SiC MOSFET モジュールの特性

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

目次

1. SiC MOSFET モジュール 4
1.1. 対象製品 4
1.2. SiC MOSFET モジュールの型名構成 5
2. 絶対最大定格 6
2.1. ドレイン・ソース間電圧 V_{DSS} 7
2.2. ゲート・ソース間電圧 V_{GSS} 7
2.3. ドレイン電流 I_D,I_{DP} 7
2.4. 許容損失 P_D 7
2.5. ソース電流 I_S,I_{SP} 7
2.6. チャネル温度 T_{ch} 7
2.7. 保存温度 T_{stg} 7
2.8. 絶縁耐圧 V_{isol} 7
2.9. 絶縁耐圧（電極端子-サーミスター端子間） $V_{isol(therm)}$ 7
2.10. 締め付けトルク TOR 8
3. 熱抵抗特性 9
3.1. 熱抵抗(チャネル-ケース間) $R_{th(ch-c)}$ 9
3.2. 熱抵抗(ケース-フィン間) $R_{th(c-f)}$ 10
4. 静特性 11
4.1. ゲート・ソース間漏れ電流 I_{GSS} 12
4.2. ドレイン・ソース間遮断電流 I_{DSS} 12
4.3. ゲートしきい値電圧 V_{th} 12
4.4. ドレイン・ソース間オン電圧（センス端子） $V_{DS(on)sense}$ 12
4.5. ドレイン・ソース間オン電圧（主端子） $V_{DS(on)terminal}$ 13
4.6. ソース・ドレイン間オン電圧（センス端子） $V_{SD(on)sense}$ 13
4.7. ソース・ドレイン間オン電圧（主端子） $V_{SD(on)terminal}$ 13
4.8. ソース・ドレイン間オフ電圧（センス端子） $V_{SD(off)sense}$ 13
4.9. ソース・ドレイン間オフ電圧（主端子） $V_{SD(off)terminal}$ 14
4.10. 容量特性 C_{iss}, C_{oss}, C_{rss} 14

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

4.11. ゲート内部抵抗 r_{ig} 15
4.12. ゲート電荷容量特性 Q_g 15
5. 動特性（スイッチング特性） 16
5.1. スイッチング時間（ターンオン遅延時間） $t_{d(on)}$ 17
5.2. スイッチング時間（上昇時間）t_r 17
5.3. スイッチング時間（ターンオン時間）t_{on} 17
5.4. スイッチング時間（ターンオフ遅延時間）$t_{d(off)}$ 18
5.5. スイッチング時間（下降時間） t_f 18
5.6. スイッチング時間（ターンオフ時間）t_{off} 18
5.7. ターンオンスイッチング損失 E_{on} 18
5.8. ターンオフスイッチング損失 E_{off} 19
6. 動特性（逆回復特性） 20
6.1. 逆回復時間 t_{rr} 20
6.2. 逆回復損失 E_{rr} 21
7. 寄生インダクタンス L_{sPN} 22
8. 電流センス用インダクタンス L_{sCS} 22
9. サーミスター 23
10. 安全動作領域 24
10.1. 逆バイアス安全動作領域 RBSOA 24
製品取り扱い上のお願い 25

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

1. SiC MOSFET モジュール

1.1. 対象製品

本アプリケーションノートの対象は表 1.1.1 に記載の製品です。

表 1.1.1 本アプリケーションノートの対象製品

品名	ドレイン・ソース電圧 絶対最大定格 (V_{DSS})	電流定格 (I_D)	ゲート・ソース電圧 絶対最大定格 (V_{GSS})	推奨ゲート駆動 電圧 ($+V_{GG}/-V_{GG}$)
MG600Q2YMS3	1200V	600A	+25V/-10V	+20V/-6V
MG400Q2YMS3	1200V	400A	+25V/-10V	+20V/-6V
MG400V2YMS3	1700V	400A	+25V/-10V	+20V/-6V
MG250V2YMS3	1700V	250A	+25V/-10V	+20V/-6V
MG250YD2YMS3	2200V	250A	+25V/-10V	+20V/-6V
MG800FXF2YMS3	3300V	800A	+25V/-10V	+20V/-6V
MG800FXF1JMS3	3300V	800A	+25V/-10V	+20V/-6V
MG800FXF1ZMS3	3300V	800A	+25V/-10V	+20V/-6V

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

1.2. SiC MOSFET モジュールの型名構成

SiC MOSFET モジュールの型名は図 1.2.1 の内容で構成されます。

MG	600	Q	2	Y	M	S	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)

図 1.2.1 SiC MOSFET モジュールの型名

(1) モジュールを表す記号
(2) 電流定格の数値 (アンペア単位)
(3) ドレイン・ソース間電圧（V_{DSS} ）を表す記号（表 1.2.2）
(4) スイッチング素子の搭載数
(5) 内部回路構成を表す記号（表 1.2.3）
(6) Nch MOSFET を表す記号
(7) SiC を表す記号
(8) 追番

表 1.2.2 ドレイン・ソース間電圧（V_{DSS} ）を表す記号

記号	ドレイン・ソース間電圧（V_{DSS} ）
Q	1200V
V	1700V
YD	2200V
FXF	3300V

表 1.2.3 回路構成を表す記号

記号	内部回路構成
Y	デュアル（ハーフブリッジ）
J	Low-side MOS チョッパー (High-side: SBD、Low-side: MOSFET)
Z	High-side MOS チョッパー (High-side: MOSFET、Low-side: SBD)

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

2. 絶対最大定格

絶対最大定格とは、瞬時といえども動作中に超えてはならない項目として、それぞれ規定されています。

SiC MOSFETに流し得る電流や、印加可能な電圧などの最大許容値は、絶対最大定格値として定められています。

回路を設計する上で絶対最大定格をよく認識することは、目標とする稼働時間に十分高い信頼度で動作させる上からも、非常に大切なことです。

回路設計においては供給電圧の変動、電気部品の特性のバラつき、回路調整時の状態、周囲温度の変化や入力信号の変動などに注意し、絶対最大定格の１つでも超えることは避けなければなりません。

製品の使用条件(使用温度、電流、電圧等)が絶対最大定格以内での使用においても信頼性を確保するために、ディレーティングを考慮した適切な信頼性設計をお願いします。

表 2.1 絶対最大定格

項目	記号	説明
ドレイン・ソース間電圧	V_{DSS}	ゲート・ソース間を短絡した状態で、ドレイン・ソース間に許容される電圧の最大値です。
ゲート・ソース間電圧	V_{GSS}	ドレイン・ソース間を短絡した状態で、ゲート・ソース間に許容される電圧の最大値です。
ドレイン電流(DC)	I_D	直流動作において許容される、ドレイン電流の最大値です。
ドレイン電流 (パルス)	I_{DP}	パルス動作において許容される、ドレイン電流の最大ピーク値です。
ドレイン許容損失	P_D	許容される損失の最大値です。
ソース電流 (DC)	I_S	直流動作において許容される、ソース電流の最大値です。
ソース電流 (パルス)	I_{SP}	パルス動作において許容される、ソース電流の最大ピーク値です。
チャネル温度	T_{ch}	SiC MOSFET の動作が許容される、チップ温度の最大値です。
保存温度	T_{stg}	SiC MOSFET に電圧を印加しない状態で保存できる温度範囲です。
絶縁耐圧	V_{isol}	ベース板と電極端子の間の絶縁耐圧の最大値です。
絶縁耐圧 (電極端子-サーミスター端子間)	$V_{isol(therm)}$	サーミスター端子とそれ以外の端子間の絶縁耐圧の最大値です。
締め付けトルク	TOR	ねじを回して締め付けるときに回転方向に回す力の、最大値です。

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

2.1. ドレイン・ソース間電圧 V_{DSS}

SiC MOSFET のゲート・ソース間短絡した状態で、ドレイン・ソース間に許容される電圧の最大値です。絶対最大定格以上の電圧が加わると、ブレークダウン領域に入って SiC MOSFET が故障するリスクがあります。 また、ゲート・ソース間はオープン状態で使用しないでください。SiC MOSFET は入力インピーダンスが高いため、外来ノイズなどでゲート・ソース間がバイアスされ“オン”状態に陥ると、素子の特性劣化や破壊をまねく恐れがあります。

2.2. ゲート・ソース間電圧 V_{GSS}

SiC MOSFET のドレイン・ソース間を短絡した状態で、ゲート・ソース間に許容される電圧の最大値です。 この絶対最大定格はゲート酸化膜の耐量に起因しますが、実用的な電圧あるいは信頼性を考慮して、その値を定めています。

SiC MOSFET の V_{GSS} は正負で異なります。データシートを参照し、設計の際にはノイズ等でゲート・ソース間電圧が絶対最大定格を超えないようにしてください。

2.3. ドレイン電流 I_D,I_{DP}

SiC MOSFET は理想的な放熱条件下で、ドレインからソースの方向（順方向）に直流印加できる電流 I_D 、パルスで流し得る電流 I_{DP} を規定しています。しかし、実際に流すことができる電流は放熱条件によって上限が決まります。チャネル温度が T_{ch} を超えない電流値を設定し、その電流値以下で使用してください。

2.4. 許容損失 P_D

規定の放熱条件において、SiC MOSFET に連続的に消費させることのできる損失の最大値です。許容損失は使用条件（周囲温度、放熱条件）によって変わります。チャネル温度が T_{ch} を超えない条件で使用してください。

2.5. ソース電流 I_S,I_{SP}

ドレイン電流同様、SiC MOSFET は理想的な放熱条件下で、ソースからドレインの方向（逆方向）に直流印加できる電流 I_S 、パルスで流し得る電流 I_{SP} を規定しています。しかし、実際に流すことができる電流は放熱条件によって上限が決まります。チャネル温度が T_{ch} を超えない電流値を設定し、その電流値以下で使用してください。

2.6. チャネル温度 T_{ch}

SiC MOSFET のチャネルに許容される最も高い温度です。

2.7. 保存温度 T_{stg}

SiC MOSFET を動作させない（電圧を印加しない状態）で保存し得る温度範囲です。

2.8. 絶縁耐圧 V_{isol}

ベース板と内部回路および端子の間の絶縁耐圧です。

2.9. 絶縁耐圧（電極端子-サーミスター端子間） $V_{isol(therm)}$

MG600Q2YMS3 と MG400V2YMS3 に適用される項目です。

サーミスター端子（1,2 番端子）とそれ以外の端子（P,N,AC,4,5,7,11,12 番端子）の間の絶縁耐圧を示すものです。

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

2.10. 締め付けトルク TOR

ねじを締める際の最大トルクです。TOR で規定されたトルク以下で締め付けてください。締め付けトルクが小さすぎるとねじがゆるみ、ねじの間でトルクが偏っていたり（片締め）、トルクが大きすぎたりすると SiC MOSFET モジュールが破損します。

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

3. 熱抵抗特性

熱抵抗は、熱の伝わりづらさを表す数値です。

半導体チップ内で発生した消費電力は熱となりチップからケースに伝わり、放熱器などを通して最終的には周囲空間に放熱されます。消費電力（P_w）を増やせば、温度上昇（ΔT）は大きくなります。

$\Delta T = R_{th} \times P_w$ の関係があり、このΔT とP$_w$ との比例係数R$_{th}$ を熱抵抗と呼びます。

表 3.1 熱抵抗特性

項目	記号	単位	説明
熱抵抗（チャネル-ケース間）	$R_{th(ch-c)}$	K/W	チャネルとケースの間が熱飽和状態の時の熱抵抗です。
熱抵抗（ケース-フィン間）	$R_{th(c-f)}$	K/W	ケースとフィン（ヒートシンク）の間の熱抵抗です。

3.1. 熱抵抗(チャネル-ケース間) $R_{th(ch-c)}$

チャネルとケースの間が熱飽和状態の時、チャネル温度とケース温度の差$\Delta T_{(ch-c)}$はチャネル-ケース間の熱抵抗 $R_{th(ch-c)}$とP_wを用いて(3.1.1)で表されます。$R_{th(ch-c)}$は SiC MOSFET 素子 1 個（データシートでは 1/2 モジュールと表記）に対する値であることに気を付けてください。

$$\Delta T_{(ch-c)} = R_{th(ch-c)} \times P_W \qquad \cdots(3.1.1)$$

熱的飽和状態ではない場合の熱抵抗を過渡熱抵抗($r_{th(ch-c)}$)と言います。過渡熱抵抗は熱容量の影響がある場合の熱抵抗であり、時間の関数です。図 3.1.2 に過渡熱抵抗と時間 t 関係の例を示します。

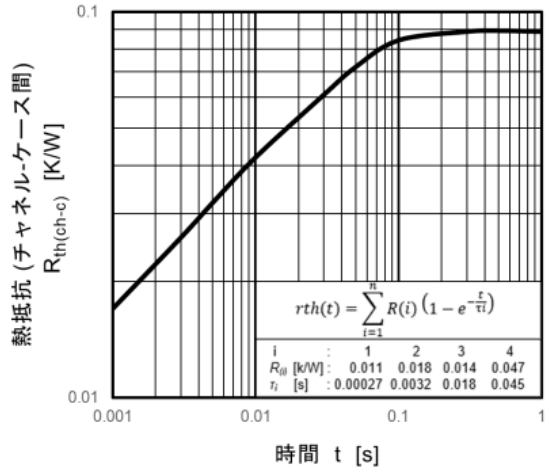


図 3.1.2 $r_{th(ch-c)}$ - t 特性の例

$r_{th(ch-c)}$ は時間 t の関数として式 (3.1.3) 表されます．ここで $R(i)$ is は物質中の熱の伝達しやすさを表すパラメーターで．τi は熱の伝達時間に関連するパラメーターです

$$rth(t) = \sum_{i=1}^{n} R(i)(1 - e^{-\frac{t}{\tau i}}) \qquad \cdots(3.1.3)$$

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

3.2. 熱抵抗(ケース-フィン間) $R_{th(c-f)}$

ケース温度とフィン温度の差$\Delta T_{(c-f)}$はチャネル-ケース間の熱抵抗 $R_{th(c-f)}$と P_W を用いて式(3.2.1)であらわされます。$R_{th(c-f)}$ は SiC MOSFET モジュール 1 個（SiC MOSFET モジュール 1 個は SiC MOSFET 素子を 2 個搭載している）に対する値であることに注意してください。

$$\Delta T_{(c-f)} = R_{th(c-f)} \times P_W \quad \cdots(3.2.1)$$

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

4. 静特性

SiC MOSFET のデータシートで規定している電気的特性のうち、静特性を説明します。値は特に指定のない場合 T_c = 25°C での値です。

表 4.1 静特性

項目	記号	説明
ゲート・ソース間漏れ電流	I_{GSS}	データシート記載の測定条件下でゲート・ソース間に流れる電流です。
ドレイン・ソース間遮断電流	I_{DSS}	データシート記載の測定条件下でドレイン・ソース間に流れる電流です。
ゲートしきい値電圧	V_{th}	ドレイン・ソース間に電流が流れる最小ゲート電圧の指標で、データシートに記載の測定条件下のゲートとソースの間の電圧です。
ドレイン・ソース間オン電圧 (センス端子)	$V_{DS(on)sense}$	データシート記載の測定条件下でドレインからソースの方向に電流が流れるときの、ドレインセンス端子とソースセンス端子の間の電圧です。
ドレイン・ソース間オン電圧 (主端子)	$V_{DS(on)terminal}$	データシート記載の測定条件下でドレインからソースの方向に電流が流れるときの、ドレイン主端子とソース主端子の間の電圧です。
ソース・ドレイン間オン電圧 (センス端子)	$V_{SD(on)sense}$	データシート記載の測定条件下（ゲート正バイアス）でソースからドレインの方向に電流が流れるときの、ソースセンス端子とドレインセンス端子の間の電圧です。
ソース・ドレイン間オン電圧 (主端子)	$V_{SD(on)terminal}$	データシート記載の測定条件下（ゲート正バイアス）でソースからドレインの方向に電流が流れるときの、ソース主端子とドレイン主端子の間の電圧です。
ソース・ドレイン間オフ電圧 (センス端子)	$V_{SD(off)sense}$	データシート記載の測定条件下（ゲート負バイアス）でソースからドレインの方向に電流が流れるときの、ソースセンス端子とドレインセンス端子の間の電圧です。
ソース・ドレイン間オフ電圧 (主端子)	$V_{SD(off)terminal}$	データシート記載の測定条件下（ゲート負バイアス）でソースからドレインの方向に電流が流れるときの、ソース主端子とドレイン主端子の間の電圧です。
入力容量	C_{iss}	ゲートから見た SiC MOSFET 全体の電気容量で、スイッチング性能に影響を及ぼします。
ゲート内部抵抗	r_{ig}	SiC MOSFET モジュールのゲート内部抵抗です

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

4.1. ゲート・ソース間漏れ電流 I_{GSS}

ドレイン・ソース間を短絡した状態で、ゲート・ソース間に規定の電圧を印加したときの漏れ電流です。
印加電圧の向きによって正負があります。

4.2. ドレイン・ソース間遮断電流 I_{DSS}

ゲート・ソース間を短絡した状態で、ドレイン・ソース間に規定の電圧を印加したときの漏れ電流です。

4.3. ゲートしきい値電圧 V_{th}

ドレイン・ソース間に電流を流すための最小ゲート電圧の指標で、データシートに記載の測定条件下のゲートとソースの間の電圧です。V_{th} は負の温度特性を持っており、高温環境下では低下します。V_{th} が低下すると低いゲート電圧でオンしやすくなります。使用範囲の温度すべての領域においてノイズなどで誤動作しないことの確認が必要です。

4.4. ドレイン・ソース間オン電圧（センス端子）$V_{DS(on)sense}$

データシート記載の測定条件下でドレインからソースの方向に電流が流れるときの、ドレインセンス端子とソースセンス端子の間の電圧です。

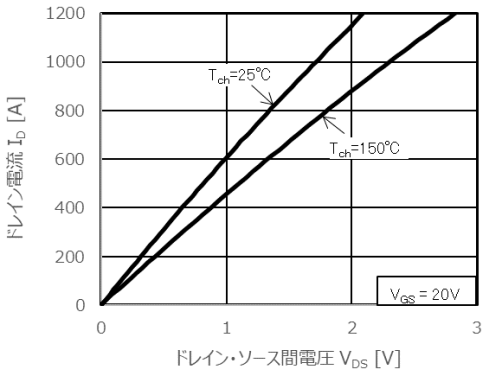


図 4.4.1 I_D-$V_{DS(on)sense}$ 特性の例

$V_{DS(on)sense}$ の値はゲート電圧依存性があります。正バイアス側ゲート電圧＋V_{GS} が低くなると V_{DS} が上昇して発熱が大きくなり素子破壊につながります。＋V_{GS} は＋15V 以上で使用してください。

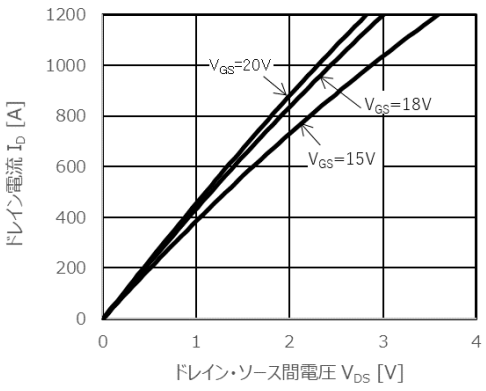


図 4.4.2 I_D-$V_{DS(on)sense}$ 特性のゲート電圧依存性の例

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

4.5. ドレイン・ソース間オン電圧（主端子）$V_{DS(on)terminal}$

データシート記載の測定条件下でドレインからソースの方向に電流が流れるときの、ドレイン主端子とソース主端子の間の電圧です。

4.6. ソース・ドレイン間オン電圧（センス端子）$V_{SD(on)sense}$

データシート記載の測定条件下（ゲート正バイアス）でソースからドレインの方向に電流が流れるときの、ソースセンス端子とドレインセンス端子の間の電圧です。

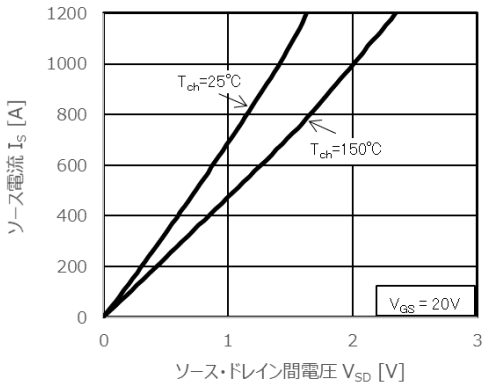


図 4.6.1 I_S-$V_{SD(on)sense}$ 特性の例(V_{GS}:正バイアス)

4.7. ソース・ドレイン間オン電圧（主端子）$V_{SD(on)terminal}$

データシート記載の測定条件下（ゲート正バイアス）でソースからドレインの方向に電流が流れるときの、ソース主端子とドレイン主端子の間の電圧です。

4.8. ソース・ドレイン間オフ電圧（センス端子）$V_{SD(off)sense}$

データシート記載の測定条件下（ゲート負バイアス）でソースからドレインの方向に電流が流れるときの、ソースセンス端子とドレインセンス端子の間の電圧です。

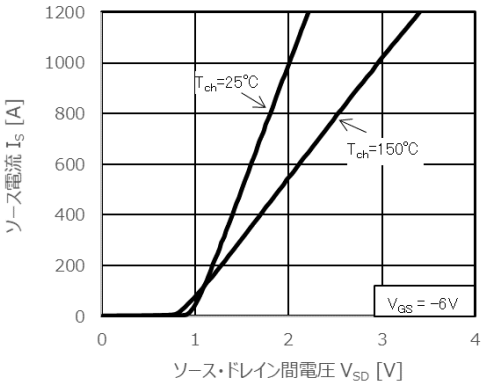


図 4.8.1 I_S-$V_{SD(off)sense}$ 特性の例(V_{GS}:負バイアス)

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

4.9. ソース・ドレイン間オフ電圧（主端子）$V_{SD(off)terminal}$

データシート記載の測定条件下（ゲート負バイアス）でソースからドレインの方向に電流が流れるときの、ソース主端子とドレイン主端子の間の電圧です。

4.10. 容量特性 C_{iss}, C_{oss}, C_{rss}

SiC MOSFET は、ゲートが酸化膜で絶縁されている構造であるため、ドレイン、ゲート、ソースの各端子間には、図 4.10.1 に示すような静電容量が存在します。

ゲート・ドレイン間の静電容量 C_{gd} とゲート・ソース間の静電容量 C_{gs} は、主にゲート電極の構造から決定し、ドレイン・ソース間は縦方向構造に基づく PN 接合容量により静電容量 C_{ds} が決定されます。

入力容量 C_{iss} 、出力容量 C_{oss} 、帰還容量 C_{rss} はそれぞれ $C_{iss} = C_{gd} + C_{gs}$、$C_{oss} = C_{ds} + C_{gd}$、$C_{rss} = C_{gd}$ で算出されます。C_{iss} 、C_{oss} 、C_{rss} はドレインとソースの間の電圧 V_{DS} に対して依存性があります(図 4.10.2)。SiC MOSFET のスイッチング特性にとって容量特性は重要な特性です。

SiC MOSFET のスイッチング特性は、主に入力容量 C_{iss} とゲートドライブ回路の出力インピーダンスにより変化します。スイッチング中に C_{iss} を充電するためにゲート電流が流れますが、ゲートドライブ回路の出力インピーダンスが低いほどゲート電流が大きくなり、スイッチング時間は速くなります。

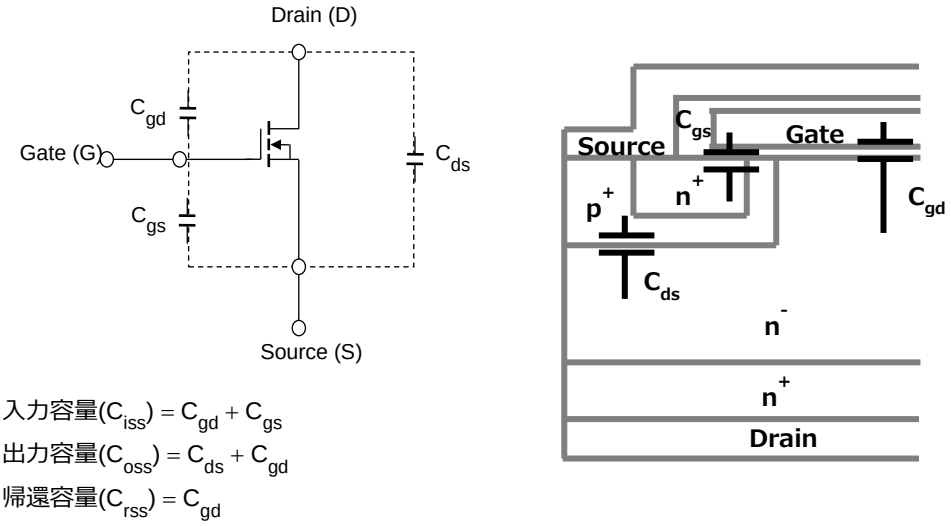


図 4.10.1 静電容量等価回路

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

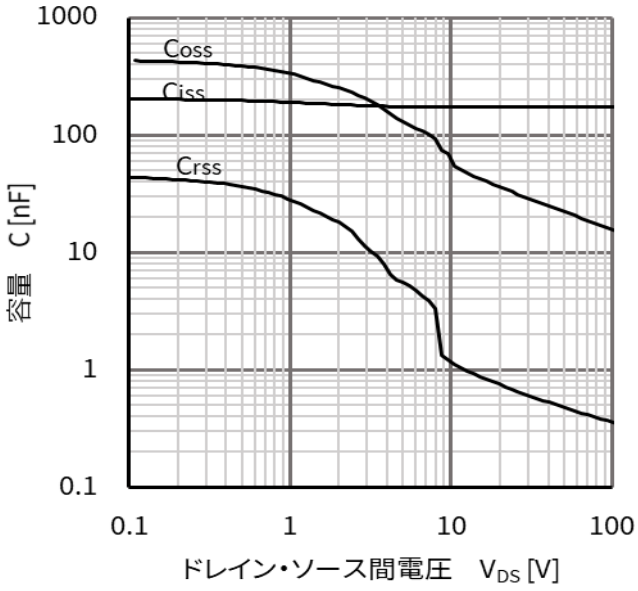


図 4.10.2 C_{iss},C_{oss},C_{rss} - V_{DS} の特性の例

4.11. ゲート内部抵抗 r_{ig}

r_{ig} は SiC MOSFET モジュール内部のゲート抵抗値です。r_{ig} はゲートドライバーを設計する際に使用します。詳しくは SiC MOSFET アプリケーションノート ゲートドライブ 2 章 ゲートドライブ回路 を参照してください。

4.12. ゲート電荷容量特性 Q_g

Q_g はゲート電圧 V_{GS} の変化に応じてゲートに蓄積される電荷量です。ゲートドライブ電圧が−V_{GG} から +V_{GG} まで変化する間にゲートに蓄積される電荷量 Q_{gtotal} は図 4.12.1 を使って読み取ります。V_{GS}-Q_g 特性はそれぞれの製品のデータシートを参照してください。Q_{gtotal} の値はゲートドライバーの設計に使用します。詳細は SiC MOSFET モジュールアプリケーションノートゲートドライブ第 2 章の「ゲートドライブ回路」を参照してください。

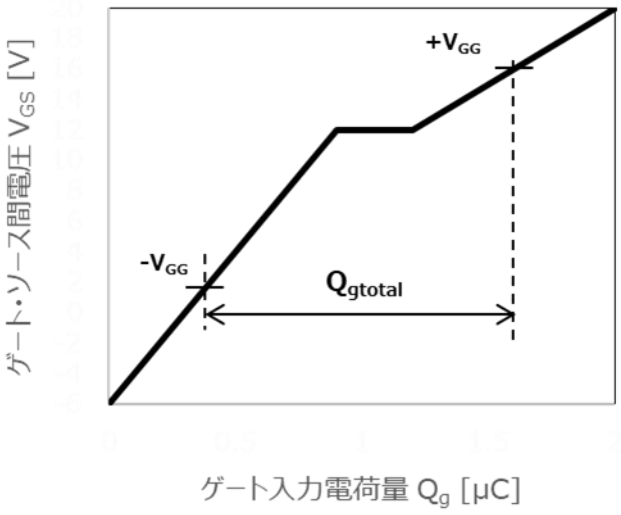


図 4.12.1 V_{GS}-Q_g 特性を使った Q_{gtotal} の読み取り方

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

5. 動特性（スイッチング特性）

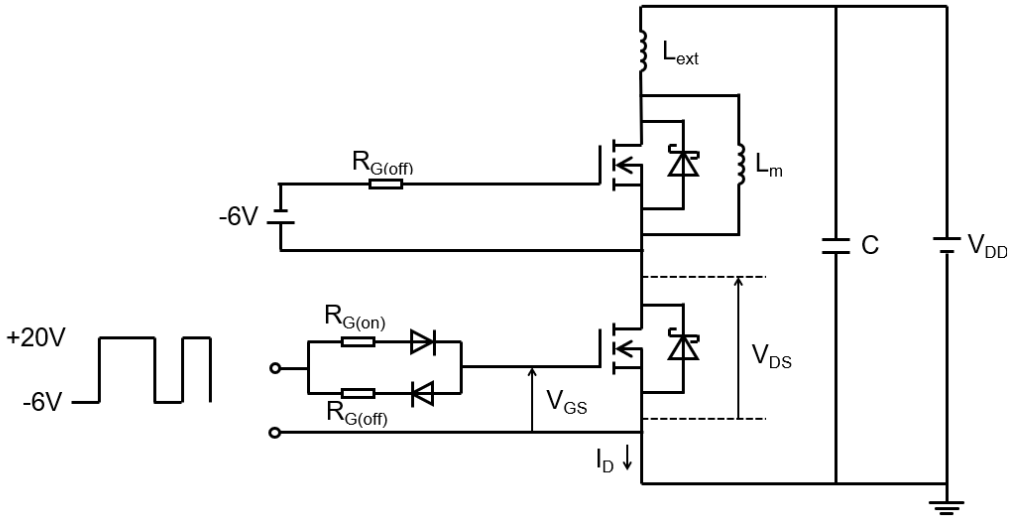
SiC MOSFET のデータシートで規定している電気的特性のうち、スイッチング特性を説明します。

表 5.1 動特性（スイッチング）

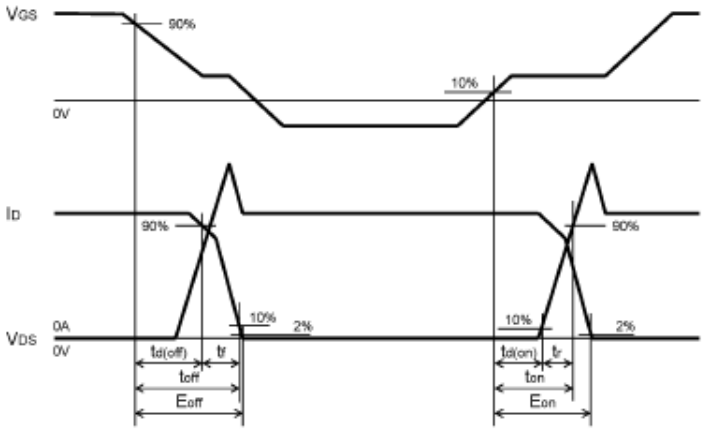
項目	記号	説明
スイッチング時間（ターンオン遅延時間)	$t_{d(on)}$	ターンオン時に、ゲートとソースの間の電圧が設定電圧の 10%に達してから、ドレイン電流が設定電流の 10%に上昇するまでの時間です。
スイッチング時間（上昇時間)	t_r	ターンオン時に、ドレイン電流が設定電流の 10%から 90%に上昇するまでの時間です。
スイッチング時間（ターンオン時間)	t_{on}	ターンオン時に、ゲートとソースの間の電圧が設定電圧の 10%に達してから、ドレイン電流が設定電流の 90%に上昇するまでの時間で、$t_{d(on)}$と t_r の和です。
スイッチング時間（ターンオフ遅延時間)	$t_{d(off)}$	ターンオフ時に、ゲートとソースの間の電圧が設定電圧の 90%に達してから、ドレイン電流が設定電流の 90%に下降するまでの時間です。
スイッチング時間（下降時間)	t_f	ターンオフ時に、ドレイン電流が設定電流の90%から10%に下降するまでの時間です。
スイッチング時間（ターンオフ時間)	t_{off}	ターンオフ時に、ゲートとソースの間の電圧が設定電圧の 90%に達してから、ドレイン電流が設定電流の 10%に下降するまでの時間で、$t_{d(off)}$と t_f の和です。
ターンオンスイッチング損失	E_{on}	ターンオン時にゲートとソースの間の電圧が設定電圧の 10%に達してから、ドレインとソースの間の電圧が設定電圧値の 2%まで下降する期間に発生する損失です。
ターンオフスイッチング損失	E_{off}	ターンオフ時にゲートとソースの間の電圧設定電圧の 90%に達してから、ドレイン電流が設定電流値の 2%まで下降する期間に発生する損失です。

スイッチング測定回路と、項目の定義を図 5.2 に示します。

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation



a)スイッチング特性測定回路（誘導負荷、ローサイドスイッチングの例）



b) スイッチングタイミングチャート

図 5.2 スイッチング測定回路、スイッチング波形とスイッチング項目の定義

5.1. スイッチング時間（ターンオン遅延時間） $t_{d(on)}$

ターンオン時に、ゲートとソースの間の電圧が設定電圧の 10%に達してから、ドレイン電流が設定電流の 10%に上昇するまでの時間です。ゲート抵抗 $R_{G(on)}$の影響を大きく受け、$R_{G(on)}$が大きくなると長くなります。

5.2. スイッチング時間（上昇時間）t_r

ターンオン時に、ドレイン電流が設定電流の 10%から 90%まで上昇するまでの時間です。ゲート抵抗 $R_{G(on)}$の影響を大きく受け、$R_{G(on)}$が大きくなると長くなります。

5.3. スイッチング時間（ターンオン時間）t_{on}

ターンオン時に、ゲートとソースの間の電圧が設定電圧の 10%に達してから、ドレイン電流が設定電流の 90%に上昇するまでの時間で、 $t_{d(on)}$と t_rの和です。

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

5.4. スイッチング時間（ターンオフ遅延時間）$t_{d(off)}$

ターンオフ時に、ゲートとソースの間の電圧が設定電圧の 90%に達してから、ドレイン電流が設定電流の 90%に下降するまでの時間です。ゲート抵抗 $R_{G(off)}$の影響を大きく受け、$R_{G(off)}$が大きくなると長くなります。

5.5. スイッチング時間（下降時間） t_f

ターンオフ時に、ドレイン電流が設定電流の 90%から 10%に下降するまでの時間です。ゲート抵抗 $R_{G(off)}$の影響を大きく受け、$R_{G(off)}$が大きくなると長くなります。

5.6. スイッチング時間（ターンオフ時間）t_{off}

ターンオフ時に、ゲートとソースの間の電圧が設定電圧の90%に達してから、ドレイン電流が設定電流の10%に下降するまでの時間で、$t_{d(off)}$とt_fの和です。

5.7. ターンオンスイッチング損失 E_{on}

ターンオン時にゲートとソースの間の電圧が設定電圧の 10%に達してから、ドレインとソースの間の電圧が設定電圧値の 2%まで下降する期間に発生する損失で温度依存があります。
E_{on} はゲート抵抗 $R_{G(on)}$の影響を大きく受け、$R_{G(on)}$が大きくなると増加します。

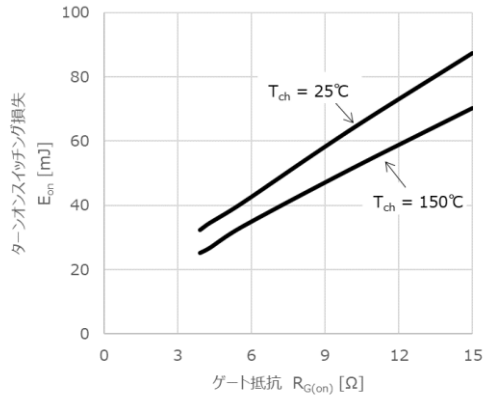


図 5.7.1 E_{on}-$R_{G(on)}$特性の例

ターンオン電流 I_D が大きくなると、E_{on} が増加します。

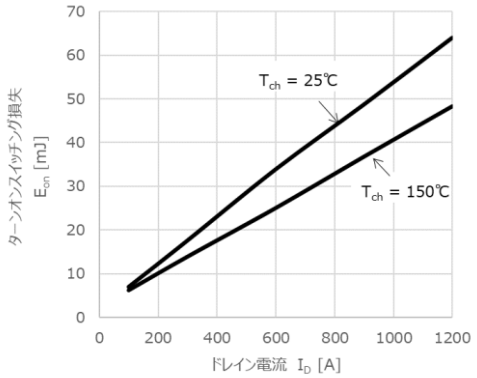


図 5.7.2 E_{on} -I_D 特性の例

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

5.8. ターンオフスイッチング損失 E_{off}

E_{off}はターンオフ時にゲートとソースの間の電圧が下降して設定電圧の 90%になった時から、ドレイン電流が初期電流値の 2%まで下降する期間に発生する損失で温度依存があります。
E_{off} はゲート抵抗 $R_{G(off)}$の影響を大きく受け、$R_{G(off)}$が大きくなると増加します。

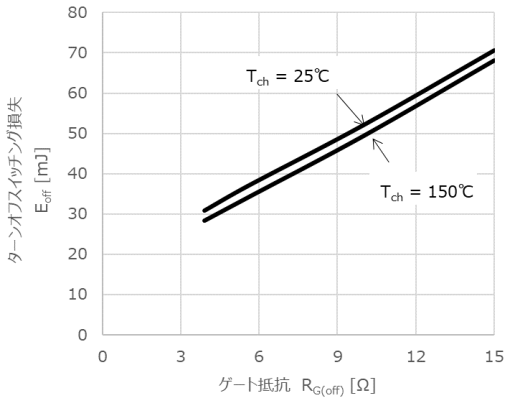


図 5.8.1 E_{off}-$R_{G(off)}$特性の例

ターンオフ電流 I_D が大きくなると、E_{off} が増加します。

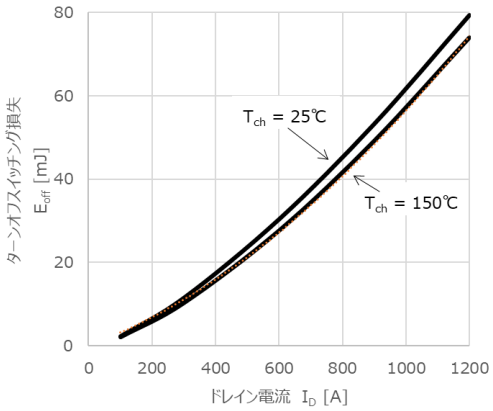


図 5.8.2 E_{off}-I_D 特性の例

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

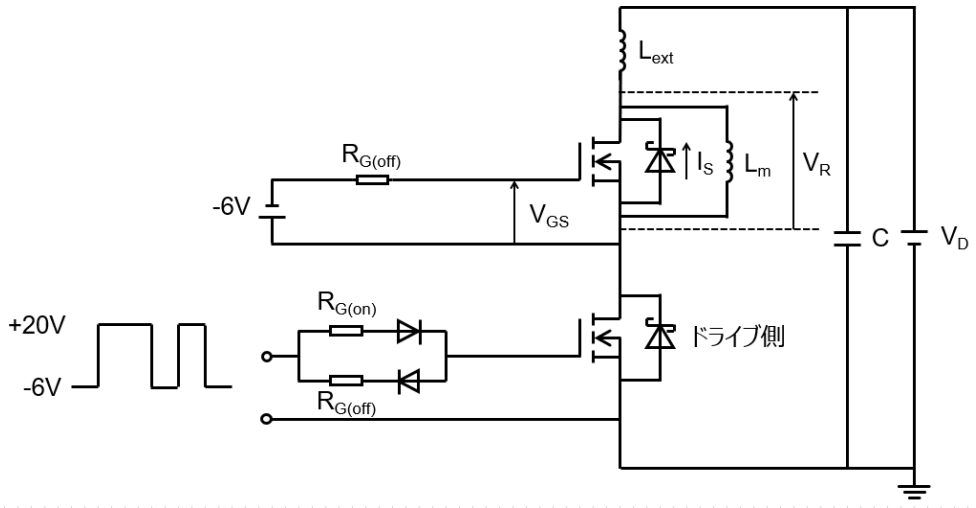
6. 動特性（逆回復特性）

SiC MOSFET のデータシートで規定している電気的特性のうち、逆回復特性を説明します。

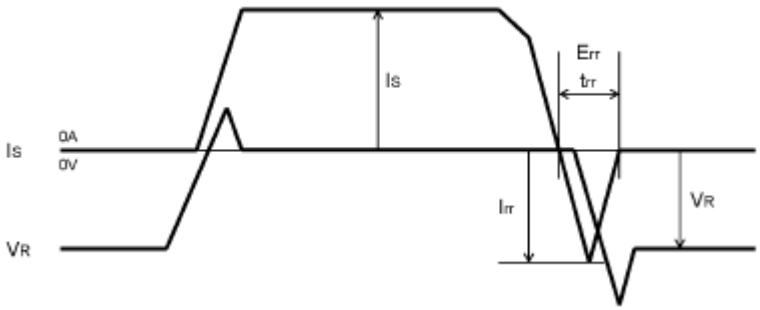
表 6.1 動特性（逆回復特性）

項目	記号	説明
逆回復時間	t_{rr}	逆回復の過程でドレインからソース方向に電流が流れ始めてからゼロになるまでの時間です。
逆回復損失	E_{rr}	逆回復の過程でドレインからソース方向に電流が流れ始めてからゼロになるまでに発生する損失です。

逆回復測定回路と、項目の定義を図 6.2 に示します。



a) 逆回復測定回路（誘導負荷、ローサイド逆回復の例）



b) 逆回復タイミングチャート

図 6.2 逆回復測定回路、逆回復波形と逆回復項目の定義

6.1. 逆回復時間 t_{rr}

逆回復時間 t_{rr} は 逆回復の過程でドレインからソース方向に電流が流れ始めてからゼロになるまでの時間です。

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

6.2. 逆回復損失 E_{rr}

逆回復損失 E_{rr} は逆回復の過程でドレインからソース方向に電流が流れ始めてからゼロになるまでに発生する損失で温度依存性があります。
E_{rr} はドライブ側 SiC MOSFET の $R_{G(on)}$の影響を強く受けます。

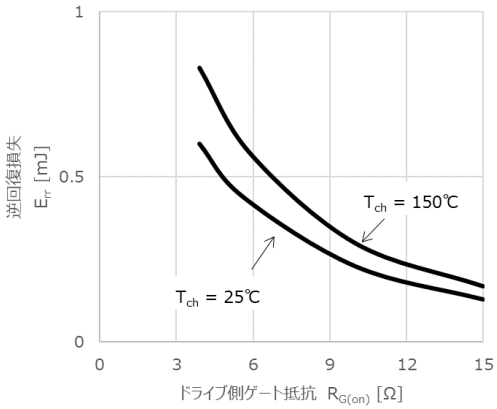


図 6.2.1 E_{rr}-ドライブ側 SiC MOSFET の $R_{G(on)}$特性の例

逆回復損失 E_{rr} はソース電流 I_S と相関があります。

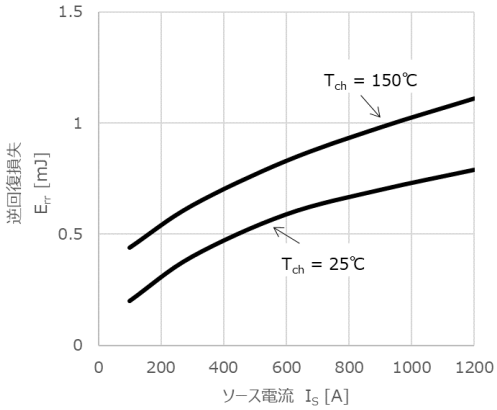


図 6.2.2 E_{rr}-I_s 特性の例

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

7. 寄生インダクタンス L_{sPN}

表 7.1 寄生インダクタンス

項目	記号	単位	説明
寄生インダクタンス	L_{sPN}	nH	P 電極と N 電極の間のパッケージインダクタンスです。

P 電極と N 電極の間のパッケージのインダクタンスです。寄生インダクタンスが大きいとターンオフ時のピーク電圧が大きくなり、「10.1 逆バイアス安全動作領域」に記載の領域を超えると素子破壊のリスクがあります。

8. 電流センス用インダクタンス L_{sCS}

MG800FXF2YMS3,MG800FXF1JMS3,MG800FXF1ZMS3 に適用される項目です

表 8.1 電流センス用インダクタンス

項目	記号	単位	説明
電流センス用インダクタンス	L_{sPN}	nH	1 番端子と 8 番端子の間のインダクタンスです。

電流センス用インダクタンス L_{sCS} を使用して下アームの素子に流れる電流の時間変化を検出することができます。下アーム素子の電流 I_D の時間変化 dI_D/dt と電流センス用インダクタンスの両端（1 端子・8 端子間）の電圧 V_{LS} の間には式(8.2)の関係があります。

$$V_{LS} = -L_{sCS}\frac{dI_D}{dt} \cdots (8.2)$$

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

9. サーミスター

表 9.1 サーミスター特性

項目	記号	単位	説明
サーミスター定格抵抗	R	Ω	指定の温度におけるサーミスターの抵抗値です。
サーミスター B 定数	B	K	サーミスターの温度と抵抗値の関係式で使用される係数です。

温度検知用サーミスターを使って SiC MOSFET モジュールの温度をモニターすることができます。サーミスターの絶対温度 T は、サーミスターの抵抗値 $R_{(T)}$とデータシートに記載のサーミスターB 定数とサーミスター定格抵抗 R_{25} を用いて式(9.2)であらわすことができます。

$$R_{(T)} = R_{25} \exp B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298}\right) \cdots (9.2)$$

サーミスターは、チップから離れたところに搭載されている、およびサーミスター自体に熱容量があることから、短時間に温度が上昇する短絡検出などの過渡域での温度計測はできません。

サーミスターは定格内で使用してください。サーミスターの定格電圧は 7.1V、定格電流は 5mA（推奨電流 100μA）、定格電力 10mW、検出温度-40℃~150℃です。

図 9.3 にサーミスターの温度検出のための回路と出力電圧、電流の例を示します。

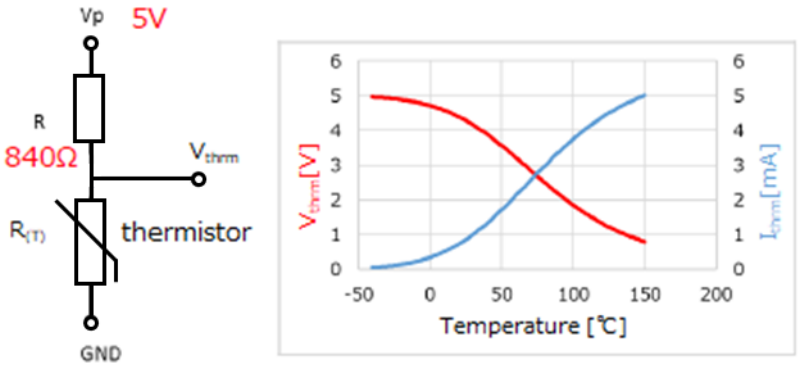


図 9.3 サーミスターの温度検出の回路と出力電圧、電流の例

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

10. 安全動作領域

SiC MOSFET モジュールの安全動作領域はシリコン（Si）IGBT の置き換えとして使われることを考慮して、Si IGBT と同様に逆バイアス安全動作領域で定義されます。

10.1. 逆バイアス安全動作領域 RBSOA

逆バイアス安全動作領域は、SiC MOSFETを安全に遮断（ターンオフ）できる電流と電圧の領域を示したものです。

SiC MOSFETがオン状態からオフ状態に遷移する過程で、回路と素子の寄生インダクタンスによりSiC MOSFETにサージ電圧が発生します。ターンオフの遮断電流とその際に発生するサージ電圧の動作軌跡が逆バイアス安全動作領域内に入るように設計（回路のインダクタンスの低減やサージ吸収回路の追加やターンオフ速度の緩和など）する必要があります。

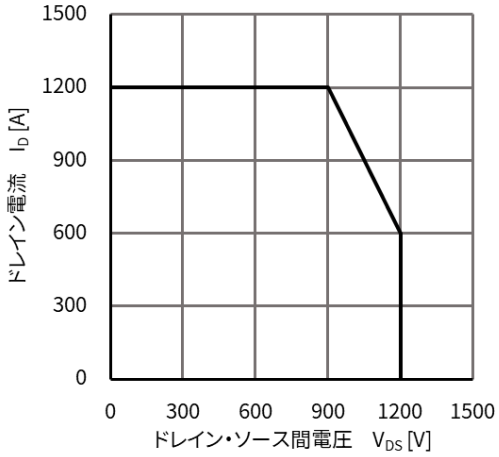


図 10.1.1 逆バイアス安全動作領域の例

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

製品取り扱い上のお願い

株式会社東芝およびその子会社ならびに関係会社を以下「当社」といいます。
本資料に掲載されているハードウエア、ソフトウエアおよびシステムを以下「本製品」といいます。

- 本製品に関する情報等、本資料の掲載内容は、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
- 文書による当社の事前の承諾なしに本資料の転載複製を禁じます。また、文書による当社の事前の承諾を得て本資料を転載複製する場合でも、記載内容に一切変更を加えたり、削除したりしないでください。
- 当社は品質、信頼性の向上に努めていますが、半導体・ストレージ製品は一般に誤作動または故障する場合があります。本製品をご使用頂く場合は、本製品の誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウエア・ソフトウエア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。なお、設計および使用に際しては、本製品に関する最新の情報（本資料、仕様書、データシート、アプリケーションノート、半導体信頼性ハンドブックなど）および本製品が使用される機器の取扱説明書、操作説明書などをご確認の上、これに従ってください。また、上記資料などに記載の製品データ、図、表などに示す技術的な内容、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例などの情報を使用する場合は、お客様の製品単独およびシステム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。
- 本製品は、特別に高い品質・信頼性が要求され、またはその故障や誤作動が生命・身体に危害を及ぼす恐れ、膨大な財産損害を引き起こす恐れ、もしくは社会に深刻な影響を及ぼす恐れのある機器（以下“特定用途”という）に使用されることは意図されていませんし、保証もされていません。特定用途には原子力関連機器、航空・宇宙機器、医療機器（ヘルスケア除く）、車載・輸送機器、列車・船舶機器、交通信号機器、燃焼・爆発制御機器、各種安全関連機器、昇降機器、発電関連機器などが含まれますが、本資料に個別に記載する用途は除きます。特定用途に使用された場合には、当社は一切の責任を負いません。なお、詳細は当社営業窓口まで、または当社 Web サイトのお問い合わせフォームからお問い合わせください。
- 本製品を分解、解析、リバースエンジニアリング、改造、改変、翻案、複製等しないでください。
- 本製品を、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用することはできません。
- 本資料に掲載してある技術情報は、製品の代表的動作・応用を説明するためのもので、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
- 別途、書面による契約またはお客様と当社が合意した仕様書がない限り、当社は、本製品および技術情報に関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をしておりません。
- 本製品、または本資料に掲載されている技術情報を、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用しないでください。また、輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守し、それらの定めるところにより必要な手続を行ってください。
- 本製品の RoHS 適合性など、詳細につきましては製品個別に必ず当社営業窓口までお問い合わせください。本製品のご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用ある環境関連法令を十分調査の上、かかる法令に適合するようご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は一切の責任を負いかねます。

東芝デバイス&ストレージ株式会社

https://toshiba.semicon-storage.com/jp/

© 2022 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation