SiC MOSFET モジュールの信頼性

© 2023 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

目次

1. SiC MOSFET モジュール 3
1.1. 対象製品 3
2. SiC MOSFET モジュールの信頼性 4
3. SiC MOSFET モジュールの故障要因 5
4. SiC MOSFET チップの信頼性 6
4.1. SiC MOSFET のゲート信頼性 6
4.2. SiC MOSFET の V_{th} 安定性 6
4.3. SBD 内蔵 SiC MOSFET 7
4.4. SiC MOSFET の宇宙線による偶発故障 8
5. SiC MOSFET モジュールのパッケージの信頼性 9
5.1. SiC MOSFET モジュールの温度サイクルストレスと寿命 9
製品取り扱い上のお願い 11

© 2023 - 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

© 2023 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

2. SiC MOSFET モジュールの信頼性

半導体製品の信頼性試験は、エンドユーザーで所望の期間、機器の機能、性能を維持することを確認することが目的です。しかし、信頼性試験には、『時間とコスト』の壁があり、特に半導体製品は平均寿命が長くかつ低故障率が要求されるため、試験時間および試験数は、実使用条件で行われた場合、膨大なものとなります。そのため信頼性試験は一般に、電圧、温度、湿度などを加速して試験時間を短縮する、あるいは統計的手法による抜き取りやプロセス・設計の類似性を考慮して、試験試料数を適正化して実施されます。

SiC MOSFET モジュールについても DAT (Design Approval Test) の中で寿命試験や各種環境試験を実施し、要求仕様および品質、信頼性目標を満足しているかを確認します。（表 2.1）

表 2.1 MG600Q2YMS3 の信頼性試験の例

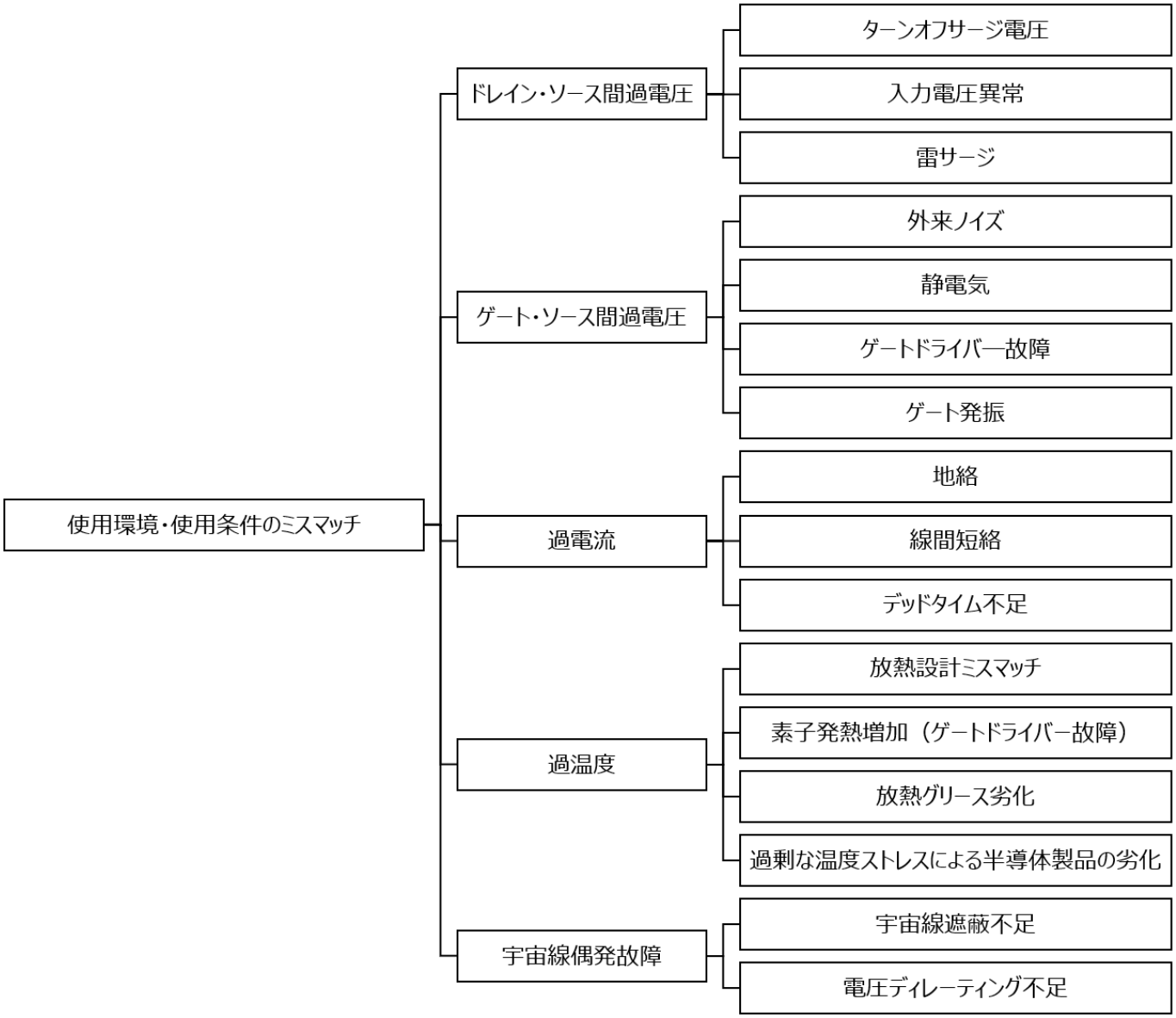
項目	準拠規格	試験条件
温度サイクル	EIAJ ED-4701	-40℃(60min)~150℃(60min)
振動	EIAJ ED-4701	100～2000Hz、200m/s^2 X,Y,Z 方向
衝撃	EIAJ ED-4701	5000m/s^2、パルス幅：1ms X,Y,Z 方向 5 回
端子強度	EIAJ ED-4701	主端子：4.5N·m
高温逆バイアス	EIAJ ED-4701	V_{DS}=1200V、 T_{ch}=150℃
高温保存	EIAJ ED-4701	T_a=150℃
低温保存	EIAJ ED-4701	T_a=-40℃
高温高湿保存	EIAJ ED-4701	T_a=85℃、RH=85%

© 2023 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

3. SiC MOSFET モジュールの故障要因

SiC MOSFET モジュールが故障に至る要因は以下のようなものが考えられます。（表 3.1）

表 3.1 SiC MOSFET モジュールの故障モード



© 2023 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

4. SiC MOSFET チップの信頼性

この章では SiC MOSFET の信頼性と Si MOSFET、Si IGBT の信頼性を比較しながら使用上の注意点などを述べます。

4.1. SiC MOSFET のゲート信頼性

SiC MOSFETのゲート酸化膜は、Si IGBTと同じSiO_2でできており、その電気的な性質（破壊電圧等）は物質として同じものです。当社のSiC MOSFETのゲート電界強度に対する耐量はSi IGBTのゲート酸化膜と同等のレベルを確保しています。

また、実使用上の信頼性を担保するために、製品ごとに決められた条件（ゲートバイアス電圧の絶対最大定格、最大ジャンクション温度）で試験し、故障がないことを確認しています。（表4.1.1）

表 4.1.1 MG800FXF2YMS3 のゲート信頼性試験条件

項目	条件	試料数	故障数
ゲート･ソース間電圧	V_{GS}=+25V, -10V V_{DS}=0V T_{ch}＝175℃ 1000 時間	5	0

4.2. SiC MOSFET の V_{th} 安定性

MOS デバイスのゲートに熱的･電気的ストレスを与えると SiO_2 界面へのキャリアー捕獲に起因した電気的特性変動が発生します。 特にパワー半導体としての SiC MOSFET はこの現象に対して敏感に反応し、V_{th} の変化として現れます。Vth が変化すると、SiC MOSFET モジュールの使用中にオン電圧やスイッチング速度が変化するので、V_{th} の変化は十分小さなものにしなければなりません。当社は SiC MOSFET の V_{th} の変化を最小限に抑える技術を開発し、それを SiC MOSFET モジュール製品のチップに適用しました。（図 4.2.1、4.2.2）

© 2023 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

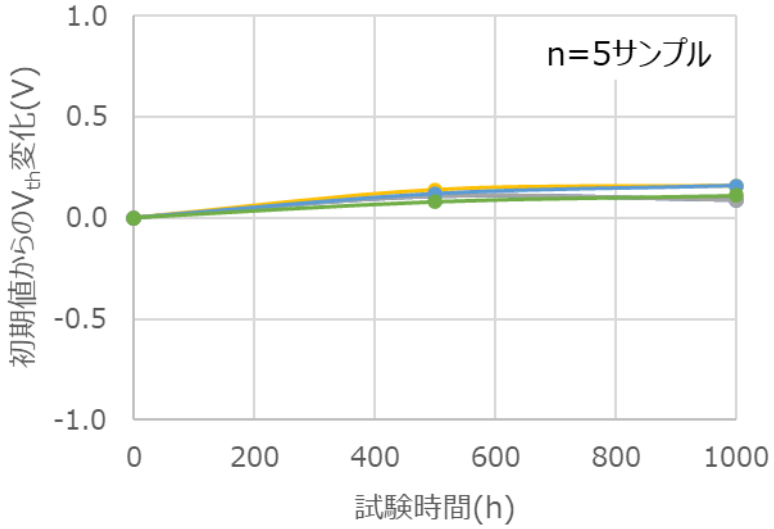


図 4.2.1 ゲート電圧連続印加試験（正バイアス）に伴う Vth の変化
（MG800FXF2YMS3, V_{GS}=+25V, T_{ch}=175℃）

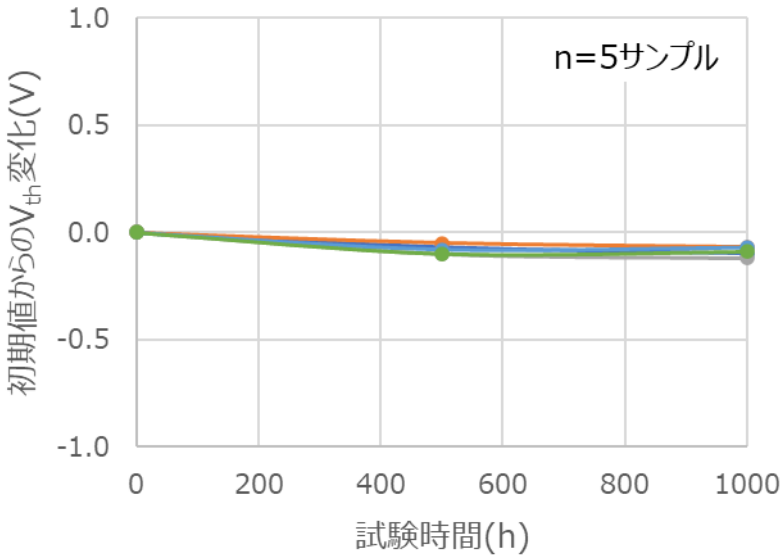


図 4.2.2 ゲート電圧連続印加試験（負バイアス）に伴う Vth の変化
（MG800FXF2YMS3, V_{GS}=-10V, T_{ch}=175℃）

4.3. SBD 内蔵 SiC MOSFET

現在の技術では半導体材料として使用する SiC の結晶の欠陥を完全になくすことができていません。特に SiC MOSFET においては、ドレイン・ソース間に存在する寄生ダイオードに通電すると、SiC 結晶中の欠陥が拡張するという問題がありました。結晶欠陥の拡張は MOSFET のオン抵抗を増大させ、製品の不具合にも繋がります。

当社の SiC MOSFET は 1 チップの中に、寄生ダイオードと並列にショットキーバリアダイオード(SBD）を配置する構造を採用することで、この問題を解決しました。（図 4.3.1）

© 2023 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

MOSFET チップに SBD を内蔵しているため、還流時の逆方向電流は SBD に流れ、寄生ダイオードへの通電を抑制します。そうやって寄生ダイオードを動作させないことで、オン抵抗の増大につながる欠陥の拡張を抑制します。

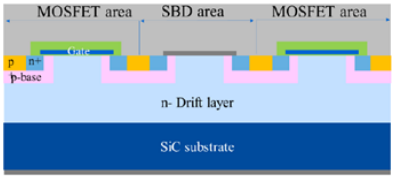


図 4.3.1 SBD 内蔵 SiC MOSFET の構造

4.4. SiC MOSFET の宇宙線による偶発故障

Si MOSFET, Si IGBT を含むパワーデバイスは宇宙から降り注ぐ宇宙線と反応し、シングルイベントバーンアウト(SEB)と呼ばれる偶発故障を起こすことがあります。この現象は標高が高い場所での発生確率が高く、SiC MOSFET モジュールの使用電圧が高いところで発生確率が上昇します。（図 4.4.1）

この故障に対する耐量を LTDS(Long Term DC Stability)と呼びます。SiC MOSFET の使用に際しては十分なディレーティングを行ってください。

標高の高い場所あるいは使用電圧の高い条件での製品の使用に際し、宇宙線偶発故障率の見積をご希望の際はお問い合わせください。

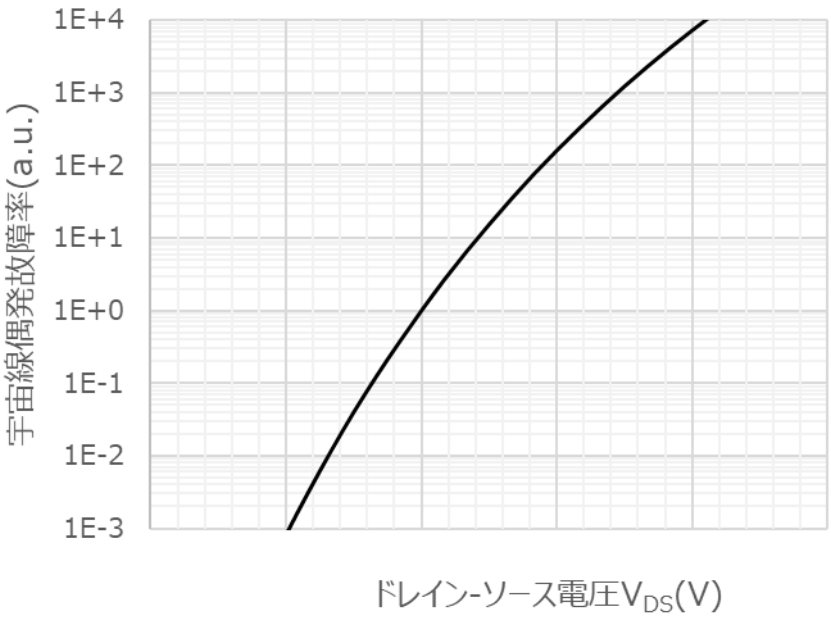


図 4.4.1 SiC MOSFET の LTDS の例

© 2023 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

5. SiC MOSFET モジュールのパッケージの信頼性

パッケージの信頼性は主に熱的ストレスによるものです。SiC MOSFET モジュールは使用条件によって温度の上昇と下降が生じます。この温度変化によって、モジュールの内部構造は熱ストレスによる応力を受けて劣化が進行します。温度変化は運転条件、放熱条件等によって異なるため、それらを考慮して寿命を見積る必要があります。

5.1. SiC MOSFET モジュールの温度サイクルストレスと寿命

一般的なモジュール型ハイパワーデバイスの温度サイクルストレスの破壊箇所は、パッケージの部品間で線熱膨張係数が異なる物質の間で起きます。

主に熱疲労故障が起きるのはチップとボンディングワイヤの接合部と、絶縁基板とベースプレートの間のはんだで、前者はチャネル温度 T_{ch} の熱サイクル、後者はケース温度 T_c の熱サイクル履歴に依存します。

当社の SiC MOSFET モジュールは最新技術を用いて、絶縁基板とベースプレートの間の熱サイクルストレス強度を飛躍的に向上させました。その結果、絶縁基板とベースプレートの間のはんだ脆化破壊より先にボンディングワイヤ剥がれが起きるので、熱ストレス信頼性はチャネル温度 T_{ch} の熱履歴のみを考慮すれば良いことになります。

T_{ch} の熱ストレスによる破壊は温度の上昇と下降を 1 サイクルと数えて破壊までの回数で表します。この際に重要なパラメーターは Tvjmax、ΔT_j、Ton の三つです。Tvjmax はチャネルの最高温度、ΔTvj は 1 回のサイクルにおけるチャネルの最低温度と最高温度の差で、Ton は SiC MOSFET チップが導通している時間、すなわちチップの温度が上昇する時間です。

ボンディングワイヤ接合部は加熱に伴う膨張と収縮によってひずみが生じます。ΔTvj が大きいとひずみは大きくなり、ΔTvj が大きい方が寿命が短くなります。（図 5.1.1）ΔTvj が同じ場合、Ton が長いほどひずみの影響が残りやすいため、寿命が短くなります。（図 5.1.2）ΔTvj と Ton の両方を考慮する必要があります。 それぞれの品種のサイクル数カーブをご希望の際はお問い合わせください。

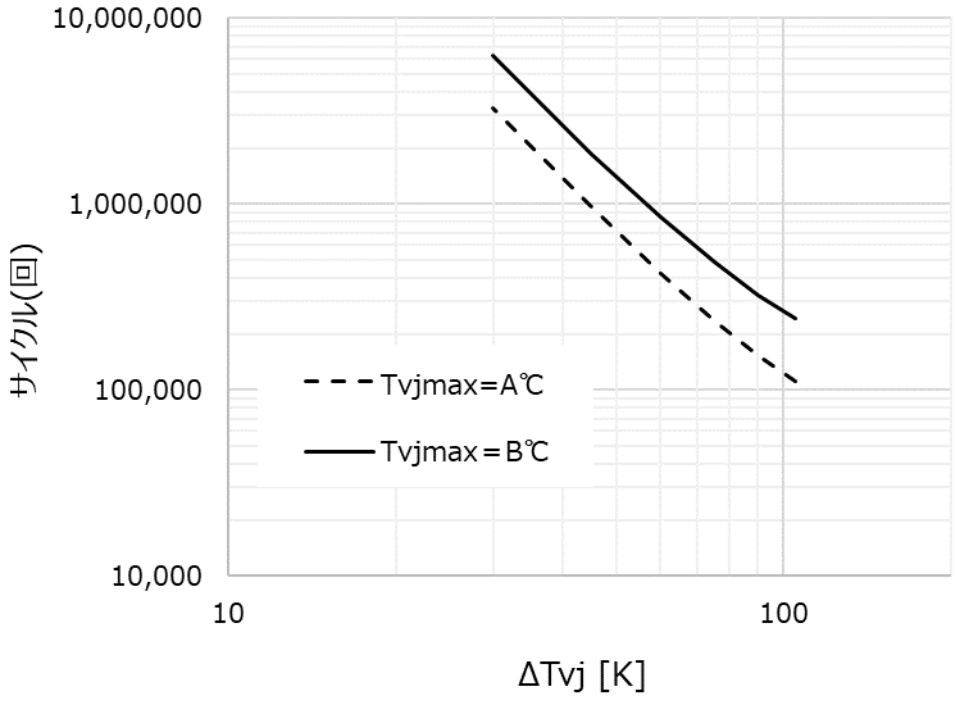


図 5.1.1 ΔTvj とサイクル数の関係を示すカーブの例

© 2023 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation

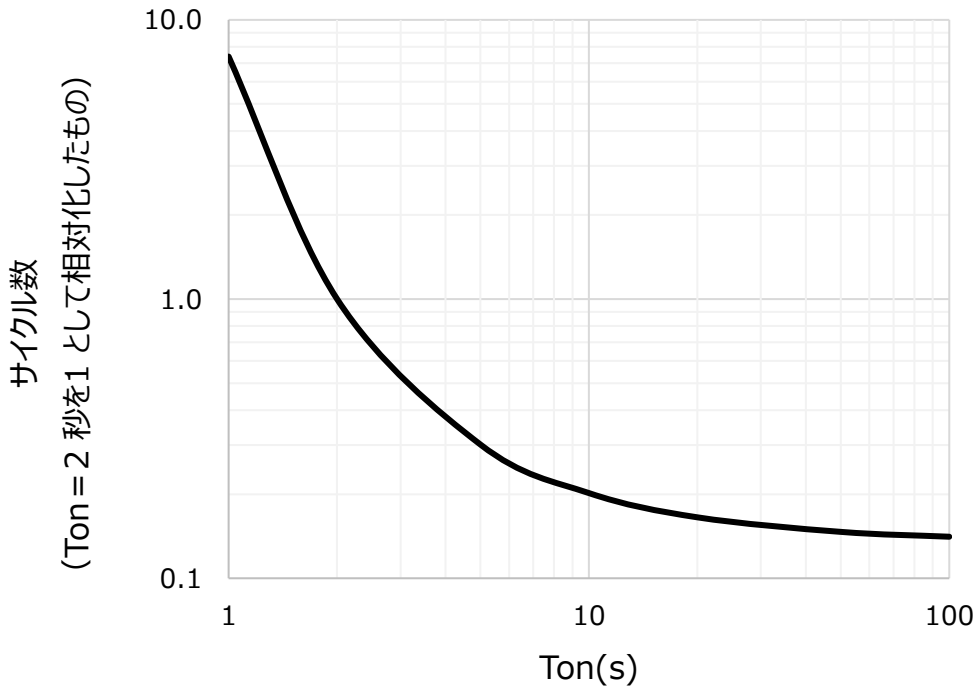


図 5.1.2 Ton とサイクル数の関係を示すカーブの例（Ton＝2 秒を 1 として相対化したもの）

© 2023 - 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/

© 2023 - 2024
Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation