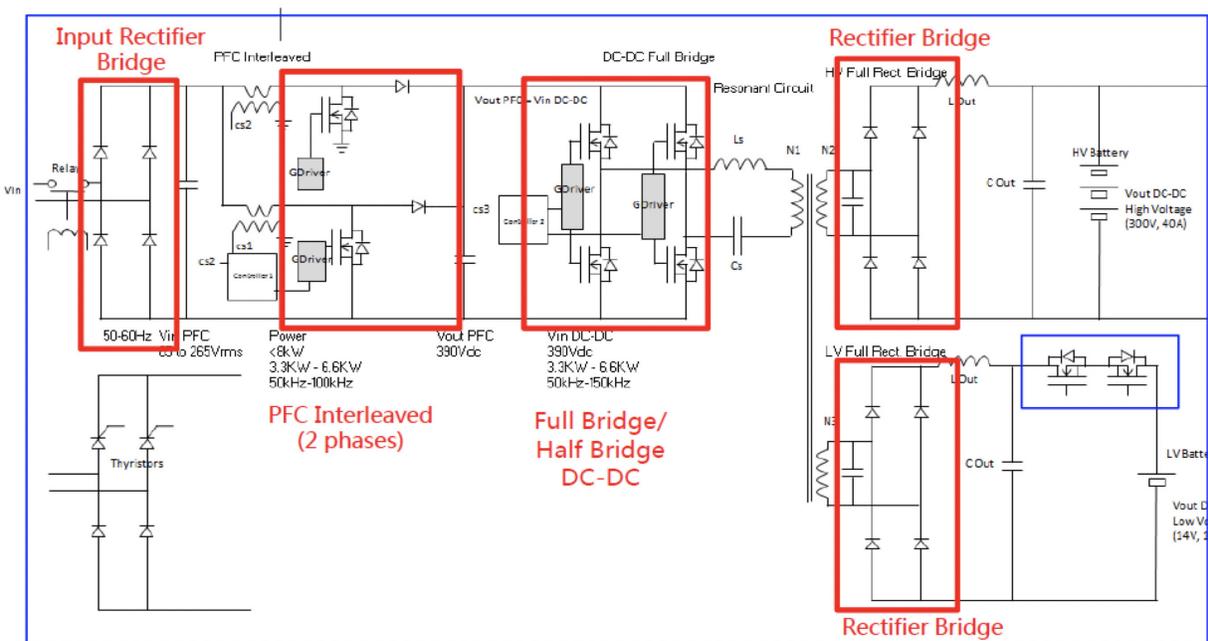


Figure 3. A WBG On-board Charger (OBC) for HEVs and EVs. The AC Input is Rectified, Power Factor Corrected (PFC), then DC-DC Converted (One Output for Charging the HV Battery and the Other for Charging the LV Battery)

DC-DCコンバータ：他の電気機器を動作させるために、バッテリーの高電圧を低電圧に変換する電源回路です。バッテリー電圧は今や600 Vあるいは900 Vにまでなっています。DC-DCコンバータは、他の電子部品を動作させるために、この電圧を48 Vまたは12 V、あるいはその両方に降圧します(Figure 3)。ハイブリッド車やEV (HEVEV)では、DC-DCコンバータをバッテリーパックとインバータ間の高電圧バスにも使用できます。

オンボード充電器(OBC)：プラグインHEVEVやEVは、AC電源に接続する内部バッテリー充電器を備えています。これにより、外付けAC-DC充電器がなくても自宅での充電が可能になります(Figure 4)。

トラクションモータドライバ：トラクションモータは車両の車輪を駆動する高出力ACモータです。このドライバはバッテリー電圧をモータを駆動する三相交流に変換するインバータです。

LIDAR：LiDARとは、光とレーダの両方を組み込んだ技術を指し、周囲の物体を検出し識別します。パルス状の赤外線レーザで360度の範囲をスキャンし、反射光を検出します。この情報により、約300メートル先までのシーンを、数センチメートルの解像度で詳細な3次元画像に変換します。高解像度のため、車両、特に自動運転車用の理想的なセンサとなり、近くの物体の識別能力が向上します。LiDARユニットは、DC-DCコンバータから供給される12~24 Vの範囲のDC電圧で動作します。

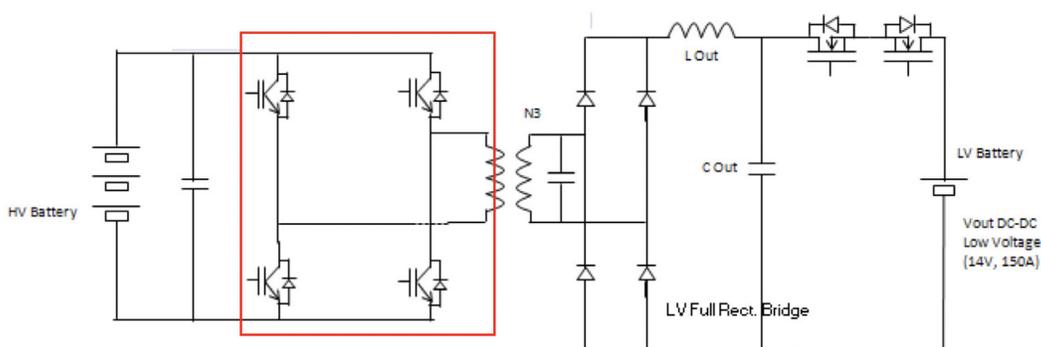


Figure 4. A Typical DC-DC Converter is Used for Translating High Battery Voltages to 12 and / or 48 Volts. The IGBTs Used in the HV Bridge are Gradually being Replaced by SiC MOSFETs

GaNおよびSiCトランジスタはいずれも高電圧、高電流、高速スイッチング特性を備え、車載用電気設計において、寛容度が高く設計が容易なだけでなく、卓越した性能も実現できます。

ON Semiconductor及びON SemiconductorのロゴはON Semiconductorという商号を使うSemiconductor Components Industries, LLC 若しくはその子会社の米国及び/または他の国における商標です。ON Semiconductorは特許、商標、著作権、トレードシークレット(営業秘密)と他の知的所有権に対する権利を保有します。ON Semiconductorの製品/特許の適用対象リストについては、以下のリンクからご覧いただけます。www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf ON Semiconductorは通告なしで、本書記載の製品の変更を行うことがあります。ON Semiconductorは、いかなる特定の目的での製品の適合性について保証しておらず、また、お客様の製品において回路の応用や使用から生じた責任、特に、直接的、間接的、偶発的な損害など一切の損害に対して、いかなる責任も負うことはできません。お客様は、ON Semiconductorによって提供されたサポートやアプリケーション情報の如何にかかわらず、すべての法令、規制、安全性の要求あるいは標準の遵守を含む、ON Semiconductor製品を使用したお客様の製品とアプリケーションについて一切の責任を負うものとします。ON Semiconductorデータシートや仕様書に示される可能性のある「標準的」パラメータは、アプリケーションによっては異なることもあり、実際の性能も時間の経過により変化する可能性があります。「標準的」パラメータを含むすべての動作パラメータは、ご使用になるアプリケーションに応じて、お客様の専門技術者において十分検証されるようお願い致します。ON Semiconductorは、その特許権やその他の権利の下、いかなるライセンスも許諾しません。ON Semiconductor製品は、生命維持装置や、いかなるFDA (米国食品医薬品局)クラス3の医療機器、FDAが管轄しない地域において同一もしくは類似のものと分類される医療機器、あるいは、人体への移植を対象とした機器における重要部品などへの使用を意図した設計はされておらず、また、これらを使用対象としておりません。お客様が、このような意図されたものではない、許可されていないアプリケーション用にON Semiconductor製品を購入または使用した場合、たとえ、ON Semiconductorがその部品の設計または製造に関して過失があったと主張されたとしても、そのような意図せぬ使用、また未許可の使用に関連した死傷等から、直接、又は間接的に生じるすべてのクレーム、費用、損害、経費、および弁護士料などを、お客様の責任において補償をお願いいたします。また、ON Semiconductorとその役員、従業員、子会社、関連会社、代理店に対して、いかなる損害も与えないものとします。ON Semiconductorは雇用機会均等/差別撤廃雇用主です。この資料は適用されるあらゆる著作権法の対象となっており、いかなる方法によっても再販することはできません。

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Email Requests to: orderlit@onsemi.com

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com

TECHNICAL SUPPORT

North American Technical Support:

Voice Mail: 1 800-282-9855 Toll Free USA/Canada

Phone: 011 421 33 790 2910

Europe, Middle East and Africa Technical Support:

Phone: 00421 33 790 2910

For additional information, please contact your local Sales Representative