

eGaN® FETの安全動作領域



John Worman, Yanping Ma, Efficient Power Conversion Corporation

パワー・トランジスタの基本的な制限要因は温度です。動作中のデバイス温度の計算では、電力消費がデバイスのアクティブ領域全体に均等に分布していると仮定していますが、常にそうであるとは限りません。一部の技術の特定のパラメータが負の温度係数なので、小さな領域に電流が集中し、局所的な温度を、故障するまで押し上げる可能性があります。

安全動作領域 (SOA) の曲線は、電圧と電流の範囲、およびデバイスが故障せずに動作できる時間の長さを表します。SOAは、抵抗性の接合部から熱を逃がすデバイスの能力の指標なので、デバイスの熱抵抗 ($R_{\theta JC}$) に直接依存します。発生する熱を除去する効率が高いデバイスほど、 $R_{\theta JC}$ が小さくなり、SOA特性が向上します。

Efficient Power Conversion (EPC) のeGaN FETは、全動作範囲にわたって正の温度係数なので、電圧、電流、温度の制限のみで動作することが期待できます。このアプリケーション・ノートでは、優れたオン抵抗 $R_{DS(on)}$ を維持すると同時に、非常に優れたSOA特性を示すパワーeGaN FETの熱的に導き出されたSOAについて説明します。その後、熱的に導き出された計算値と測定結果とを比較します。

歴史

パワー・デバイスの安全動作領域は、ゲート電圧がしきい値か、そのわずかに上である間、電圧と電流を同時に処理できる能力を表します。通常、SOAの制限は2つあります。1つ目はデバイスの最大接合部温度であり、2つ目は、負の温度係数によって電流の集中を引き起こすことです。この集中の例は、バイポーラ接合トランジスタのベース-エミッタ間の接合で見られることがあります (2番目のブレイクダウンとして知られています)。

初期のパワーMOSFETは、伝達特性の温度係数が負から正に移行するところ (温度係数がゼロの点) で電流が非常に小さくなっていました。現在のデバイスはセル密度が高くなっているため、デバイスの $R_{DS(on)}$ が向上しています。初期のMOSFETのほとんどのデータシートには理論上の

SOAが示されていましたが、負の温度係数の小さな領域では電圧、電流、温度に追加の制限がなかったため、問題ありませんでした。ただし、最新のMOSFETは、ゼロ温度係数の点が高く、伝達特性曲線に負の温度係数の大きな領域があります。この点がデバイスの動作電流よりも高い場合、デバイスは、より高いSOA電力条件で熱的に「暴走する」傾向があります [1,2]。この熱暴走状態は、以前、熱集束と呼ばれていたものです [3]。したがって、SOA特性を改善するためのソリューションは、ゼロ温度係数の点を超えてMOSFETを動作させることです。多くのメーカーは、まだ理論的なSOAを示していますが、一部のメーカーは今、経験的データで結果を定量化し、この動作条件がもたらす制限を示しています。

SOA特性を向上するためのEPCの窒化ガリウム・ソリューション

メーカーのデータシートのSOA制限は、デバイスの熱インピーダンス ($Z_{\theta JC}$) 曲線から数学的に導き出されます。慎重なメーカーは、実験室でのテストに基づいてこの理想的な曲線を調整します。図1は、EPCの正規化された過渡熱インピーダンス $Z_{\theta JC}$ の例で、表1は、EPCの製品番号とそれに関連する $R_{\theta JC}$ を示しています。図2は、100 V、

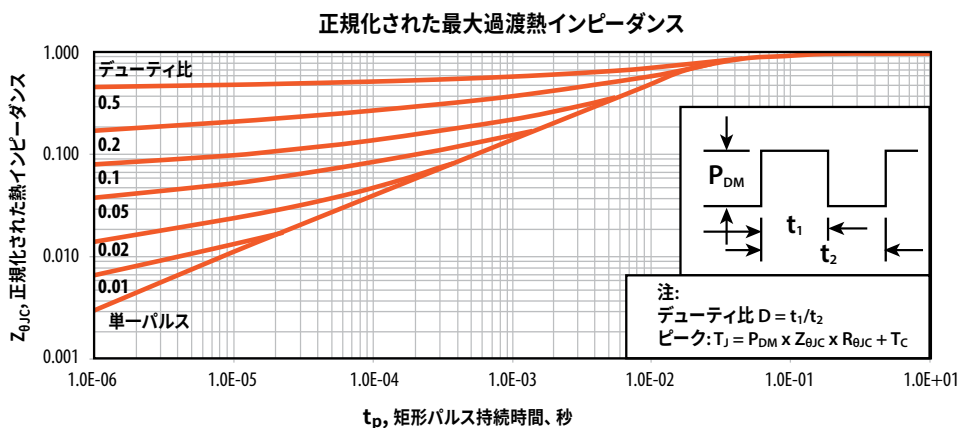


図1. 正規化された過渡熱インピーダンス $Z_{\theta JC}$

型番	$R_{\theta JC}$ °C/W
EPC2007C	33
EPC2012C	25
EPC2014	25
EPC2019	12
EPC2001C	10
EPC2010C	6
EPC2015	6
EPC2014C	3
EPC8004	3

表1. EPCの型番とそれに関連する $R_{\theta JC}$

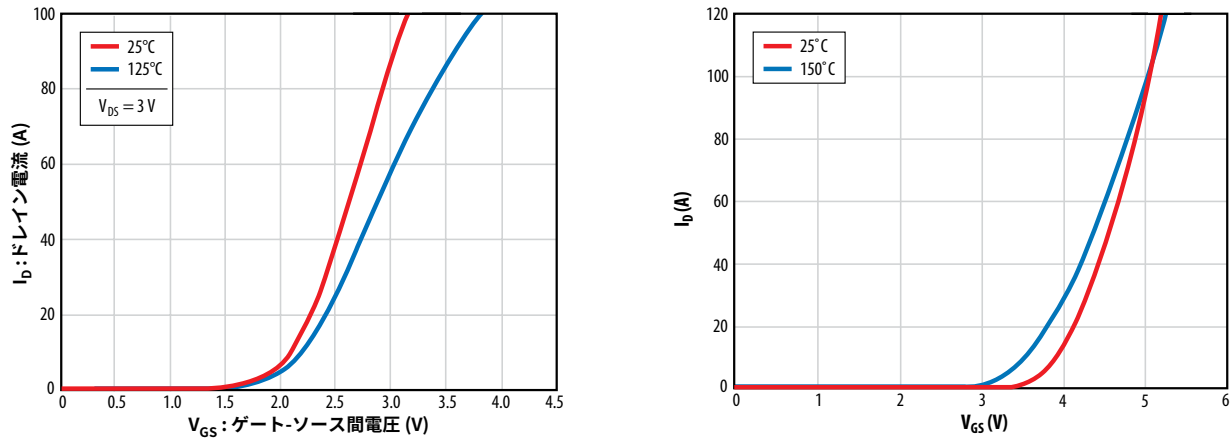


図2. EPC2001 (左) とBSB056N10NN3 (右) の伝達特性

7 mΩのeGaN FET (EPC2001) の伝達特性を、独インフィニオン テクノロジーズのパワーMOSFETであるBSB056N10NN3 [4]と比較しています。すぐに分かることは、eGaN FETの温度係数が動作範囲全体で正であることです。これは、デバイスの局所的な領域の温度が上昇すると、その電流処理能力が低下し、電流がチップの他の領域に分散されることを意味します。この電流の分散によってチップの温度が一様になり、これは「自己安定化」として知られています。一方で、パワーMOSFETには、負の温度係数で動作する大きな領域があります(ゲートで5.0V以下)。これには自己安定化がありません。この領域内での動作によって、チップ内に局所的なホット・スポットが形成され、チップのSOA機能が制限されます。

図3は、eGaN FETのEPC2001の安全動作領域で、インフィニオンの同等のMOSFET (BSB056N10NN3) と比べて示しています。SOA

曲線のeGaN FET (EPC2001) の境界は、100 V (絶対最大ドレイン-ソース間電圧)、および100 A (絶対最大パルス電流) です。これらの境界内では、このトランジスタは、その熱の限界に達する前に限られた時間、動作できます。

所定の電流で電圧を発生するには $R_{DS(on)}$ が小さ過ぎるので、グラフの左上部に到達できません。2つの境界条件の間に、時間指定された矩形のパワー・パルスの関数としてSOA制限を示す傾斜した線が存在します。黒い線は、25°Cの一定のパッケージ温度を維持しながら、デバイスの接合部温度を最大定格の接合部温度まで上げるために必要なエネルギーを表す計算された一定の電力の線です。これらの黒い線は通常、 $V_{DS} = (I_{D,continuous}) \cdot (R_{DS(on)})$ でマイナス1 (一定電力: $\log(I_{DS}) = \log(P_D) - \log(V_{DS})$) の勾配を持っています。

eGaN FETのEPC2001の全動作範囲にわたる正の温度係数は、理論的な熱制限が安全な動作に結びついていると信じられると同時に、この若い技術に対して当然実施すべきことは、他の故障モードを見落とさないことを確実にするために、この条件を経験的に検証することです。EPC2001の25個を壊滅的に故障させました。各デバイスは水冷ヒートシンクに固定し、このとき、パッケージ温度は +25°C, ±2.5°Cに維持しました。図3を参照してください:

1. 「赤色」の線は、デバイスが直流条件下で線形にバイアスされたときの故障データです。
2. 「青色」の線は、デバイスが100 msの間、線形にバイアスされたときの故障データです。
3. 「青色」の線は、デバイスが10 msの間、線形にバイアスされたときの故障データです。

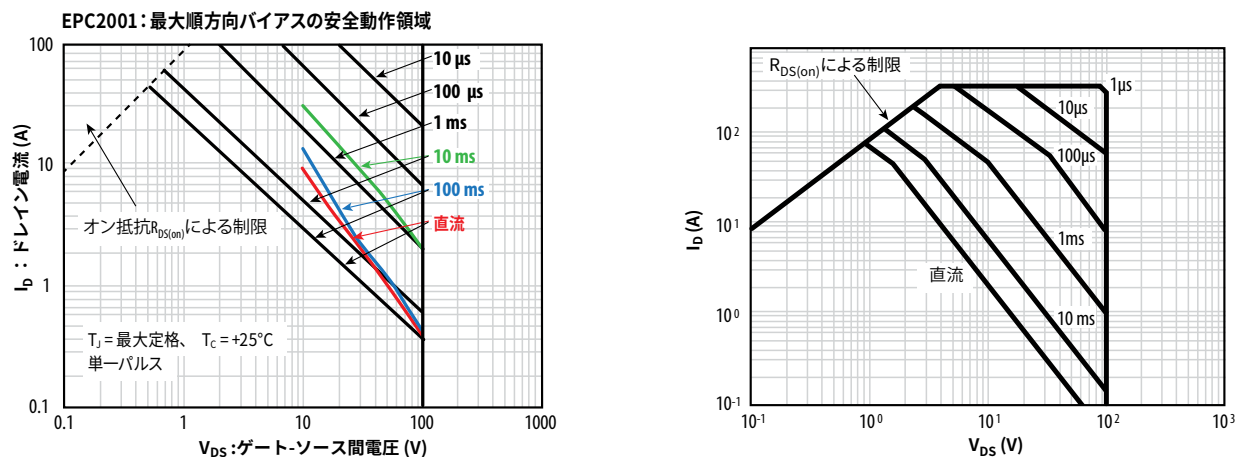


図3. EPC2001 (左) とBSB056N10NN3 (右) の安全動作領域

図4～図8は、EPCのこの他の型番、つまり、EPC2007、EPC2010、EPC2012、EPC2015、EPC2014のSOAです。すべての型番は、SOA故障について経験的に評価されてきています。色付きの線（上記で定義）は、実際のデバイスの故障を表します。ここで示されているように、10 ms、100 ms、および直流の故障はすべて、公開されているSOA条件よりも高い電力レベルで発生しています。

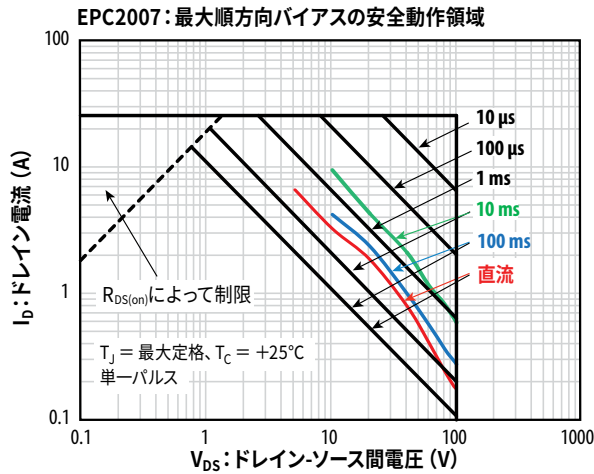


図4. EPC2007の安全動作領域

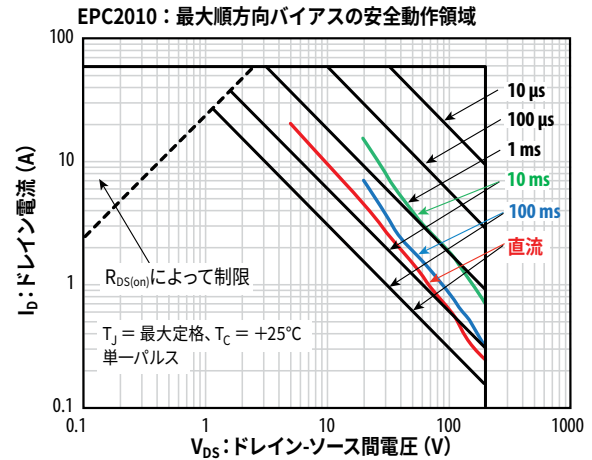


図5. EPC2010の安全動作領域

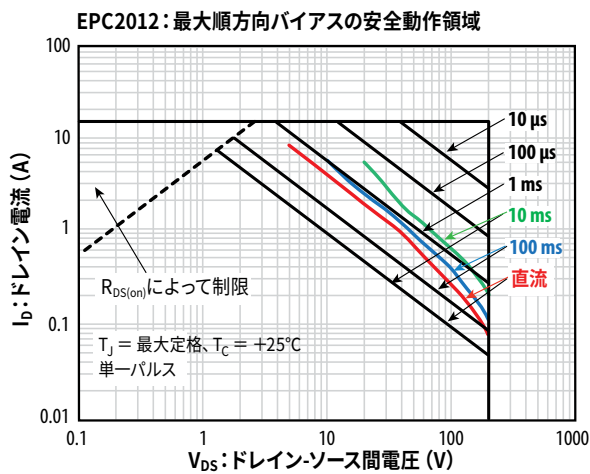


図6. EPC2012の安全動作領域

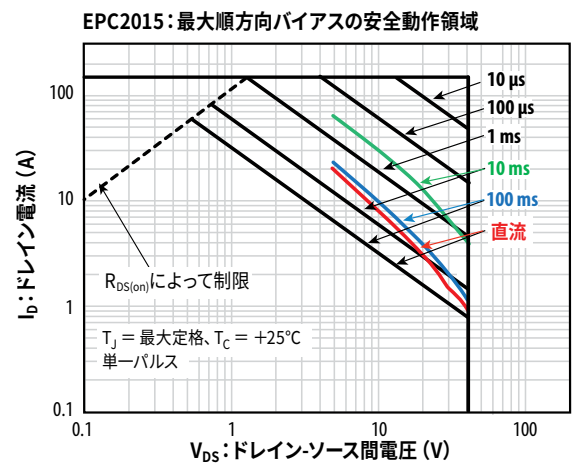


図7. EPC2015の安全動作領域

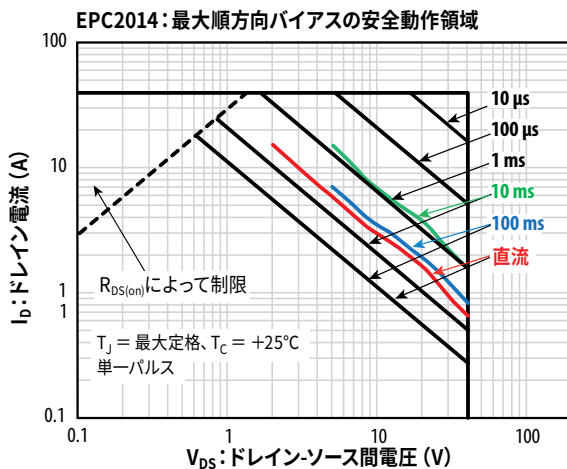


図8. EPC2014の安全動作領域

結論

電子密度が高く、温度係数が非常に小さいため、eGaN FETには、パワーMOSFETに比べて、今日の高性能アプリケーションに必要な大きな利点があります。高い電子密度は優れた $R_{DS(on)}$ につながり、正の温度係数はチップ内のホットスポットの生成を抑制し、優れた安全動作領域 (SOA) 能力をもたらします。並列デバイスを共通のヒートシンクに実装すると、eGaN FETにさらなる利点加わります。温度係数ゼロを超える正の温度係数の領域があるため、電流が共有される傾向があり、安定化のための抵抗の要件が軽減されます。

参考文献

- [1] Worman, J., "New Generation Power MOSFETs and Safe Operating Area" PCIM proceedings, Chicago, 2002.
- [2] Schoiswohi, J., "Linear Mode Operation and Safe Operating Area of Power-MOSFETs," Applications Note, AP99007, Infineon, V0.92, 2010.
- [3] Ronan, H. R., Jr., "Thermal Current Focusing in Power MOSFETs" PCIM, Aug. 1998.
- [4] http://www.infineon.com/dgdl/BSB056N10NN3+G_Rev+2.5.pdf?folderId=db3a304313b8b5a60113cee8763b02d7&fileId=db3a30442e152e91012e390b9a631459