

# SiC MOSFET

## 絶対最大定格 と 電気的特性

### 概要

SiC は、ケイ素 ( Si ) と炭素 ( C ) から構成される化合物半導体材料です。SiC 材料を用いた SiC MOSFET は、これまでの Si MOSFET よりも、高耐圧・低オン抵抗を実現できる新世代のパワーデバイスです。

本資料では、SiC MOSFET のデータシートに記載されている絶対最大定格と、電気的特性項目を中心に説明します。

## 目次

概要 .....	1
目次 .....	2
1. 絶対最大定格 .....	4
1.1. 絶対最大定格とは .....	4
1.2. 絶対最大定格 概要 .....	4
1.3. ドレイン・ソース間電圧 $V_{DSS}$ .....	5
1.4. ゲート・ソース間電圧 $V_{GSS}$ .....	5
1.5. ドレイン電流 $I_D$ .....	5
1.6. 許容損失 $P_D$ .....	6
1.7. アバランシエ電流 $I_{AS}$ 、アバランシエエネルギー $E_{AS}$ .....	7
1.8. チャネル温度 $T_{ch}$ 、保存温度 $T_{stg}$ .....	7
1.9. 絶縁耐圧 $V_{ISO(RMS)}$ .....	7
1.10. 締め付けトルク TOR .....	7
2. 熱抵抗特性 .....	8
2.1. 熱抵抗特性 概要 .....	8
2.2. 熱抵抗とは .....	8
2.3. 熱抵抗計算 .....	8
2.4. 過渡熱抵抗と時間の関係 .....	9
3. 安全動作領域 .....	10
3.1. 安全動作領域とは .....	10
3.2. 順バイアス安全動作領域 .....	10
3.3. 逆バイアス安全動作領域 .....	11
4. 電気的特性 .....	11
4.1. 静的特性 概要 .....	11
4.1.1. ゲート 漏れ電流 $I_{GSS}$ .....	12
4.1.2. ドレイン シャ断電流 $I_{DSS}$ .....	12
4.1.3. ドレイン・ソース間 降伏電圧 $V_{DSS}$ .....	12
4.1.4. ゲート しきい値電圧 $V_{th}$ .....	12
4.1.5. ドレイン・ソース間オン抵抗 $R_{DS(ON)}$ .....	13
4.2. 動的特性 概要 .....	13
4.2.1. 静電容量 $C_{iss}$ 、 $C_{rSS}$ 、 $C_{oss}$ .....	14
4.2.2. 出力容量 充電エネルギー $E_{oss}$ .....	15
4.2.3. ゲート抵抗 $r_g$ .....	15
4.2.4. スwitchング時間 $t_{d(on)}$ 、 $t_r$ 、 $t_{d(off)}$ 、 $t_{off}$ .....	15
4.2.5. スwitchング損失 $E_{on}$ 、 $E_{off}$ .....	16

4.3. ゲート電荷量特性 概要.....	16
4.3.1. ゲート電荷量 $Q_g$ 、 $Q_{gs1}$ 、 $Q_{gd}$ .....	17
4.3.2. ゲート電荷の算出方法.....	17
4.4. ソース・ドレイン間特性 概要.....	18
4.4.1. ダイオード特性.....	18
製品取り扱い上のお願い.....	20

## 図 目次

図 1.1 $P_D - T_c$ 特性例.....	6
図 2.1 $r_{th(ch-c)} - t_w$ 特性例.....	9
図 3.1 順バイアス 安全動作領域例.....	10
図 3.2 逆バイアス 安全動作領域例.....	11
図 4.1 $V_{DSS} - T_a$ 特性例.....	12
図 4.2 $V_{th} - T_a$ 特性例.....	12
図 4.3 $R_{DS(ON)} - T_a$ 特性例.....	13
図 4.4 静電容量 等価回路.....	14
図 4.5 $C - V_{DS}$ 特性例.....	14
図 4.6 $E_{oss} - V_{DS}$ 特性例.....	15
図 4.7 スwitchング時間測定回路と波形の定義.....	15
図 4.8 ゲート電荷量の定義.....	17
図 4.9 ゲート電荷量測定回路とゲート・ソース間電圧波形.....	17
図 4.10 $I_{DR} - V_{DS}$ 特性例 (内蔵 SBD の $I_F - V_F$ 特性を含む).....	18
図 4.11 ダイオード 逆回復特性の測定回路.....	19
図 4.12 ダイオード逆回復特性波形の定義.....	19

## 1. 絶対最大定格

### 1.1. 絶対最大定格とは

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、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最大定格をよく認識することは、SiC MOSFETを有効に働かせる上からも、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。

定格を超えて使用した場合、特性は回復しない場合もあります。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、回路調整時の最大定格オーバー、周囲温度の変化や入力信号の変動などに注意し、定格の1つでも超えることは避けなければなりません。

しかしながら、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、高負荷(高温および大電流、高電圧印加、多大な温度変化等)で連続して使用される場合は、信頼性が著しく低下するおそれがあります。そのため、信頼性を確保するために、デ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。

### 1.2. 絶対最大定格 概要

製品によって規定している項目が異なります。指定のない限り、測定条件は周囲温度  $T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$  になります。

項目	記号	単位	説明	
ドレイン・ソース間電圧	$V_{DSS}$	V	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	$V_{GSS}$	V	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	$I_D$	A	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。
	パルス	$I_{DP}$	A	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。
許容損失 ( $T_c=25^\circ\text{C}$ )	$P_D$	W	SiC MOSFET に許容される、損失の最大値です。	
アバランシェ電流	$I_{AS}$	A	アバランシェ状態で許容できる、最大ピーク電流(非繰り返し)です。	
アバランシェエネルギー	$E_{AS}$	mJ	アバランシェ降伏時の最大許容損失エネルギー(非繰り返し)です。	
チャネル温度	$T_{ch}$	$^\circ\text{C}$	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	$T_{stg}$	$^\circ\text{C}$	SiC MOSFET に電圧を印加しない状態で保存できる、温度の最大値です。	
絶縁耐圧	$V_{ISO(RMS)}$	V	パッケージの指定されたケース部分と電極端子間の、絶縁耐圧の最大値です。	
締め付けトルク	TOR	N·m	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。	

### 1.3. ドレイン・ソース間電圧 $V_{DSS}$

ゲート・ソース間短絡時のドレイン・ソース間電圧です、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 が故障する危険があります。また、ゲート・ソース間は、解放では使用しないでください。SiC MOSFET は入力インピーダンスが非常に高いため、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。これらの恐れがある場合には、ゲート・ソース間に並列にプルダウン抵抗を接続してください。

### 1.4. 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。

一般的に Si MOSFET の  $V_{GSS}$  絶対最大定格は、正負で同じ値を取りますが、SiC MOSFET の場合は、正負で異なる場合があります。設計の際には、ノイズ等で  $V_{GSS}$  絶対最大定格を超えない様にしてください。

### 1.5. ドレイン電流 $I_D$

SiC MOSFET は理想的な放熱条件下で、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  $I_{DP}$ 、逆方向（ダイオード方向）の直流電流  $I_{DR}$  とパルス電流  $I_{DRP}$  で規定しています。

しかしながら、この各電流は順方向がドレイン・ソース間オン抵抗によるパワー損失で、逆方向はダイオードの順方向電圧による損失によって制限を受けます。そのため、電流定格については放熱条件によって左右され、チャネル温度が定格  $T_{ch(max)}$  を超えない電流値を設定し、その電流値以下で使用する必要があります。

$$I_D = \sqrt{\frac{T_{ch(max)} - T_C}{R_{DS(ON)(max)} \times R_{th(ch-c)}}$$

$$I_{DP} = \sqrt{\frac{T_{ch(max)} - T_C}{R_{DS(ON)(max)} \times r_{th(ch-c)}(t)}}$$

$T_{ch(max)}$	: チャネル温度max
$T_C$	: ケース温度(25°C)
$R_{th(ch-c)}$	: 定常熱抵抗
$r_{th(ch-c)}(t)$	: 過渡熱抵抗
$R_{DS(ON)(max)}$	: 最大チャネル温度時のドレイン・ソース間オン抵抗の max 値

製品へ通電可能なドレイン電流( $I_D$ )は、損失制限以外にその製品のパッケージの通電能力、最大チャネル温度や安全動作領域等で制限されます。

### 1.6. 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。

許容損失（ $T_c=25^\circ\text{C}$ ）は、周囲温度  $25^\circ\text{C}$  で無限大放熱器を付けた場合に等しい条件の値です。

$$P_D = \frac{T_{ch(max)} - 25^\circ\text{C}}{R_{th(ch-c)}} \text{ (W)}$$

また、過渡期の許容損失  $P_{DP}$  はデータシートの過渡熱抵抗特性により下記で算出されます。

$$P_{DP} = \frac{T_{ch(max)} - 25^\circ\text{C}}{r_{th(ch-c)}} \text{ (W)}$$

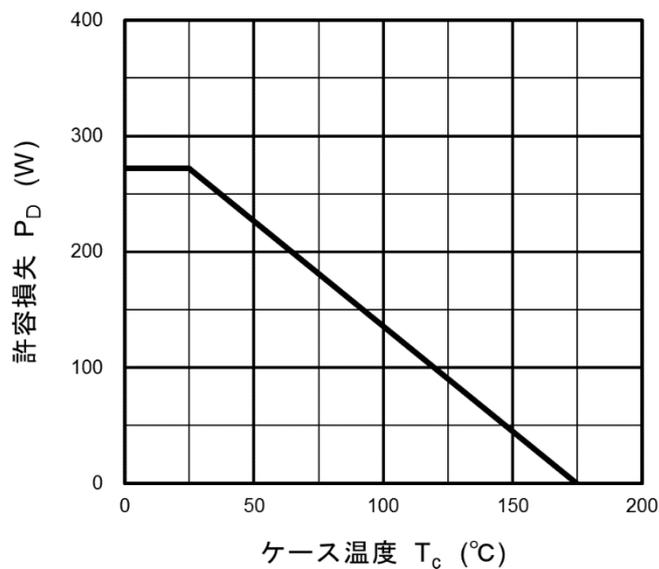


図 1.1  $P_D - T_c$  特性例

### 1.7. アバランシエ電流 $I_{AS}$ 、アバランシエエネルギー $E_{AS}$

SiC MOSFET を高速スイッチング素子として使用する場合、回路自体のインダクタンスおよび浮遊インダクタンスにより、ターンオフ時に高いサージ電圧がドレイン・ソース間に印加され、時にはサージ電圧が素子の定格を超えブレイクダウン領域に入ることがあります。この時、アバランシエ電流が流れ、素子が許容できる電流や、エネルギーを超えると破壊に至ります。このモードをアバランシエ破壊と呼びます。また、これを許容できる電流をアバランシエ電流 ( $I_{AS}$ )、エネルギーをアバランシエエネルギー ( $E_{AS}$ )と言います。

### 1.8. チャネル温度 $T_{ch}$ 、保存温度 $T_{stg}$

最大チャネル温度  $T_{ch(max)}$  は SiC MOSFET を構成する材料と信頼度によって規定され、単に動作するというだけでなく、劣化、寿命など信頼性との兼ね合いで考えなければなりません。

長期寿命の保証を要する SiC MOSFET では、不良率、信頼度に見合った許容チャネル温度の上限を決めております。保存温度  $T_{stg}$  は、SiC MOSFET を動作させないで保存し得る温度範囲で、これも構成する材料の性質と信頼度から規定されます。

### 1.9. 絶縁耐圧 $V_{ISO(RMS)}$

フルモールドパッケージ製品において、指定されたケース部分と内部回路および電極端子との絶縁耐圧を示すものです。交流電圧を規定時間印加し確認します。絶縁耐圧は AC 電圧の実効値で示します。

### 1.10. 締め付けトルク TOR

放熱器に素子をねじで取り付ける時は、締め付けトルクを管理する必要があります。締め付けトルクが小さすぎるとねじがゆるみ、大きすぎると素子を破損することになります。

## 2. 熱抵抗特性

### 2.1. 熱抵抗特性 概要

項目	記号	単位	説明
チャンネル・ケース間 定常熱抵抗	$R_{th(ch-c)}$	°C/W	理想的な放熱条件下で、ケース温度を周囲温度 25 °C に保った状態の熱抵抗です。
チャンネル・周囲間 定常熱抵抗	$R_{th(ch-a)}$	°C/W	チャンネルから周囲温度 25 °C までの熱抵抗です。

### 2.2. 熱抵抗とは

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 ( $P_D$ ) を増やせば、温度上昇分 ( $\Delta T$ ) は大きくなります。

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

### 2.3. 熱抵抗計算

製品の熱抵抗表示には、主に下記があります。

#### a) $R_{th(ch-c)}$ : チャンネル・ケース間 定常熱抵抗

ケース温度を周囲温度 25°C に保った状態での熱抵抗であり、無限大放熱器を付けた状態と同等です。

$$R_{th(ch-c)} = \frac{T_{ch(max)} - 25\text{ }^{\circ}\text{C}}{P_{D(T_C=25^{\circ}\text{C})}} \text{ (}^{\circ}\text{C/W)}$$

#### b) $R_{th(ch-a)}$ : チャンネル・周囲間 定常熱抵抗

チャンネルから周囲温度 25 °C までの熱抵抗であり、 $R_{th(ch-c)} + R_{th(c-a)}$  となります。

但し、基板への実装条件等で変わってきますので注意が必要です。

$$R_{th(ch-a)} = \frac{T_{ch(max)} - 25\text{ }^{\circ}\text{C}}{P_{D(T_a=25^{\circ}\text{C})}} \text{ (}^{\circ}\text{C/W)}$$

### 2.4. 過渡熱抵抗と時間の関係

過渡熱抵抗は熱容量の影響がある時間範囲の熱抵抗であり、時間の関数です。

定常熱抵抗は、熱容量の影響が無くなった以降の熱抵抗を示します。下図に  $r_{th(ch-c)} - t_w$  特性の例を示します。

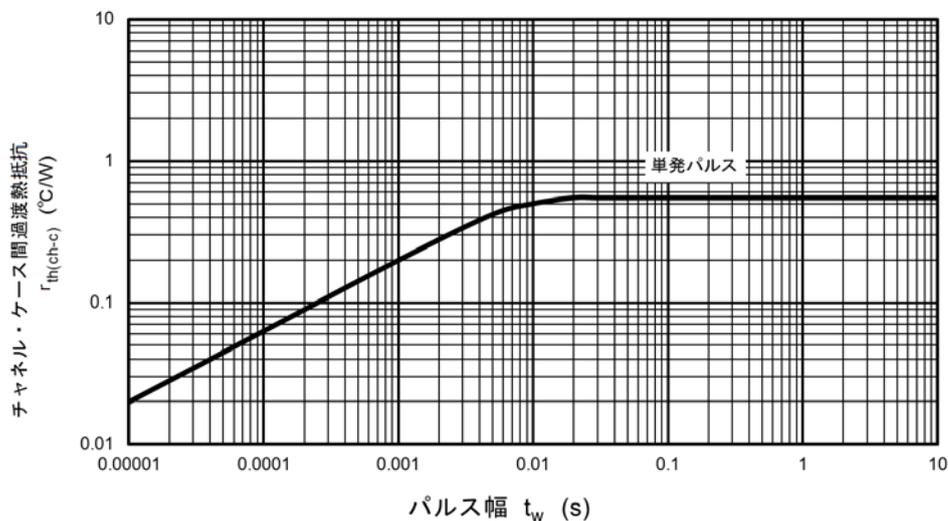


図 2.1  $r_{th(ch-c)} - t_w$  特性例

### 3. 安全動作領域

#### 3.1. 安全動作領域とは

安全動作領域(Safe Operating Area)は、単位時間に素子に印加できる電流・電圧値の範囲を表しており、順バイアス安全動作領域と逆バイアス安全動作領域があります。

設計の際にはスイッチング動作時の  $I_D$ 、 $V_{DS}$  波形から、同一時間に印加される電流・電圧値を動作軌跡とし、安全動作領域にプロットすることで問題点の有無を判断します。安全動作領域内に動作軌跡が入らない場合には、素子変更や回路変更を含めた対策が必要になります。

#### 3.2. 順バイアス安全動作領域

順バイアス安全動作領域は、ターンオフ期間を除いてSiC MOSFETが安全に通電できる電流と電圧の領域を示したものです。SiC MOSFETを通電(ターンオンを含め)させると、チャネル温度は上昇します。動作軌跡が安全動作領域内にあれば、チャネル温度は絶対最大定格内にあります。二次降伏領域は、チップ内部で均一に電流が流れず一部に電流が集中することで、急速に温度が上昇する領域です。ターンオフ期間を除いて、SiC MOSFETの動作軌跡は、順バイアス安全動作領域内に入るように設計(放熱設計の見直しなど)する必要があります。順バイアス安全動作領域は、電流、オン抵抗、熱(損失)、二次降伏および電圧から制限され、下記により規定されています。

##### ① 電流制限領域

ドレイン電流定格で制限される領域です。DC(連続)の場合は $I_{D(max)}$ 、パルスの場合は $I_{DP(max)}$ で制限されます。

##### ② オン抵抗制限領域

オン抵抗 $R_{DS(ON)(max)}$ により理論的に制限される領域で、 $I_D = V_{DS}/R_{DS(ON)}$ です。

##### ③ 熱制限領域

許容損失 $P_D$ で制限される領域です。 $P_D(許容損失) = I_D \times V_{DS}$

##### ④ SB(Secondary Breakdown)領域

電流集中による二次降伏に相当する領域です。

##### ⑤ 電圧制限領域

耐圧 $V_{DSS}$ により制限される領域です。

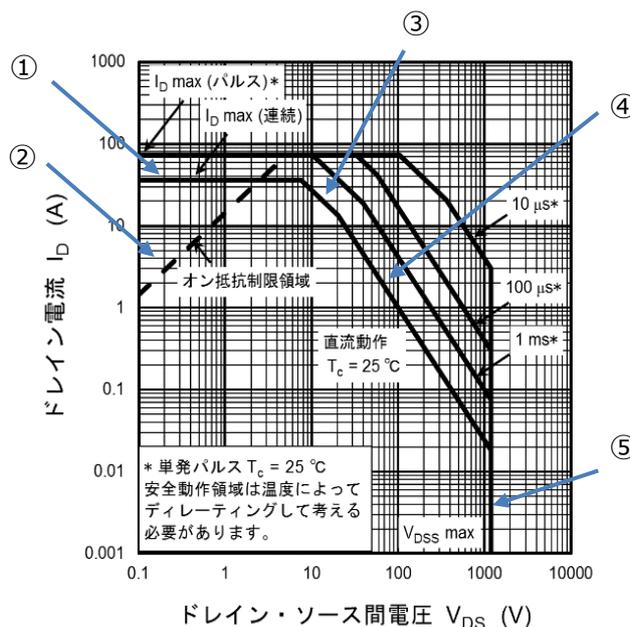


図 3.1 順バイアス 安全動作領域例

### 3.3. 逆バイアス安全動作領域

逆バイアス安全動作領域は、SiC MOSFETを安全にしゃ断（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する過程で、回路のインダクタンスによりSiC MOSFETにサージ電圧が発生します。ターンオフのしゃ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。

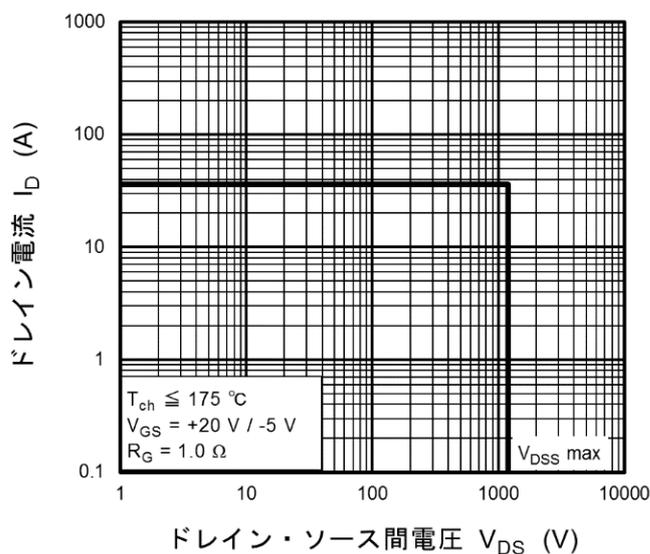


図 3.2 逆バイアス 安全動作領域例

## 4. 電気的特性

SiC MOSFET のデータシートで規定している電気的特性を、項目別に説明します。また特に断りのない場合、周囲温度  $T_a = 25^\circ\text{C}$  での規格値となります。

### 4.1. 静的特性 概要

項目	記号	単位	説明
ゲート漏れ電流	$I_{GSS}$	$\mu\text{A}$	ドレイン・ソース間を短絡し、ゲート・ソース間に指定の電圧を与えた時の漏れ電流です。
ドレインしゃ断電流	$I_{DSS}$	$\mu\text{A}$	ゲート・ソース間を短絡し、ドレイン・ソース間に指定の電圧を与えた時の漏れ電流です。
ドレイン・ソース間降伏電圧	$V_{(BR)DSS}$	V	ゲート・ソース間を短絡し、指定の漏れ電流を流した時のドレイン・ソース間の耐圧です。
ゲートしきい値電圧	$V_{th}$	V	Threshold voltage の略で、ソースとドレインの間に指定の電流が流れる時のゲート電圧です。
ドレイン・ソース間オン抵抗	$R_{DS(ON)}$	$\Omega$	MOSFET がオン状態のときのドレイン・ソース間の抵抗値です。

### 4.1.1. ゲート 漏れ電流 $I_{GSS}$

$I_{GSS}$  は、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。

### 4.1.2. ドレイン しゃ断電流 $I_{DSS}$

$I_{DSS}$  は、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。

### 4.1.3. ドレイン・ソース間 降伏電圧 $V_{(BR)DSS}$

$V_{(BR)DSS}$  は、ゲート・ソース間を短絡した状態で、規定のドレイン電流  $I_D$  を流したときの電圧値で規定されます。

SiC MOSFET の  $V_{DSS}$  は、正の温度係数を有しているために低温環境下では、25°C で規定された  $V_{DSS}$  値より小さくなります。

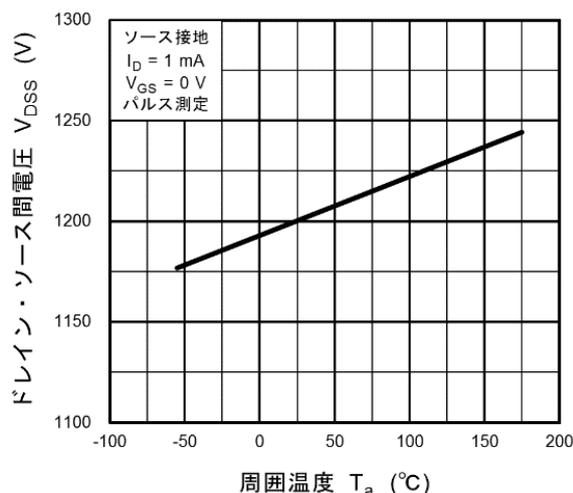


図 4.1  $V_{DSS} - T_a$  特性例

### 4.1.4. ゲート しきい値電圧 $V_{th}$

$V_{th}$  は、ソースとドレインの間に指定の電流が流れる時のゲート電圧です。 $V_{th}$  は負の温度特性を持っており、高温環境下では、より低い電圧でオンしやすくなります。ノイズや誤点弧などで、誤動作しないか確認が必要です。

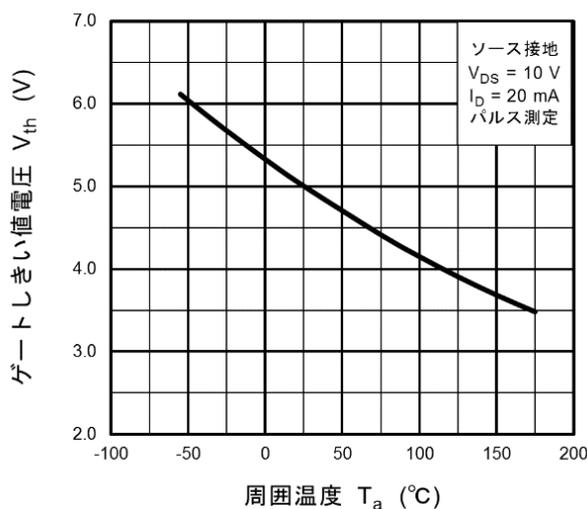


図 4.2  $V_{th} - T_a$  特性例

### 4.1.5. ドレイン・ソース間オン抵抗 $R_{DS(ON)}$

$R_{DS(ON)}$  は、SiC MOSFET がオンしているときの、ドレイン・ソース間抵抗値です。SiC MOSFET の  $R_{DS(ON)}$  は、温度の影響を受けやすく注意が必要です。SiC MOSFET における  $R_{DS(ON)}$  は、主に負の温度係数を持つチャネル抵抗成分と、正の温度係数を持つドリフト層抵抗成分で構成されています。

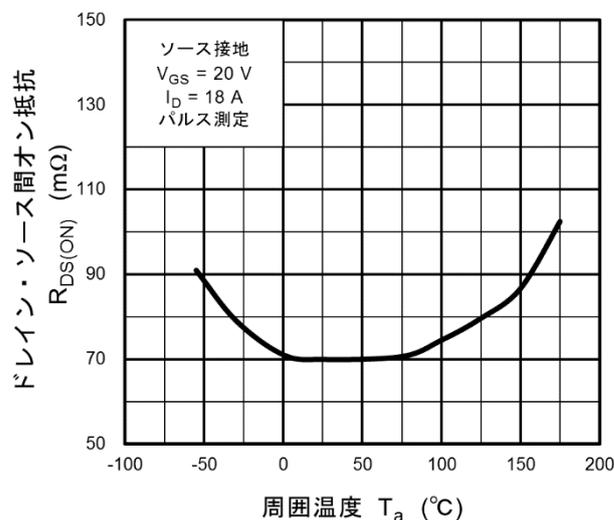


図 4.3  $R_{DS(ON)}$  -  $T_a$  特性例

### 4.2. 動的特性 概要

項目	記号	単位	説明
静電容量	$C_{iss}$ $C_{rss}$ $C_{oss}$	pF	$C_{iss}$ は入力容量、 $C_{rss}$ は帰還容量、 $C_{oss}$ は出力容量です。これらの容量は、スイッチング性能に影響を及ぼします。
出力容量 充電エネルギー	$E_{oss}$	μJ	$C_{oss}$ を充電する為に必要なエネルギーです。
ゲート抵抗	$r_g$	Ω	SiC MOSFET 内部のゲート抵抗値です。
スイッチング時間	$t_{d(on)}$ $t_r$ $t_{d(off)}$ $t_f$	ns	$t_{don}$ はターンオン遅延時間、 $t_r$ は上昇時間、 $t_{doff}$ はターンオフ遅延時間、 $t_{off}$ は下降時間です。
スイッチング損失	$E_{on}$ $E_{off}$	mJ	$E_{on}$ はターンオン損失、 $E_{off}$ はターンオフ損失です。

### 4.2.1. 静電容量 $C_{iss}$ 、 $C_{rss}$ 、 $C_{oss}$

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、次の図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。

SiC MOSFETでは、入力容量 $C_{iss} = C_{gd} + C_{gs}$ 、出力容量 $C_{oss} = C_{ds} + C_{gd}$ 、帰還容量 $C_{rss} = C_{gd}$ が重要な項目です。

図 4.5は、 $C_{iss}$ 、 $C_{rss}$ 、 $C_{oss}$ のドレイン・ソース間電圧 $V_{DS}$ に対する依存性を示しています。

SiC MOSFETのスイッチング特性は、主に入力容量 $C_{iss}$ とドライブ回路の出力インピーダンスにより変化します。

この入力容量を充電するために、ゲート・ソース間にはゲート電流が瞬間的に流れ、ドライブ回路の出力インピーダンスが低いほどスイッチング時間は速くなります。また、SiC MOSFETの静電容量が大きいと軽負荷時の損失が大きくなります。 $C_{iss}$ 、 $C_{rss}$ 、 $C_{oss}$ の温度依存性はほとんどありません

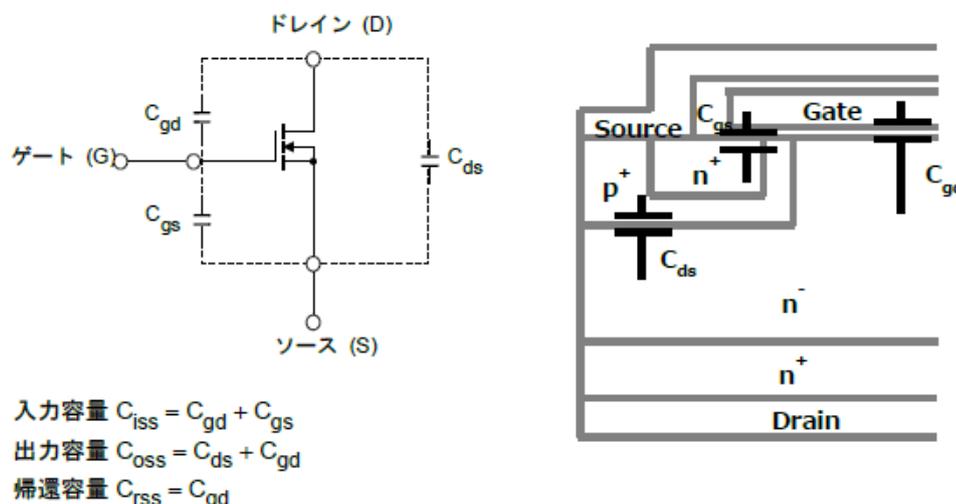


図 4.4 静電容量 等価回路

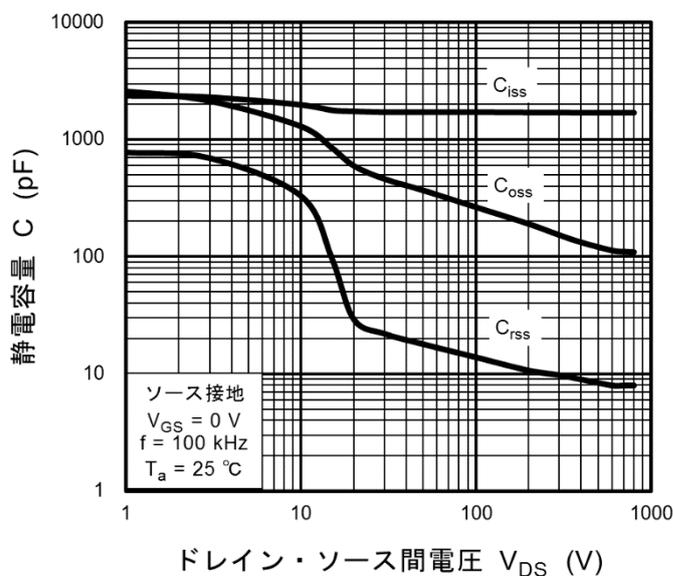
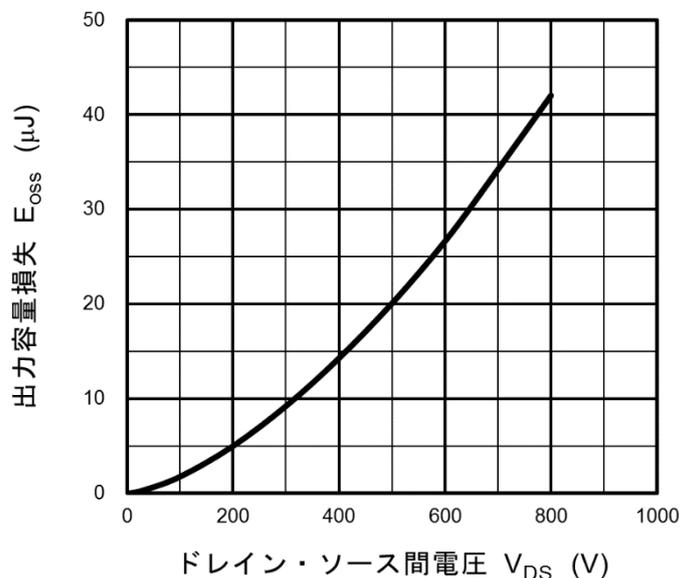


図 4.5  $C - V_{DS}$  特性例

### 4.2.2. 出力容量 充電エネルギー $E_{oss}$

$E_{oss}$  は、 $C_{oss}$  を充電する為に必要なエネルギーです。 $C_{oss}$  -ドレイン・ソース間電圧 から求めることができます。 $C(V)$ は  $V_{DS}$  に依存性のある出力容量  $C_{oss}$  の関数です。



$$Q_{oss} = \int_0^{V_{DS}} C(V) dv$$

$$E_{oss} = Q_{oss} \times V_{DS}$$

図 4.6  $E_{oss} - V_{DS}$  特性例

### 4.2.3. ゲート抵抗 $r_g$

SiC MOSFET 内部のゲート抵抗値です。

### 4.2.4. スイッチング時間 $t_{d(on)}$ 、 $t_r$ 、 $t_{d(off)}$ 、 $t_{off}$

SiC MOSFETが多数キャリアデバイスであることによる顕著な特性は、バイポーラトランジスタに比べて、高速動作に優れており、高周波のスイッチング動作ができることです。スイッチング時間測定回路と、波形の定義を下图に示します。

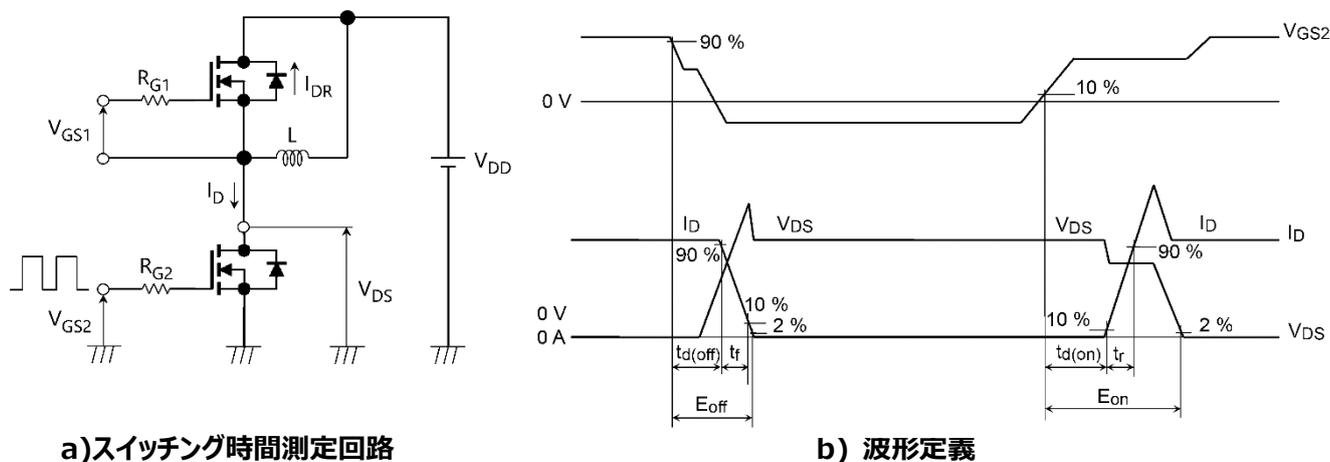


図 4.7 スイッチング時間測定回路と波形の定義

スイッチング時間の入出力波形に関する記号について、以下に説明します。

1)  $t_{d(on)}$ : ターンオン遅延時間

ターンオン時に、ゲート・ソース電圧が設定電圧の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。

2)  $t_r$ : 上昇時間(立ち上がり時間)

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。

3)  $t_{on}$ : ターンオン時間

ターンオン時間は、 $t_{d(on)} + t_r$  になります。

4)  $t_{d(off)}$ : ターンオフ遅延時間

ターンオフ時に、ゲート・ソース間電圧が設定電圧の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。

5)  $t_f$ : 下降時間

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。

6)  $t_{off}$ : ターンオフ時間

ターンオフ時間は、 $t_{d(off)} + t_f$  になります。

#### 4.2.5. スイッチング損失 $E_{on}$ 、 $E_{off}$

1)  $E_{on}$  ターンオンスイッチング損失

ゲート・ソース間電圧が設定値の10%から、ドレイン・ソース間電圧が設定値の2%まで下降するまでの期間に発生する損失です。

2)  $E_{off}$  ターンオフ スイッチング損失

ゲート・ソース間電圧が設定値の90%から、ドレイン電流が設定値の2%まで下降するまでの期間に発生する損失です。

#### 4.3. ゲート電荷量特性 概要

項目	記号	単位	説明
ゲート入力電荷量	$Q_g$	nC	ゲート電圧が、ゼロから指定された電圧となるまでの総電荷量です。
ゲート・ソース間電荷量1	$Q_{gs1}$	nC	SiC MOSFET がオンし始めるまで、ドレイン・ソース間電圧が低下する前にゲート・ソース間電圧を充電する電荷量です。
ゲート・ドレイン間電荷量	$Q_{gd}$	nC	$Q_{gd}$ は、ドレイン・ソース間電圧が低下しゲート・ドレイン間の容量を充電するミラー期間の電荷量です。

### 4.3.1. ゲート電荷量 $Q_g$ 、 $Q_{gs1}$ 、 $Q_{gd}$

MOSFET は入力端子であるゲートが絶縁されています。ゲート端子から見た電荷量  $Q$  が重要なパラメータになります。ゲート電荷量の定義を下图に示します。

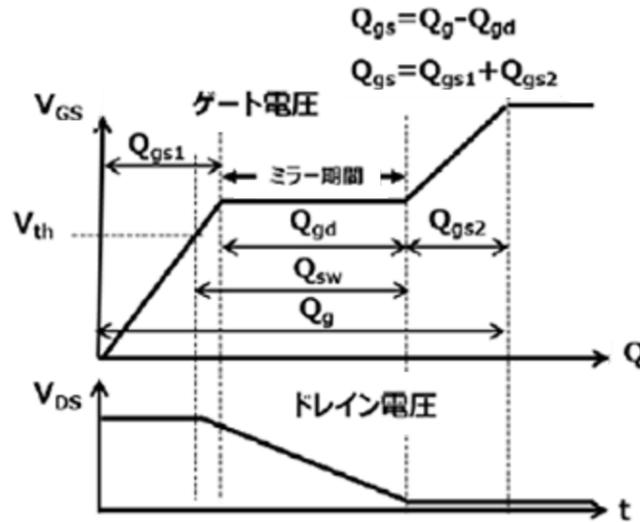
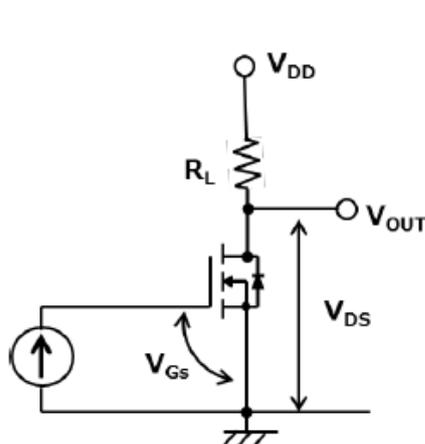


図 4.8 ゲート電荷量の定義

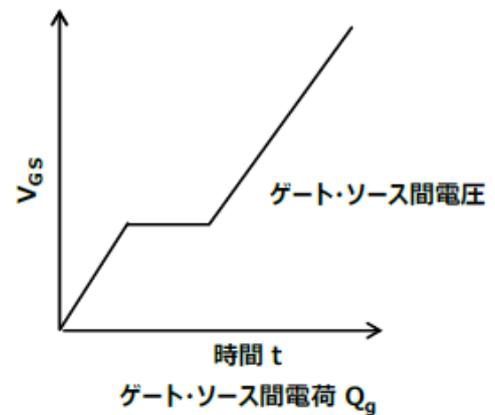
### 4.3.2. ゲート電荷の算出方法

SiC MOSFET のターンオン動作時は、ゲート・ソース間容量とゲート・ドレイン間容量を充電するため、ゲートに電流が流れます。ゲート電荷量は下图の測定回路でゲートに定電流を流し、ゲート・ソース間電圧と時間の波形グラフの時間軸にゲート定電流  $i_G$  を乗じることで、時間軸をゲート電荷量  $Q_g$  で表すことができます。ゲート入力電荷量は下式で表されます。

$$Q_g = \int_0^t i_G(t) dt$$



(a)ゲート電荷量測定回路



(b) ゲート・ソース間電圧波形  
( $Q_g = i_G \times t$ )

図 4.9 ゲート電荷量測定回路とゲート・ソース間電圧波形

### 4.4. ソース・ドレイン間特性 概要

項目	記号	単位	説明
ダイオード順電流(DC)	$I_F$	A	ダイオードの順方向電流(DC) 最大許容値です。
ダイオード順電流(パルス)	$I_{FP}$	A	ダイオードの順方向電流(パルス) 最大許容値です。
順方向電圧(ダイオード)	$V_{DSF}$	V	ダイオードに順方向電流を流した時のドレイン・ソース間電圧です。
逆回復時間	$t_{rr}$	ns	指定の測定条件におけるダイオードの逆回復動作において、逆回復電流が消滅するまでの時間( $t_{rr}$ )
逆回復電荷量	$Q_{rr}$	nC	及び電荷量( $Q_{rr}$ )です。その時のピーク電流値が $I_{rr}$ です。
ピーク逆回復電流	$I_{rr}$	A	

#### 4.4.1. ダイオード特性

SiC MOSFET は、構造上ソース・ドレイン間にボディ ダイオード (PN 接合ダイオード)が等価的に内蔵されます。

また、当社の SiC MOSFET には、ボディ ダイオードに並列かつアノード・カソードと同じ向きに SiC SBD を内蔵している製品があります。データシート中の『内部回路構成図』は、SBD の有無に関わらず同一とし、PN 接合ダイオードと SBD を区分して記載しておりません。

ダイオードの電流定格は、SiC MOSFET の電流定格  $I_D$ (連続)、 $I_{DP}$  (パルス)とは別に、データシートの電気的特性上で個別に定義されます。ダイオードの電圧定格  $V_{RRM}$  について、電気的特性項目に記載が無いものは SiC MOSFET のドレイン・ソース間電圧定格  $V_{DSS}$  と同じ値になります。下図に SiC SBD を内蔵した SiC MOSFET の  $I_{DR}-V_{DS}$  特性例を示します。SBD の順電流  $I_F$ -順電圧  $V_F$  特性は、 $I_{DR}-V_{DS}$  特性の  $V_{GS}=0\sim-5V$  条件が該当します。

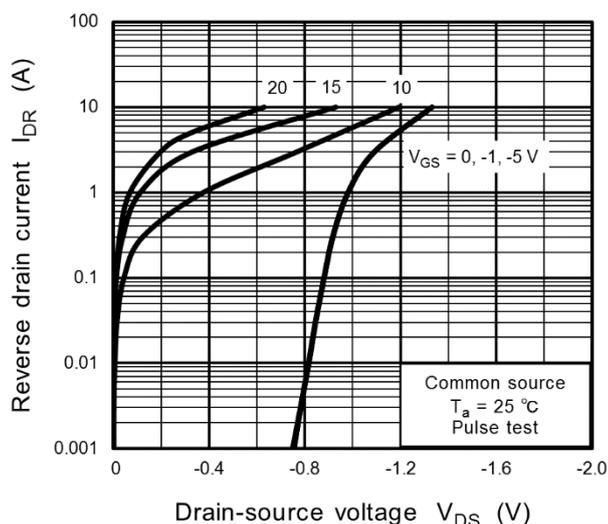


図 4.10  $I_{DR}-V_{DS}$  特性例 (内蔵 SBD の  $I_F-V_F$  特性を含む)

下図にダイオード 逆回復特性の測定回路と、波形の定義を示します。

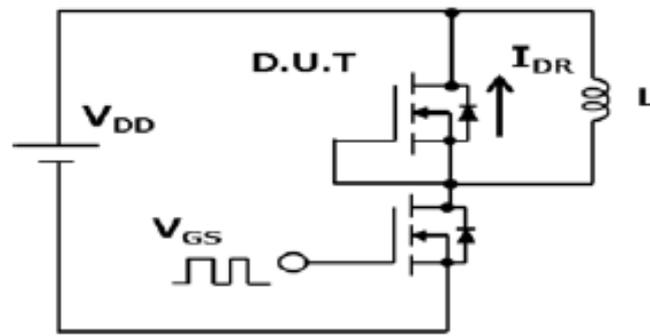


図 4.11 ダイオード 逆回復特性の測定回路

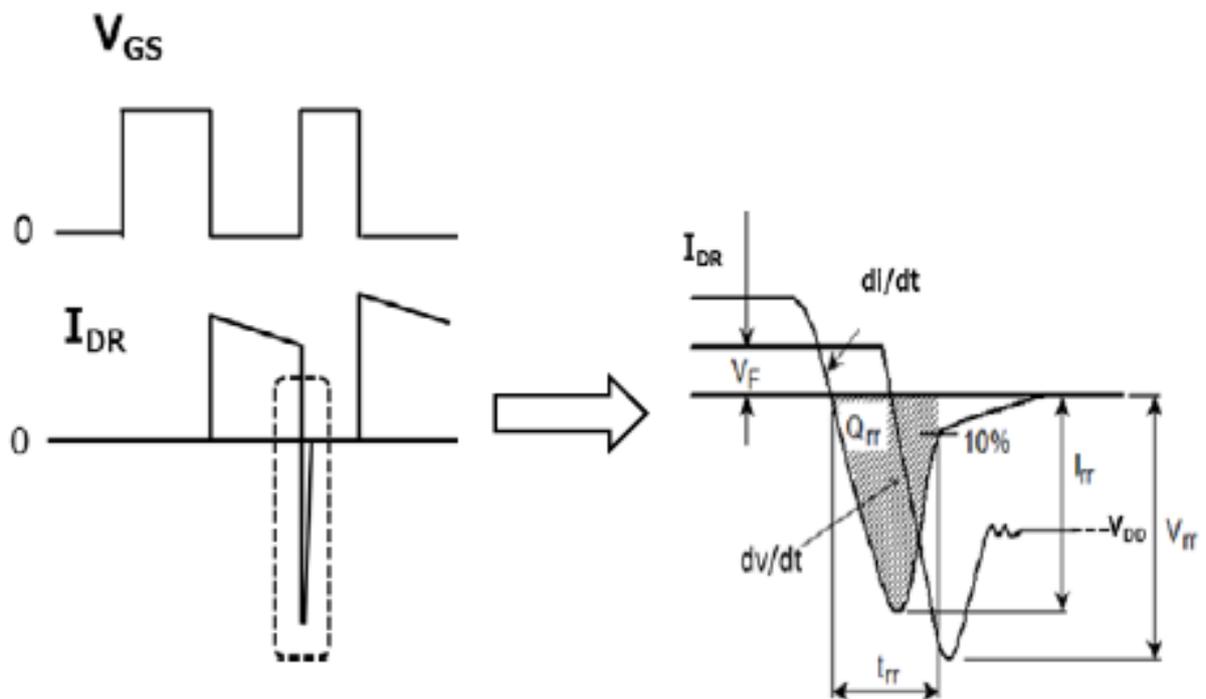


図 4.12 ダイオード逆回復特性波形の定義

## 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ェア、ソフトウェ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、お客様のハードウェア・ソフトウェア・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。