

## MOSFET 二次降伏(S/B)

### 概要

MOSFET の二次降伏（Secondary Breakdown）のメカニズムについて説明した資料です。

## 目次

概要 .....	1
目次 .....	2
1. MOSFET 二次降伏 .....	3
1.1. MOSFET の安全動作領域 (SOA) .....	3
1.2. MOSFET の二次降伏 (S/B: Secondary Breakdown) とは .....	4
1.3. 二次降伏 (S/B) のメカニズム .....	4
製品取り扱い上のお願い.....	6

## 図目次

図 1 MOSFET の安全動作領域 (SOA).....	3
-------------------------------	---

### 1. MOSFET 二次降伏

MOSFETの安全動作領域（Safe Operating Area 以下SOAと略す）曲線に示している二次降伏（Second Breakdown 以下S/Bと略す）について説明します。

#### 1.1. MOSFET の安全動作領域（SOA）

SOAとはMOSFETが破壊および劣化すること無く動作する領域であり、実使用条件下ではこの領域を一瞬たりとも超えてはならない領域です。従来、MOSFETのSOAにはバイポーラトランジスタに存在するS/B領域は無く、ドレイン・ソース間電圧とドレイン電流の定格およびその間の熱制限領域のみで規定されていました。しかしながら、昨今の製品では微細化によってMOSFETにもS/B領域と同等の現象が存在するようになりました。MOSFETの動作軌跡がSOA内に確実に収まっているか慎重な確認が必要になってきています。

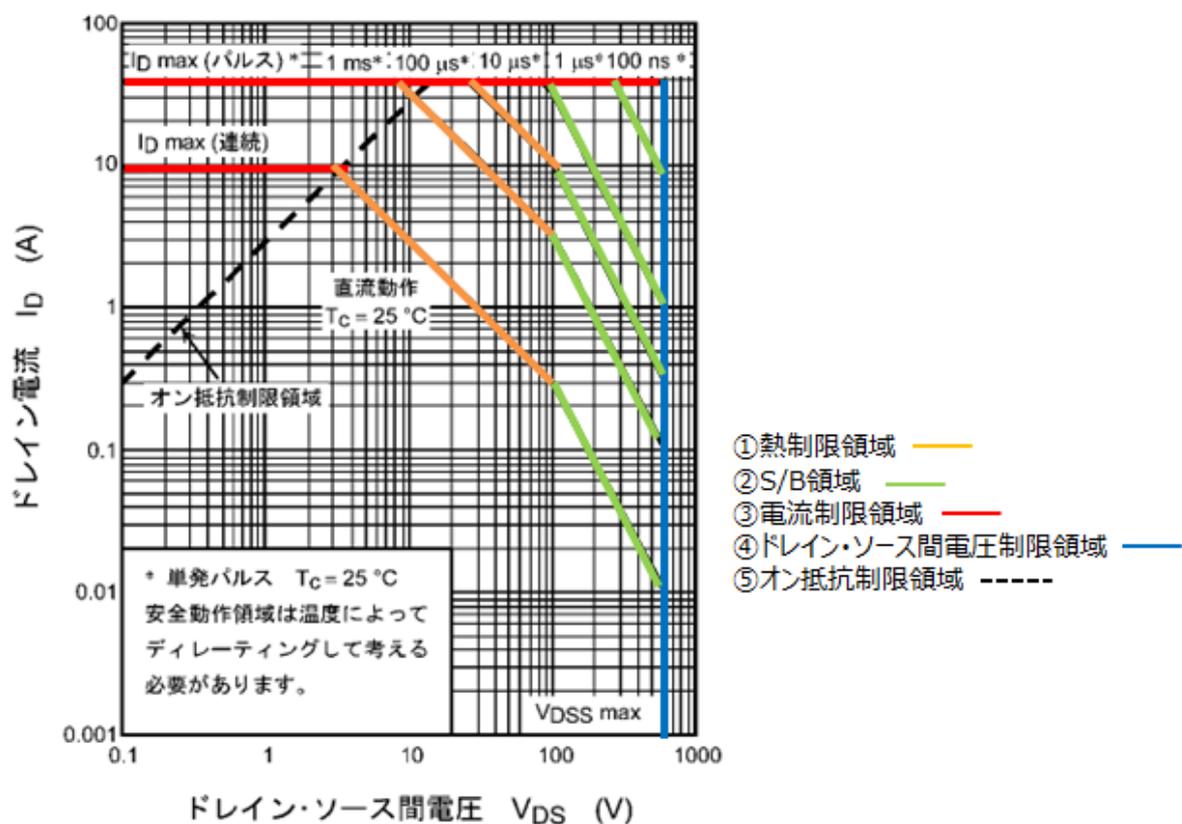


図 1 MOSFET の安全動作領域 (SOA)

MOSFETの安全動作領域には、下記5つの制限領域が存在します。(図1参照)

#### ①熱制限領域

許容損失 $P_D$ で制限される領域です。許容損失は保証チャネル温度と熱抵抗で決まります。このため、発生する損失が許容損失となるようにSOAの斜めのライン(両対数グラフでは-1の傾き)が決まります。通電する時間や周囲温度によって許容できる損失や素子の温度は変化するので動作条件によって変わってきます。

#### ②S/B領域

#### ③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 $I_D$ 、パルスの場合は $I_{DP}$ で制限されます。

#### ④ドレイン・ソース間電圧制限領域

ドレイン・ソース間の耐圧 $V_{DSS}$ により制限される領域です。

#### ⑤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、 $I_D = V_{DS}/R_{DS(ON)}(\max)$ で示されています。

## 1.2. MOSFETの二次降伏(S/B: Secondary Breakdown)とは

S/Bというのは、本来バイポーラトランジスタが高電圧・大電流動作することで負性抵抗(電流集中)が発生することを呼んでいます。電流集中による局所的な発熱によりホットスポットができ、その部分のインピーダンスが低下することでさらなる電流増加・集中を招くものです。このようなサイクルを熱暴走と呼び、劣化・破壊を招きます。

そういう意味ではパワーMOSFETのSOAにおける二次降伏も同様と言えます。しかし、MOSFETのS/Bの定義はMOSFETの寄生バイポーラトランジスタ動作によるもので決まっているわけではありません。そういった点ではS/Bと呼ぶべきではないのかもしれませんが、バイポーラトランジスタで呼んでいた経緯で二次降伏(S/B)と呼んでいるので、ここでもS/Bと呼ぶことにします。

## 1.3. 二次降伏(S/B)のメカニズム

S/Bのメカニズムとして以下のようなことが考えられます。

MOSFETはゲートに電圧を正バイアスするとゲート絶縁膜との界面に電荷が誘起されます。(反転チャネルが形成)反転チャネルが形成されるとMOSFETのドレイン・ソース間に電流が流れ始め、このときのゲート電圧がしきい値電圧 $V_{th}$ です。MOSFETはゲート絶縁膜との界面に誘起される電荷量の変化によりドレイン電流を制御しています。

$V_{th}$ は高温になるほど電荷が発生しやすくなるため下がります。

チャネル抵抗はゲート電圧 $V_{GS}$ と $V_{th}$ の差( $V_{GS}-V_{th}$ )に反比例します。(( $V_{GS}-V_{th}$ )が大きいほどゲートに多くの電荷が発生し、密度が高くなるのでチャネル抵抗は下がります。)

高温になるほど電荷が発生しやすくなるため $V_{th}$ は下がるため、( $V_{GS}-V_{th}$ )が大きくなることでチャネル抵抗は下がります。

上記内容を踏まえて二次降伏(S/B)のメカニズムを説明します。

- ① MOSFETの温度が上がるとゲートしきい値電圧 $V_{th}$ が下がり、チャネル抵抗が下がります。
- ② 抵抗が下がったチャネルに電流が集中し、さらに温度が上がって、しきい値電圧 $V_{th}$ が下がります。
- ③ これによりさらに電流が集中するという正帰還によって、素子が破壊に至ります。

このようなことから、温度上昇に対するチャネル抵抗の変化によりSOAのS/Bラインが決まっています。許容損失と放熱（周囲温度と熱抵抗）で決まるSOAの傾きとチャネル抵抗（ゲートしきい値電圧の温度依存性）が要因に含まれるS/Bラインとは傾きが異なってきます。

上述のように、MOSFETのS/Bは電流集中による破壊であるため、相互コンダクタンス $g_m$ <sup>(注)</sup>が高い（電流増幅の大きい）製品や $V_{th}$ の変化に対するドレイン電流変化が大きくなる $V_{DS}$ が高い領域で、破壊し易い傾向にあります。

また、アバランシェ降伏によって電流が流れているときはゲートがオフ時のためMOSFETチャネルに電流は流れないので、ゲートしきい値電圧 $V_{th}$ の温度特性に影響は受けず上記説明のS/Bは起こりません。

#### (注) 相互コンダクタンス $g_m$

ゲート電圧 $V_{GS}$ の変化に対するドレイン電流 $I_{DS}$ の変化の割合で、以下の式で表されます。

$$g_m = \frac{dI_{DS}}{dV_{GS}}$$

## 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。