

Power Diodes

RENESAS パワーダイオード 電気特性の定義と使い方

要旨

本アプリケーションノートでは、データシートに記載された内容を中心に、ダイオードの特性や基本的な使用方法について説明します。本アプリケーションノートで記載するダイオードとは、主に FRD（ファーストリカバリーダイオード）のことを指しています。

目次

1. パワーダイオードとは.....	2
2. 用語説明	2
2.1 絶対最大定格	2
2.2 電気的特性.....	3
3. 電気的特性.....	3
3.1 静特性.....	3
3.2 スイッチング特性.....	4
3.2.1 逆回復特性.....	4
3.2.2 di/dt・サージ電圧	5
3.2.3 リンギング.....	6
3.2.4 V_F と E_{rr} のトレードオフ関係	8
改訂記録.....	9

1. パワーダイオードとは

ダイオード (Diode) は、整流作用 (電流を一定方向にしか流さない作用) を持つ半導体素子です。用途に応じてダイオードのみで使用する場合や、IGBT と並列接続して使用する場合があります。

2. 用語説明

2.1 絶対最大定格

絶対最大定格とはダイオードを安全にご使用頂くために規定された定格値です。

この絶対最大定格を瞬時でも超えると劣化や破壊に至る可能性がありますので必ず最大定格以内でご使用下さい。

表 1 絶対最大定格

用語	記号	定義
逆方向電圧	V_R, V_{RM}	カソード・アノード間に印加できる電圧の最大値
順方向電流	I_F	アノード端子に許容される電流の最大値
	$I_{F(pulse)}, I_{FSM}$	パルス動作時にアノード端子に許容される電流の最大値
内蔵ダイオード順方向電流	I_F	内蔵ダイオードに許容される電流の最大値
	$I_{F(peak)}$	パルス動作時に内蔵ダイオードに許容される電流の最大値
ジャンクション・ケース間熱抵抗	$R_{th(j-c)}$	素子のジャンクションからケースまでの熱抵抗
ジャンクション温度	T_j	素子のジャンクション温度で問題無く動作できる最大値
保存温度	T_{stg}	電力を印加しない状態で保存できる温度範囲

注記事項

本製品の使用条件 (使用温度/電流/電圧等) が絶対最大定格以内であっても、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。弊社半導体信頼性ハンドブック (取り扱い上のご注意とお願いおよびディレーティングの考え方と方法) および個別信頼性情報 (信頼性試験レポート、推定故障率等) をご確認の上、適切な信頼性設計をお願いします。

2.2 電気的特性

表 2 電気的特性

用語	記号	定義
順方向電圧	V_F	指定のダイオード電流におけるアノード・カソード間電圧
逆方向電流	I_R	カソード・アノード間に指定の電圧を印加した時のカソード電流
逆回復時間	t_{rr}	ダイオード電流が順方向から逆方向に切り換わって逆回復電流が流れ始めた時点から、逆回復電流ピーク値の 90%と 50%を結ぶ直線が時間軸と交わるまでの時間
逆回復電流	I_{rr}	ダイオード電流が流れている状態からオフ状態へ切り換わる時に過渡的に逆方向に流れる電流
逆回復電荷量	Q_{rr}	逆回復動作時に消滅する全電荷量

3. 電気的特性

3.1 静特性

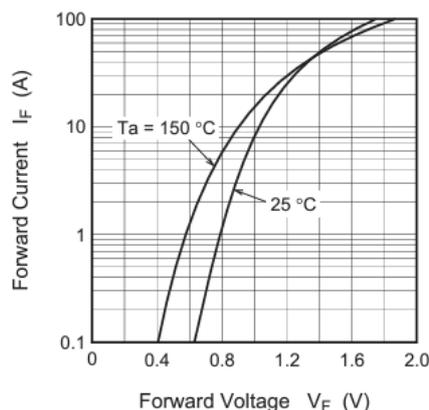


図 1 順方向電圧特性

図 1 に順方向電圧特性を示します。

ダイオード順方向電圧 V_F はダイオード順方向にダイオード電流 I_F を流したときに発生する電圧降下のことです。モータ用途では回生 (Free Wheel) 時の損失を左右する特性であるため V_F は低いほどよく、またダイオード順電流 I_F の大小によって正および負の温度特性があります。

3.2 スイッチング特性

電力変換において、IGBT はスイッチとして使用されます。

スイッチング特性は、図 2 のスイッチング特性測定回路で測定を行っています。

インダクタンス L と並列にクランプダイオードが接続されていますので、IGBT のターンオン時間（ターンオン損失）は、本ダイオードのリカバリー特性の影響も受けます。

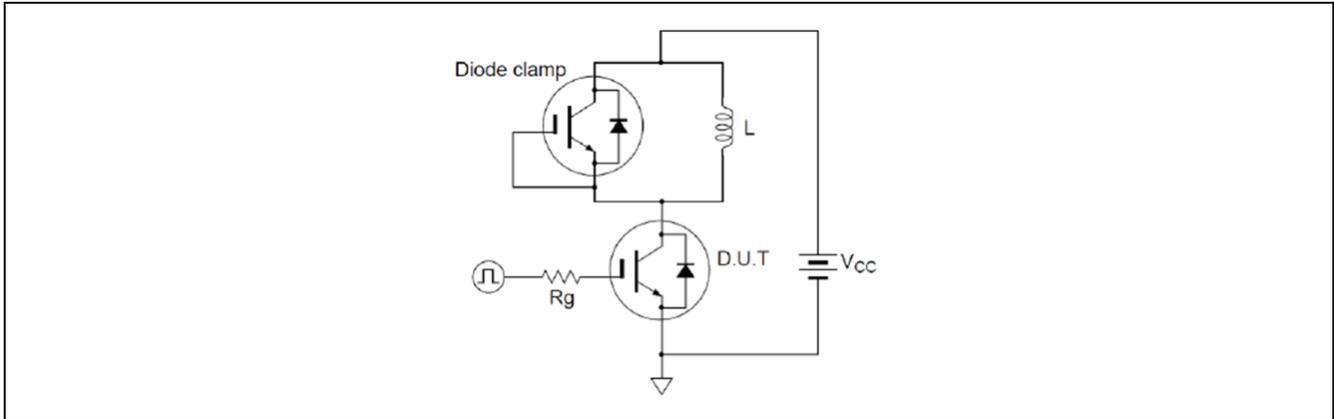


図 2 スイッチング特性測定回路

3.2.1 逆回復特性

ダイオードに順方向電流を流している状態から逆阻止状態へ切り替わるとき、蓄積された少数キャリアが放出されます。この少数キャリアを放出し終えるまでの時間が逆回復時間 (t_{rr}) と呼ばれ、その時の電流を逆回復電流 (I_{rr})、それらの積分値を逆回復電荷量 (Q_{rr}) と呼びます。

$$Q_{rr} = 1/2 I_{rr} \times t_{rr}$$

t_{rr} 期間は等価的に短絡状態となりますので、大きな損失を伴います。またスイッチング動作時に動作周波数の制約になるため、一般的には t_{rr} が早く、 I_{rr} が小さい (Q_{rr} が小さい) ことが望ましいとされています。これらの特性は、順方向電流 I_F 、 di_F/dt 、ジャンクション温度 T_j に大きく依存します。

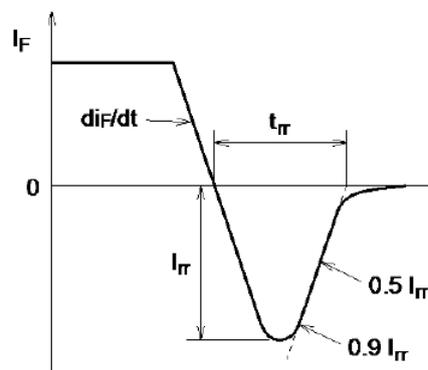


図 3 逆回復特性

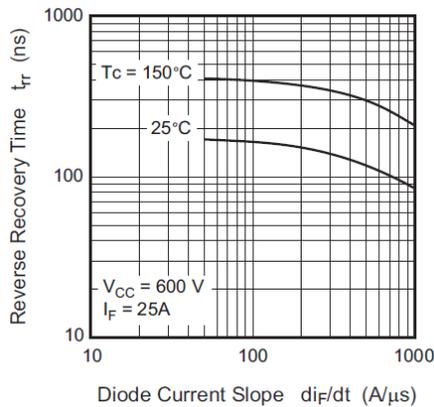
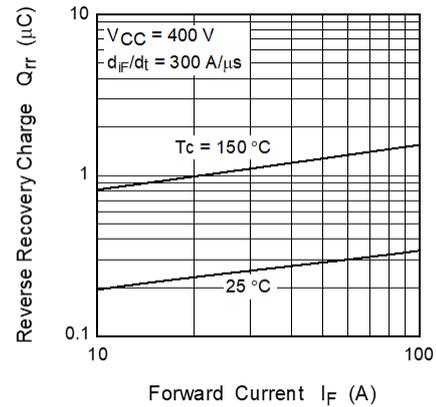
図 4 逆回復時間・ di_F/dt 依存性

図 5 逆回復時間・電流依存性

しかしながら t_{rr} が早くなると、リカバリー時の di_F/dt が急峻となり、それに伴いコレクタ-エミッタ電圧の dv/dt も急峻となることからノイズが発生しやすくなります。ノイズの対策例を以下に示します。

- 1) di_F/dt を低減 (IGBT のターンオン時間を遅くする)。
- 2) IGBT のコレクタ・エミッタ間にスナバコンデンサを追加し、コレクタ・エミッタ電圧の dv/dt を軽減。
- 3) パワーダイオードのソフトリカバリ化
逆回復特性は、素子の耐圧及び、容量に大きく依存します。特性改善の手法としては、ライフタイム制御や、重金属拡散などがあります。

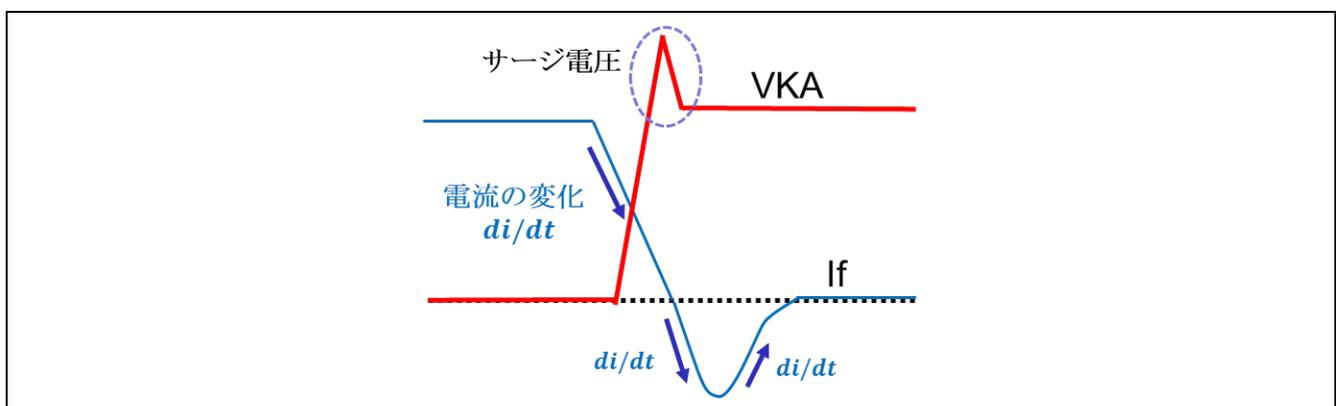
3.2.2 di/dt ・サージ電圧

di/dt とは、スイッチング過渡期の電流の変化量を指します。

FRD 動作時においてリカバリー電流が急激に収束し、急峻な di/dt によって寄生インダクタンスでサージ電圧が発生します。

$$V_{\text{surge}} = L \times di/dt$$

高電圧大電流で発生するサージ電圧は大きく、定格を超えると製品の破壊につながるため重要なポイントになります。

図 6 サージ電圧と di/dt

3.2.3 リンギング

図7のように、理想的な信号に比べ波形が発振してしまう現象をリンギングと呼びます。

リンギングの発生原因はいくつかあり、本項では寄生成分とダイオードリカバリー動作によるものに限って触れます。

- 寄生成分によるリンギング

導線の寄生インダクタンスやIGBTの寄生容量などの寄生成分（図8）により、リンギングが発生します。できるだけ配線の短い設計をし、対策をする必要があります。

並列動作時におけるリンギング（ゲート発振）については[こちら](#)をご参照ください。

- 小電流時ダイオードリカバリー動作によるリンギング

小電流時、ダイオードのリカバリー動作時にリカバリー電流が発生し、電流の急峻な収束によりリンギングが起こります。（図9）

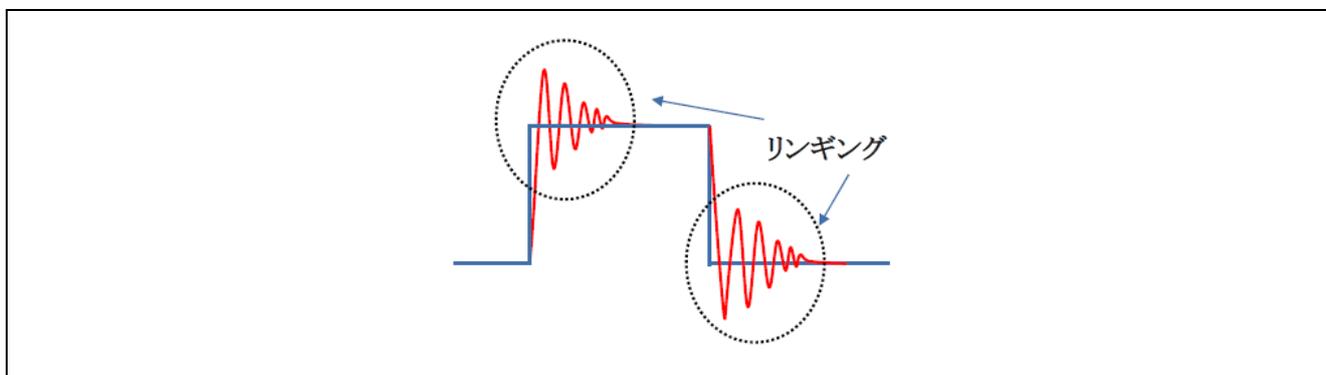


図7 リンギング

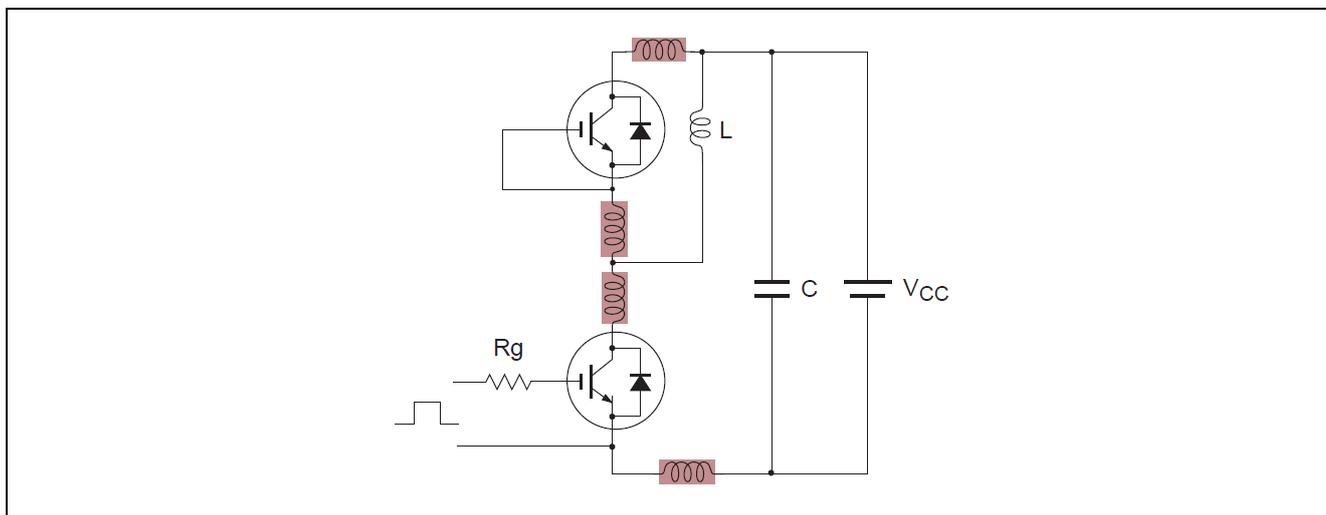


図8 回路の寄生成分

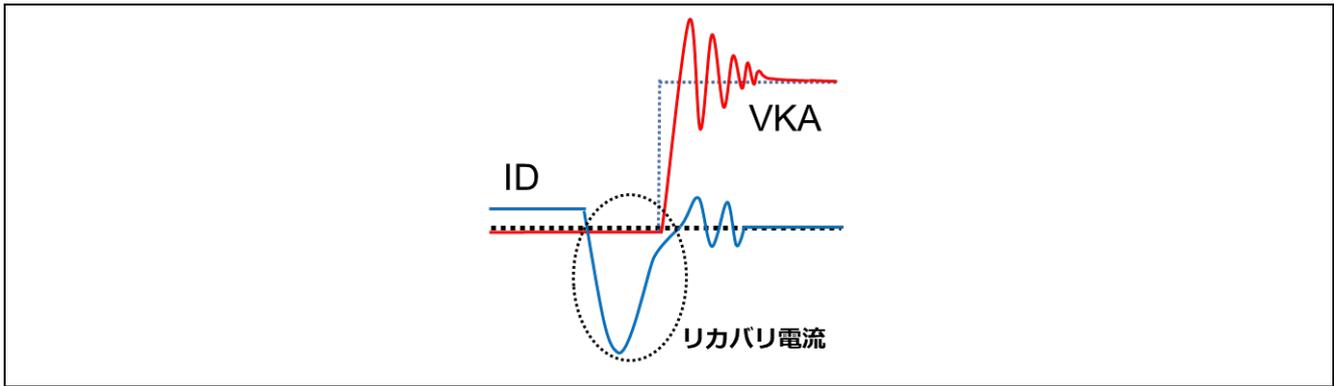


図9 小電流時リカバリ電流によるリングング

図10 に弊社製品 AE5 と他社製品の低電流時リカバリ電流によるリングング比較を示します。

定格 750V/300A の製品において 5 A で動作した場合でも弊社製品 AE5 ではリングングは発生しておらず、他社製品では 160V 程度のサージ電圧及びリングングが発生しています。

IGBT の R_{g_on} を大きくすることで、これらを抑制することができますが、弊社製品 AE5 のダイオードは、その点で優位であるため、他社品と比べ R_{g_on} を小さく抑えることができます。

最終的には EMI ノイズを考慮し R_g を設定してください。

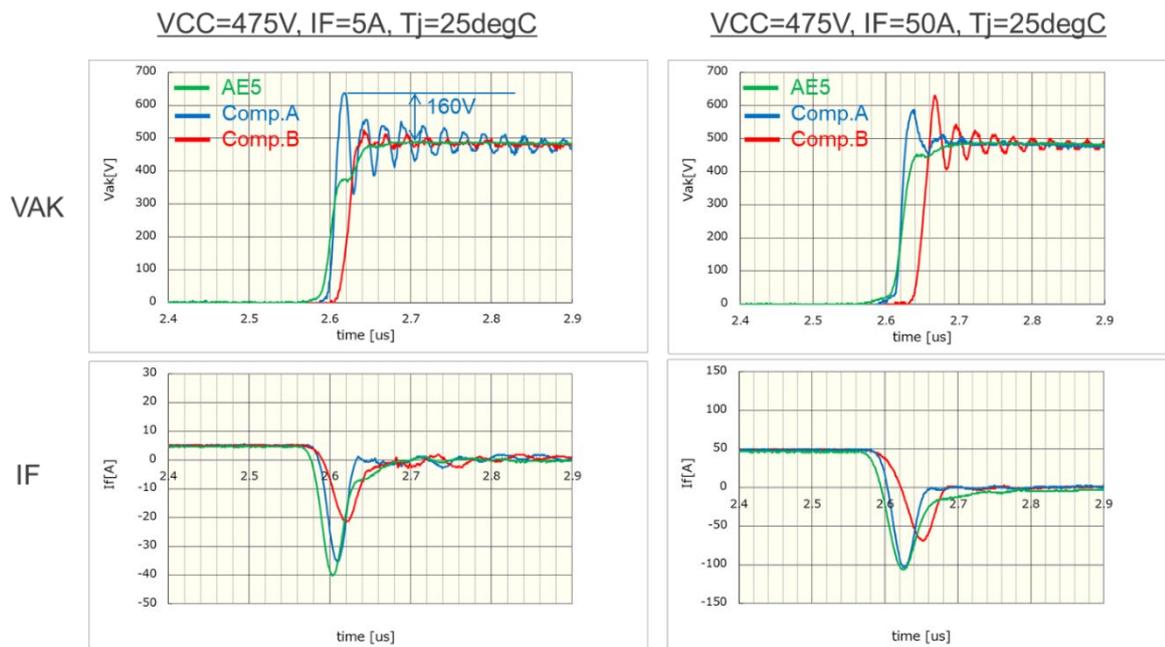


図10 小電流時リカバリ電流によるリングング他社品比較

低温環境下においては更にリングングが発生しやすくなりますが、弊社製 AE5 では低温環境下でもリングングの発生を抑制しています。

Test condition : $V_{cc}=480V, I_F=20, 10A, T_j=-40degC, R_g=1ohm, L_s=50nH$

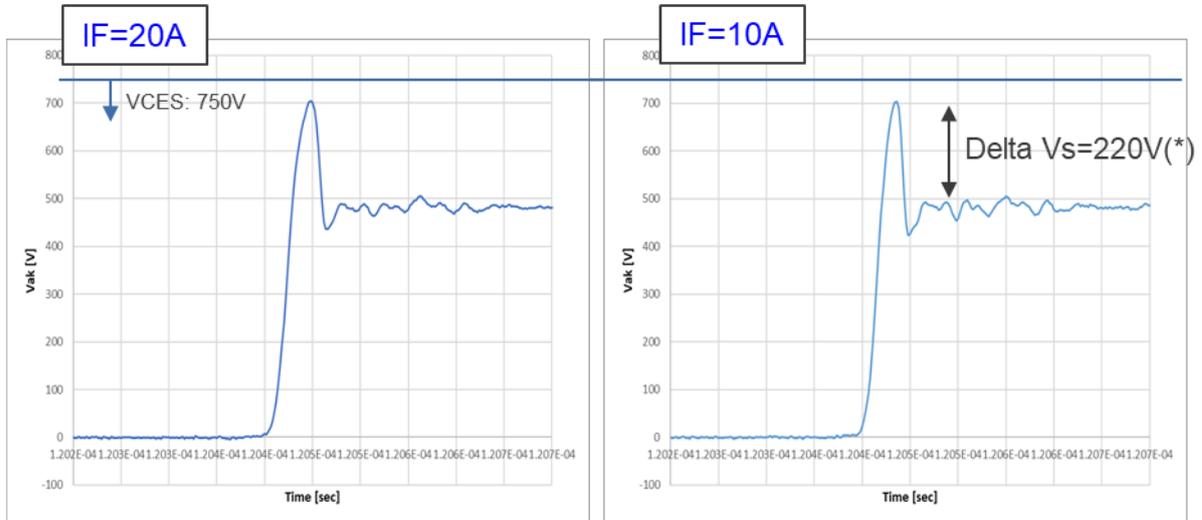
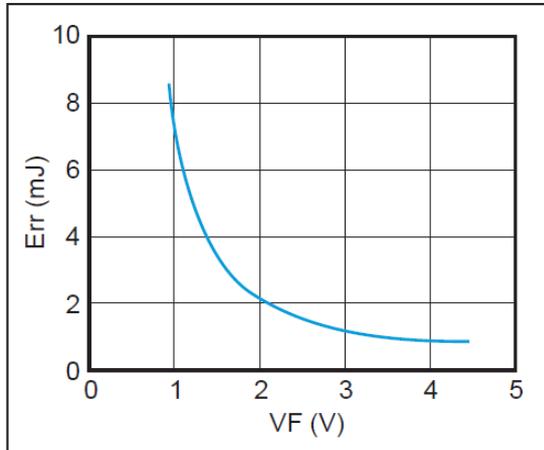


図 11 低温環境下におけるリングング抑制

3.2.4 V_F と E_{rr} のトレードオフ関係



ダイオードを IGBT と組み合わせてスイッチング動作させた場合、 V_F に起因する導通損失と E_{rr} に起因するスイッチング損失が発生します。

この両者間はトレードオフ関係にあり V_F が小さい製品仕様の場合は E_{rr} が大きくなります。

実際の使用用途及び条件によって最適な特性バランスは異なります。

弊社製ダイオードは仕様用途に合わせた特性バランスのものを採用しています。

改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	2024.11.18		初版

ご注意書き

1. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合、お客様の責任において、お客様の機器・システムを設計ください。これらの使用に起因して生じた損害（お客様または第三者いずれに生じた損害も含まれます。以下同じです。）に関し、当社は、一切その責任を負いません。
2. 当社製品または本資料に記載された製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズム、応用回路例等の情報の使用に起因して発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権に対する侵害またはこれらに関する紛争について、当社は、何らの保証を行うものではなく、また責任を負うものではありません。
3. 当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
4. 当社製品を組み込んだ製品の輸出入、製造、販売、利用、配布その他の行為を行うにあたり、第三者保有の技術の利用に関するライセンスが必要となる場合、当該ライセンス取得の判断および取得はお客様の責任において行ってください。
5. 当社製品を、全部または一部を問わず、改造、改変、複製、リバースエンジニアリング、その他、不適切に使用しないでください。かかる改造、改変、複製、リバースエンジニアリング等により生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
6. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」および「高品質水準」に分類しており、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使用されることを意図しております。

標準水準： コンピュータ、OA 機器、通信機器、計測機器、AV 機器、家電、工作機械、パーソナル機器、産業用ロボット等

高品質水準： 輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通制御（信号）、大規模通信機器、金融端末基幹システム、各種安全制御装置等

当社製品は、データシート等により高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、直接生命・身体に危害を及ぼす可能性のある機器・システム（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの等）、もしくは多大な物的損害を発生させるおそれのある機器・システム（宇宙機器と、海底中継器、原子力制御システム、航空機制御システム、プラント基幹システム、軍事機器等）に使用されることを意図しておらず、これらの用途に使用することは想定していません。たとえ、当社が想定していない用途に当社製品を使用したことにより損害が生じても、当社は一切その責任を負いません。

7. あらゆる半導体製品は、外部攻撃からの安全性を 100%保証されているわけではありません。当社ハードウェア/ソフトウェア製品にはセキュリティ対策が組み込まれているものもありますが、これによって、当社は、セキュリティ脆弱性または侵害（当社製品または当社製品が使用されているシステムに対する不正アクセス・不正使用を含みますが、これに限りません。）から生じる責任を負うものではありません。当社は、当社製品または当社製品が使用されたあらゆるシステムが、不正な改変、攻撃、ウイルス、干渉、ハッキング、データの破壊または窃盗その他の不正な侵入行為（「脆弱性問題」といいます。）によって影響を受けないことを保証しません。当社は、脆弱性問題に起因したまたはこれに関連して生じた損害について、一切責任を負いません。また、法令において認められる限りにおいて、本資料および当社ハードウェア/ソフトウェア製品について、商品性および特定目的との合致に関する保証ならびに第三者の権利を侵害しないことの保証を含め、明示または黙示のいかなる保証も行いません。
8. 当社製品をご使用の際は、最新の製品情報（データシート、ユーザーズマニュアル、アプリケーションノート、信頼性ハンドブックに記載の「半導体デバイスの使用上の一般的な注意事項」等）をご確認の上、当社が指定する最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他指定条件の範囲内でご使用ください。指定条件の範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障、誤動作の不具合および事故につきましては、当社は、一切その責任を負いません。
9. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めていますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は、データシート等において高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、耐放射線設計を行っておりません。仮に当社製品の故障または誤動作が生じた場合であっても、人身事故、火災事故その他社会的損害等を生じさせないよう、お客様の責任において、冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等の安全設計およびエージング処理等、お客様の機器・システムとしての出荷保証を行ってください。特に、マイコンソフトウェアは、単独での検証は困難なため、お客様の機器・システムとしての安全検証をお客様の責任で行ってください。
10. 当社製品の環境適合性等の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合せください。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、適用される環境関連法令を十分調査のうえ、かかる法令に適合するようご使用ください。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、一切その責任を負いません。
11. 当社製品および技術を国内外の法令および規則により製造・使用・販売を禁止されている機器・システムに使用することはできません。当社製品および技術を輸出、販売または移転等する場合は、「外国為替及び外国貿易法」その他日本国および適用される外国の輸出管理関連法規を遵守し、それらの定めるところに従い必要な手続きを行ってください。
12. お客様が当社製品を第三者に転売等される場合には、事前に当該第三者に対して、本ご注意書き記載の諸条件を通知する責任を負うものいたします。
13. 本資料の全部または一部を当社の文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを禁じます。
14. 本資料に記載されている内容または当社製品についてご不明な点がございましたら、当社の営業担当者までお問合せください。

注 1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサス エレクトロニクス株式会社およびルネサス エレクトロニクス株式会社が直接的、間接的に支配する会社をいいます。

注 2. 本資料において使用されている「当社製品」とは、注 1 において定義された当社の開発、製造製品をいいます。

(Rev.5.0-1 2020.10)

本社所在地

〒135-0061 東京都江東区豊洲 3-2-24（豊洲フォレシア）

www.renesas.com

お問合せ窓口

弊社の製品や技術、ドキュメントの最新情報、最寄の営業お問合せ窓口に関する情報などは、弊社ウェブサイトをご覧ください。

www.renesas.com/contact/

商標について

ルネサスおよびルネサスロゴはルネサス エレクトロニクス株式会社の商標です。すべての商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。