

FAQ

SiC MOSFET

概要

本資料では、SiC MOSFET の FAQ ついて、紹介します。

目次

概要	1
目次	2
図目次	3
表目次	3
1. SiC とは？	4
2. SiC MOSFET は、並列に接続して使用出来ますか？	5
3. SiC MOSFET のパッケージの裏面は、絶縁されていますか？	6
4. SiC MOSFET のボディダイオードの特性を教えてください	7
5. IGBT から SiC MOSFET に変えると、何が変わりますか？	8
6. SiC MOSFET のゲート制御電圧で注意することは何ですか？	9
製品取り扱い上のお願い	11

図目次

図 1. アプリケーション使用例.....	4
図 2(a). $R_{DS(ON)} - T_a$ 特性 (10A)	5
図 2(b). $R_{DS(ON)} - T_a$ 特性 (18A)	5
図 3. $R_{DS(ON)}$ 分布図	5
図 4. SiC MOSFET 使用パッケージ例	6
図 5. SiC MOSFET 等価回路	7
図 6. $I_{DR} - V_{DS}$ 特性	7
図 7-1. SiC MOSFET と Si IGBT ターンオンスイッチング損失	8
図 7-2. SiC MOSFET と Si IGBT ターンオフスイッチング損失	8
図 8. $R_{DS(ON)}$ 分布図	9
図 9. V_{th} の温度特性	9

表目次

表 1. Si, IGBT, SiC MOSFET 特徴比較	8
表 2. データシート記載の電気的特性 (Q_g)	10

1. SiC とは？

一般的に使用されている Si 製品に比べ、SiC 製品は、特に高耐圧領域で低オン抵抗化や高速スイッチングによる電力損失の低減が可能です。また高温での動作も可能な為、成長を期待されるパワーデバイスの中でも、拡大が期待される半導体材料です。

炭化ケイ素（SiC）は、シリコン（Si）と炭素（C）原子から構成され、各原子の周りを異なる 4 個の原子が正四面体で配置された構造をしており、その四面体が最も密になる配置をとった最密充填構造の化合物半導体材料です。SiC は Si と比較して価電子帯（価電子により満たされた領域）と伝導体（電子が存在できるが空の領域）の間の電子が存在しない禁制帯のエネルギー幅（バンドギャップ）が大きい材料です。バンドギャップが大きいということは原子間の化学結合が強固であるということであり、そのため、絶縁破壊電界強度が高くなります。Si と比較すると約 10 倍程度の絶縁破壊電界強度を持っており、高耐圧で通電時の電圧降下の低いパワーデバイスを実現することができ、同耐圧の場合は、Si と比較し単位面積当たりのオン抵抗を下げる事が可能になります。また、一般的に Si MOSFET は 1000V 程度までしか製品化されていないのに対して、SiC MOSFET は、高耐圧でもオン抵抗を抑えることができるため 3300V 程度まで製品化されています。高耐圧製品でも電子のみで動作するユニポーラデバイスの MOSFET を実現することができ、テール電流が発生しないためバイポーラデバイスに対してターンオフ損失が小さくなります。そのため、SiC MOSFET は、Si の IGBT では困難であった高周波領域で動作可能であり、受動部品の小型化にも貢献するという大きなメリットがあり、小型化や低損失化が要求される電力変換用途に最適です。

例えば、OA・産業用スイッチング電源・EV 給電設備・FA 用溶接機・太陽光発電用途に広く使用されています。（図 1）

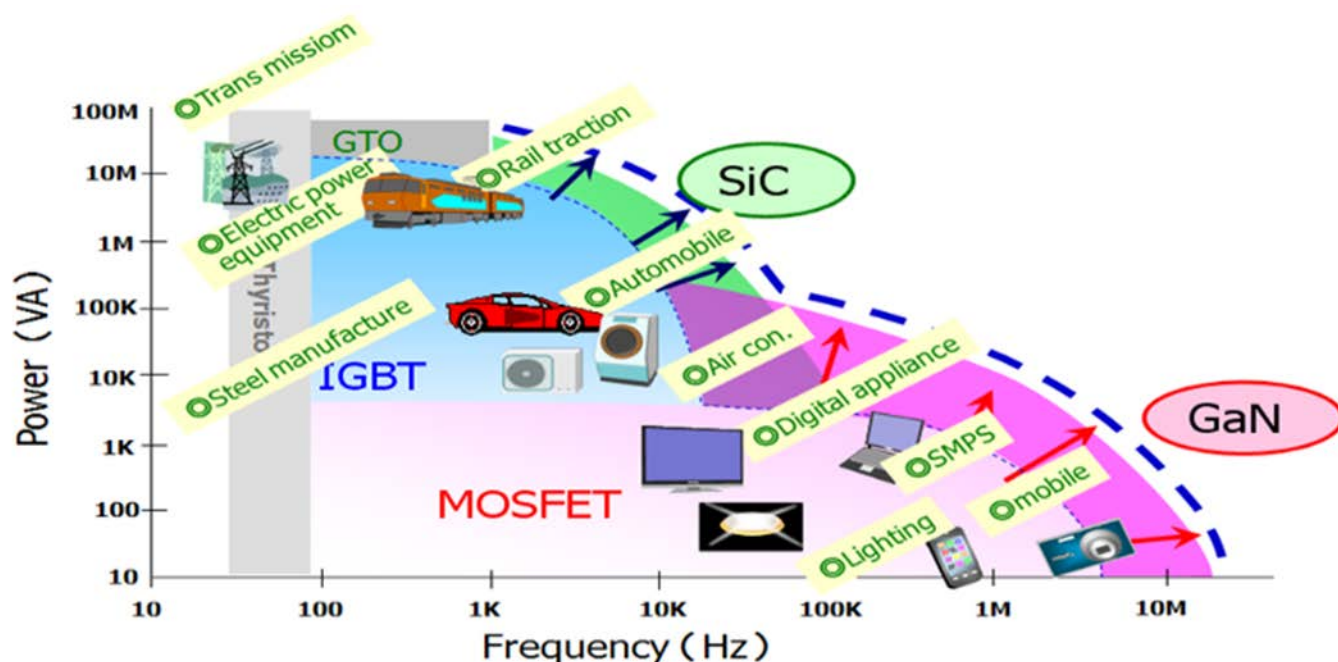


図 1：アプリケーション使用例

2. SiC MOSFET は、並列に接続して使用出来ますか？

SiC MOSFET は、Si MOSFET 同様に並列に接続して使用できます。

一般的な MOSFET の並列接続の注意点は、東芝デバイス&ストレージ株式会社 Web ページ内の「MOSFET アプリケーションノート_寄生発振、並列接続」を参照願います。

SiC MOSFET として加えて注意すべき点としては、下記 3 点が挙げられます。

1. SiC MOSFET の $R_{DS(ON)}$ は、温度の影響を受けやす為、注意が必要です。負の温度係数を持つチャネル抵抗性分と正の温度係数を持つドリフト層抵抗性分で構成されている為、全温度範囲でオン抵抗が必ずしも正の温度係数になっていない為、電流アンバランスが発生する可能性があります。図 2 : $R_{DS(ON)}$ - T_a 特性をご参照ください。

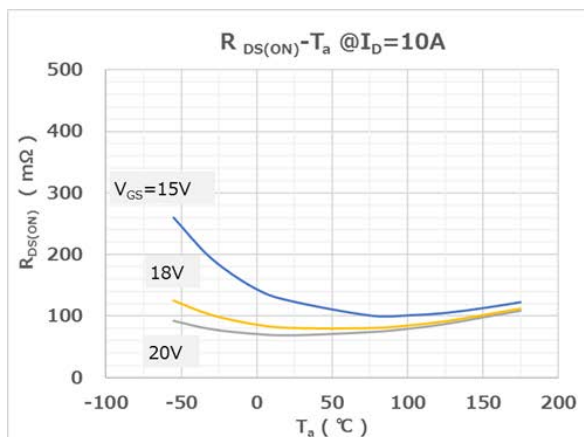


図 2(a) : $R_{DS(ON)}$ - T_a 特性 (10A)

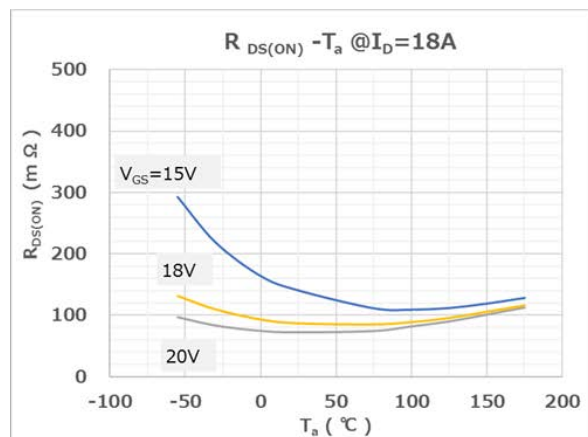


図 2(b) : $R_{DS(ON)}$ - T_a 特性 (18A)

2. ゲート順バイアスが 18V を下回る場合は、 $R_{DS(ON)}$ は急激に大きくなり、製品バラツキによる $R_{DS(ON)}$ の分布も広がります。これにより、特定の FET に電流が集中する可能性があります。

よって、ゲート順バイアスは 18V~20V の間になる様に設計をお願いします。図 3 : V_{GS} 条件による $R_{DS(ON)}$ 分布図

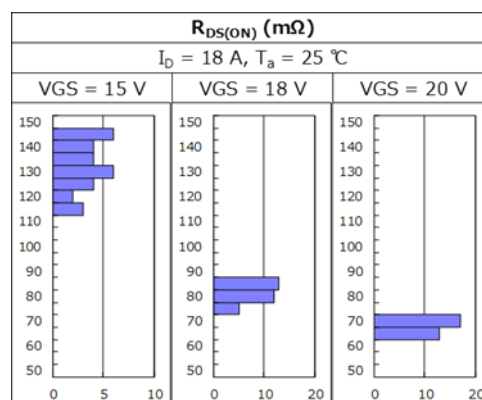


図 3 : $R_{DS(ON)}$ 分布図

3. 当社第 2 世代 SiC MOSFET は、pn ボディダイオードに並列に SiC SBD を内蔵しており、SiC SBD の順電圧は正の温度係数を持っているため、電流バランスが安定する方向に働きます。よって、ソースからドレインへ電流を流す場合、Si MOSFET よりも SiC MOSFET の方が、アンバランスが生じる可能性は低くなります。

3. SiC MOSFET のパッケージの裏面は、絶縁されていますか？

弊社 SiC MOSFET のパッケージ例を図 4 に示します。

弊社 SiC MOSFET の現行品のパッケージは、マーク面から見て裏面に電極が露出しており、絶縁されておりません。裏面は、ドレインに接続されています。ドレインは、高電位を持ちます。アースに接続された放熱板などを取り付ける場合は、この電極部分(赤枠)も周辺部品と接触しないように注意してください。

放熱板と製品との沿面距離の試算や端子間距離を求めたい場合は、下記リンクの MOSFET パッケージ寸法、放熱板の取り付けについては、下記アプリケーションノートに記載があります。ご参考ください。

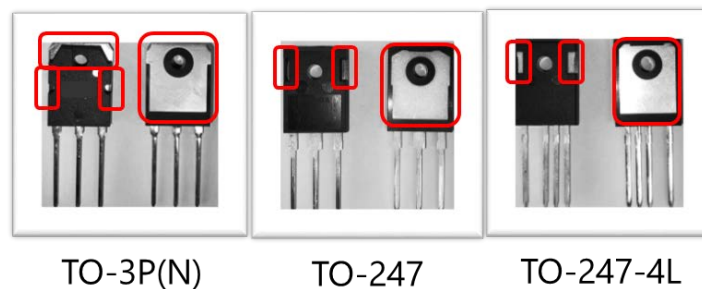


図 4 : SiC MOSFET 使用パッケージ例

リンク

・MOSFETのパッケージ寸法

和 : <https://toshiba.semicon-storage.com/jp/design-support/package/MOSFET.html>

英 : <https://toshiba.semicon-storage.com/ap-en/design-support/package/MOSFET.html>

・アプリケーションノート（熱設計と放熱器への取り付け）

和 : <https://toshiba.semicon-storage.com/info/docget.jsp?did=13412>

英 : <https://toshiba.semicon-storage.com/info/docget.jsp?did=13417>

4. SiC MOSFET のボディダイオードの特性を教えてください

一般的な SiC MOSFET のボディダイオードは、SiC pn 接合ダイオードです。この pn 接合ダイオードの逆回復時間(t_{rr})は、通常の Si pn 接合ダイオードよりも高速です。

当社 SiC MOSFET は、SiC MOSFET のドレイン・ソース間に SiC ショットキーバリアダイオード (SBD) を内蔵する (図 5 : SiC MOSFET 等価回路) ことによって、SBD を外部接続した場合に対して、ワイヤや基板配線によるインダクタンスを低減し、高周波スイッチングで生じる損失やノイズの低減に適したデバイスとなっています。また、SBD を内蔵していない SiC MOSFET に比べて導通損失の低減ができます。図 6 : I_{DR} - V_{DS} 特性をご参照ください。

また、SBD を内蔵することは信頼性の改善にも効果があり、長期使用時の欠陥発生などによる、しきい値電圧(V_{th})やオン抵抗など特性変動のリスクを低減するとされています。弊社 SiC MOSFET は、SiC SBD を内蔵し pn 接合ダイオードに通電しにくい設計となっており、特性変動リスクを低減しています。

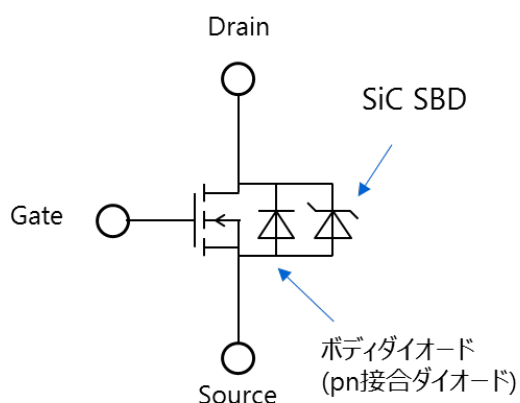


図 5 : SiC MOSFET 等価回路

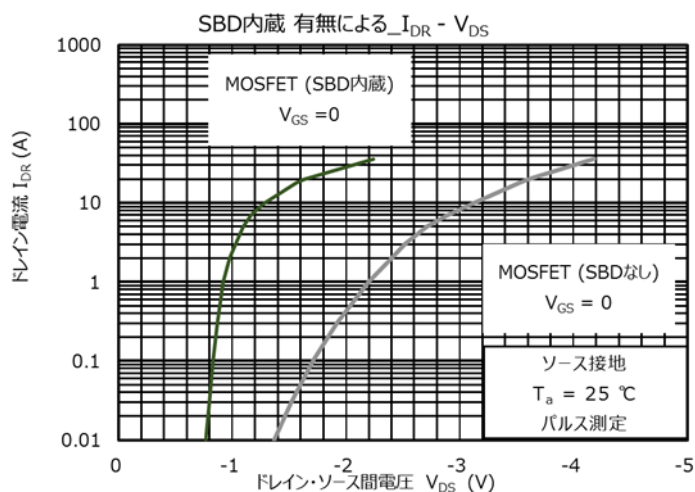


図 6 : I_{DR} - V_{DS} 特性

5. IGBT から SiC MOSFET に変えると、何が変わりますか？

Si IGBT から SiC MOSFET に置き換えることで高周波化によるセットの小型・軽量化と高効率な電力変換が実現できます。Si MOSFET/IGBT と、SiC MOSFET の特徴について、比較したイメージを表 1 に示します。

* : Fast Recovery Diode

★ : 数が多い程、優れている事を示す

電气的特性項目 シンボル (改善方向)	実使用上の関係	Si 材料		SiC 材料
		MOSFET	IGBT (*FRD内蔵)	MOSFET (SBD内蔵)
耐圧 (大)	セットの高耐圧化	★★	★★★★	★★★★
スイッチング損失 (小)	効率 (ターンオン/オフ時の損失の小ささ)	★★	★	★★★★
内蔵ダイオードの順電圧 (小)	効率 (ダイオード通電時の損失の小ささ)	★★	★★	★★★★
内蔵ダイオードの逆回復時間 t_{rr} (小)	効率 (ターンオン損失の小ささ)	★	★★	★★★★

表 1 : Si、IGBT、SiC MOSFET 特徴比較

弊社 SiC MOSFET と Si IGBT を 25℃ の環境下においてスイッチングさせたときの損失波形を図 7-1, 7-2 に示します。IGBT に比べてターンオフ損失及びターンオン損失で 65% 低減しています。

① ターンオフ損失の低減は、SiC MOSFET は、IGBT の様に少数キャリアの蓄積が無く、テール電流による損失が無いことが影響しています。

② ターンオン損失の低減は、SiC MOSFET に内蔵されている SiC SBD の方が、Si IGBT に内蔵されている Si FRD よりも損失に影響する $t_{rr} \cdot I_{rr}$ が、小さいことが影響しています。

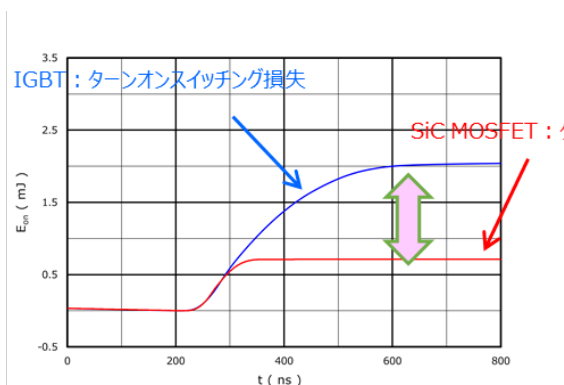


図 7-1 : SiC MOSFET と Si IGBT ターンオンスイッチング損失

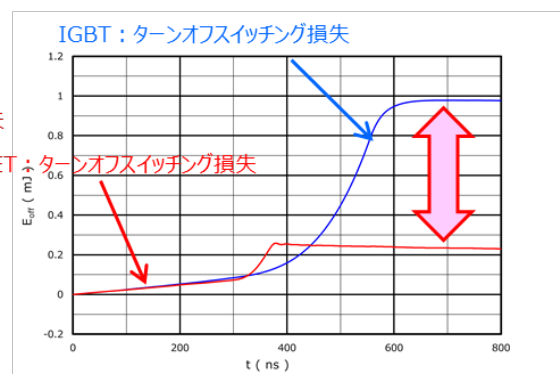


図 7-2 : SiC MOSFET と Si IGBT ターンオフスイッチング損失

6. SiC MOSFET のゲート制御電圧で注意することは何ですか？

以下の説明では、弊社 SiC MOSFET TW070J120B を例に説明しています。

＜ゲート制御電圧の注意点＞

- ①絶対最大定格-10V $\leq V_{GS} \leq 25V$ 以内であること
- ②ターンオン時のゲート電圧を 18V~20V に設定すること。
- ③ターンオフ時のゲート電圧を 0~-5V に設定すること。
- ④ゲートソース間容量をゲート電荷で十分に充電させること。

＜詳細内容＞

①絶対最大定格以内であること

サージ電圧(オーバーシュート・アンダーシュート)を含め、絶対最大定格 $V_{GS} = +25, -10V$ を超えないように設定ください。

②ターンオン時のゲート電圧を 18V~20V に設定すること。

$R_{DS(ON)}$ 分布を図 8 に示します。図 8 から 18V を境にそれ以下ではオン抵抗は急激に高くなります。

V_{GS} を 18V から 20V の間に設定することで、低オン抵抗でバラツキを抑えることができます。

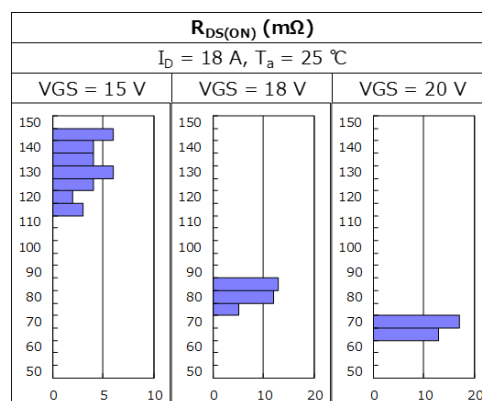


図 8 : $R_{DS(ON)}$ 分布図

③ターンオフ時のゲート電圧を 0~-5V に設定すること。

$V_{th} - T_a$ のカーブを図 9 に示します。ゲートしきい値電圧 V_{th} の下限値は、25℃で 4.2V です。また、温度特性カーブに示すように V_{th} は負の温度特性を持ち 25℃⇒175℃で $\Delta 1.5V$ 低下します。実動作時に電圧変動などの影響で、オフ期間のゲート電圧が V_{th} を越えて誤オンしないように動作確認を御願い致します。

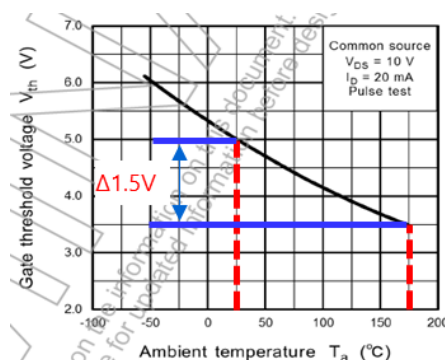


図 9 : V_{th} の温度特性

④ドライブ電流

V_{GS} を印加しオンさせるためにはゲートソース間容量をゲート電荷で充電させる必要があります。表 2 に示すように $V_{GS}=0\sim 20V$ のゲート電荷は標準で 70nC です。使用する周波数でこの電荷を十分に充電できる電流を流してください。

6.3. Gate Charge Characteristics ($T_a = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

Characteristics	Symbol	Test Condition	Min	Typ.	Max	Unit
Total gate charge (gate-source plus gate-drain)	Q_g	$V_{DD} = 800\text{ V}$, $V_{GS} = 20\text{ V}$, $I_D = 36\text{ A}$	—	(70)	—	nC
Gate-source charge 1	Q_{gs1}		—	(20)	—	
Gate-drain charge	Q_{gd}		—	(25)	—	

表 2：データシート記載の電気的特性 (Q_g)

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。

東芝デバイス&ストレージ株式会社

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