

## Application Brief

## 大電力アプリケーションに TI ツェナー ダイオードを選ぶ理由



McKenzie Eaker

## はじめに

ツェナー ダイオードは、多くの DC 電圧レギュレーション アプリケーションで広く使用されています。このような用途では、不十分な電力容量は過度の発熱を引き起こし、最終的にダイオードやその周辺部品を損傷するおそれがあるため、デバイスの電力性能が非常に重要になります。TI は、市場で最も広く使われている SOT-23 パッケージの大電力ツェナー ダイオードを開発することで、この課題を解決しました。SOT-23 は、リード付き 3 ピンパッケージで、約 2.9mm × 2.4mm のサイズです。デバイスの材料組成と独自のリードフレームにより、放熱性能は従来比で約 50% 向上しています。放熱性能の向上により、消費電力の全体的な許容値が高くなります。以下のセクションでは、TI が大電力 SOT-23 ツェナーダイオードを開発した手順、開発中に実施した競合分析、アプリケーション事例について詳しく説明します。

## 競合分析

SOT-23 パッケージは、数十年にわたりツェナー ダイオード市場の主流でした。このパッケージは、さまざまな種類のダイオードとマルチチャネル対応製品を収容できる柔軟性を備えています。しかし、このパッケージには出力電力の制限という課題があり、SOT-23 ツェナーの市場では主に 300mW がその上限となっています。消費電力の主な要因は、デバイスの放熱性能、具体的には  $R_{\theta JA}$  です。 $R_{\theta JA}$  は、接合部-周囲間の熱抵抗を示し、特定のテストクーボン、通常は片面銅箔の FR-4 プリント基板に実装されたパッケージの放熱性能を測定する指標です。このテストクーボンにより、企業間での容易な比較が可能になります。

$R_{\theta JA}$  が低いほど、パッケージは接合部温度と周囲温度の間で熱をより容易に伝達できることを示します。これは、パッケージの放熱効率が高いことを意味します。これにより、デバイスの過熱が防がれ、デバイスの寿命を延長できる可能性も高くなります。表 1 に示すように、TI の  $R_{\theta JA}$  と、現在市場に出ているいくつかの競合メーカーの間には、顕著な違いがあります。競合 C 社は、消費電力の点で次に高い異なるパッケージを使用しています。これは、ボディサイズが 20% 小さい TI の SOT-23 が、SOD-123 ツェナーの領域でも競合できることを示すために記載されています。

表 1. ツェナー ダイオードの競合分析

	TI	A 社	B 社	C 社
$R_{\theta JA}$	285.5°C/W	417°C/W	500°C/W	338°C/W
$P_D$	430mW	300mW	250mW	370mW
パッケージ	SOT-23	SOT-23	SOT-23	SOD123
ボディ エリア	3.8mm <sup>2</sup>	3.8mm <sup>2</sup>	3.8mm <sup>2</sup>	4.8mm <sup>2</sup>

表 1 には、消費電力 ( $P_D$ ) も記載されています。デバイスの全体的な消費電力を算出するには、次の式を使用します。ここで  $T_J$  は接合部温度、 $T_A$  は周囲温度です。接合部温度上限が 150°C、周囲温度が 25°C の場合、上記で示した  $R_{\theta JA}$  を用いて消費電力を計算できます。これは、表 1 に記載されているすべての値に対して有効です。

$$T_J = T_A + (P_D \times R_{\theta JA}) \quad (1)$$

## 材料組成

特に小型パッケージにおいては、消費電力の課題を克服するには、材料組成が極めて重要となります。これにはリードフレームの材質、マウントコンパウンド、モールドコンパウンドなどが含まれます。競争製品においては、鉄ニッケル合金製リードフレームが採用されていますが、この材料には熱伝導率が低いという課題があります。鉄ニッケル合金は、数十年に

わたくし使用されている材料ですが、材料や構造上の理由から剥離やはんだ接合部の問題が生じることが知られています。代替材料として使用される銅合金リードフレーム材料は、はるかに高い熱伝導率を備えています。この材料の違いにより、TIのSOT-23 ツェナーダイオードは、[図1](#)で示すように、長期間にわたって優れた性能を発揮します。この図は、TIのSOT-23パッケージと競合他社のSOT-23パッケージにおける $R_{\theta JA}$ の時間変化を比較したものです。熱解析を行う際には、ダイ厚、ダイアタッチ、リードフレーム材料、リードフレーム設計などのいくつかのパラメータは実際の構成に即して設定されています。ダイサイズとPCBは一定の状態、2つのデバイスの正確な比較を行いました。

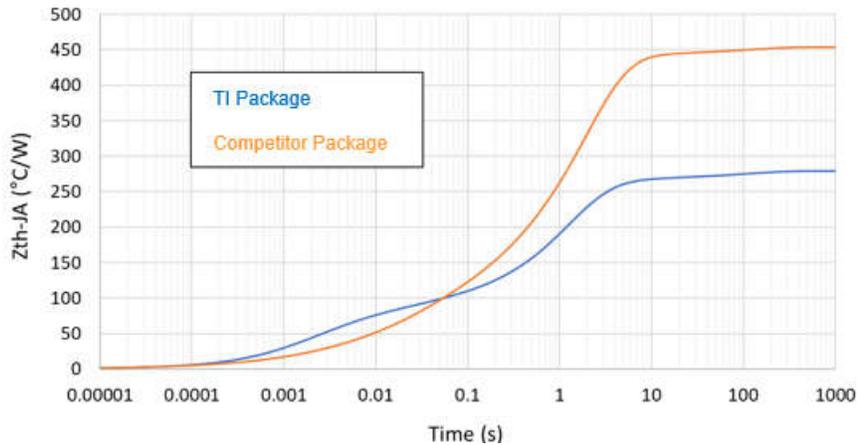


図 1. SOT-23 パッケージの熱性能比較

[図1](#)に基づくと、競合他社のデバイスは短時間においてTIデバイスよりやや優れています。これは、ダイアタッチ材料が原因です。ダイアタッチは、ダイをリードフレームに接続するために使われる材料です。競合他社のデバイスは、純銀のダイアタッチと裏面メッキの採用により、短時間の放熱特性を向上させていますが、この方法はコストがかかります。下の画像は、競合デバイスのダイアタッチの材料組成を示すものであり、その大部分は銀 (Ag) です。純銀のダイアタッチに代わる材料として銀系エポキシを使用する方法もあります。銀系エポキシでは純銀と同じレベルの熱伝導率を実現できませんが、製造時間を短縮し、信頼性を高めることができます。デバイスの設計には常にトレードオフが伴いますが、このケースでは選択した方法が消費電力の大幅な改善という大きなメリットをもたらしました。

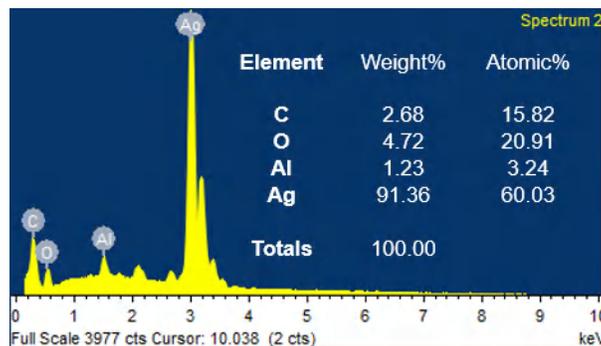


図 2. ダイアタッチの組成

## リードフレーム設計

放熱性能に寄与するもう 1 つの要素がリードフレームの設計です。SOT-23 で一般的な 2 種類のリードフレーム設計を以下に図で示します。これらの設計は通常、スタンダードリードフレームまたはスプリットリードフレームと呼ばれます。スタンダードリードフレームは、ダイが載る大きな中央パドルを持ち、このパドルが外側のパドルに接合されています。スタンダードリードフレーム設計では、サイズの制約のため、ダイを外側のパドルに載せることはできません。スプリットリードフレームは、リードフレームが連続した構造ではなく、分割された構造を指します。SOT-23 スプリットリードフレームでは、デバイスの構成に応じて、ダイを中央パドルまたは外側パドルに載せることができます。これら 2 つのリードフレームスタイルを比較すると、スタンダードリードフレームの中央パドルは明らかに大きくなっています。この大きなパドルにより放熱性が向上し、全体的に優れた放熱性能を得ることができます。

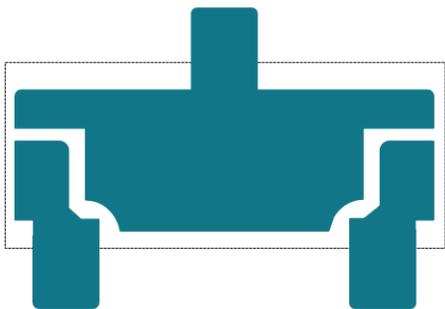


図 3. SOT-23 スタンダードリードフレーム

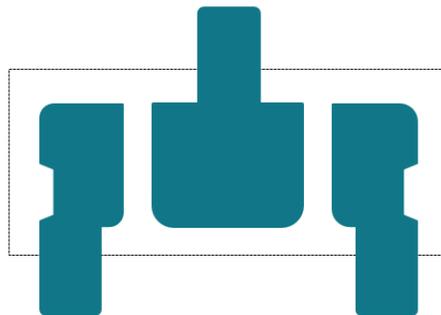


図 4. SOT-23 スプリットリードフレーム

## アプリケーション

より大電力のツェナー ダイオードは、医療機器、電動工具、スマートメーター、先進運転支援システム (ADAS) などさまざまな用途で有効です。ADAS システムにおいては、一般的に 350mW ~ 500mW の大電力ツェナー ダイオードが逆バッテリー保護用途で使用されています。このような設計では、通常、電力性能の高い SOD123 ツェナー ダイオードが採用されていますが、TI は SOT-23 パッケージで同等の電力性能を実現しています。SOT-23 と SOD123 は PCB 上の専有面積はほぼ同じでありながら、SOT-23 は薄く、ボディサイズが小さく、コスト効率にも優れています。

ADAS 向け TIDA-050008 リファレンスデザインの回路図 (下図) に示すように、過電圧事象発生時にコンパレータの電圧をクランプするために、15V、370mW の SOD-123 ツェナー ダイオードが使用されています。コンパレータの電源電圧をクランプする主な目的は、MOSFET の最大ゲート-ソース間電圧 ( $V_{GS(MAX)}$ ) を超えないようにすることです。このアプリケーションでは、15V、430mW の SOT-23 ツェナー ダイオードである TI の BZX84C15V-Q1 (商用製品も有り) を、現在のツェナーと容易に置き換えることができます。

### Reverse Battery Protection

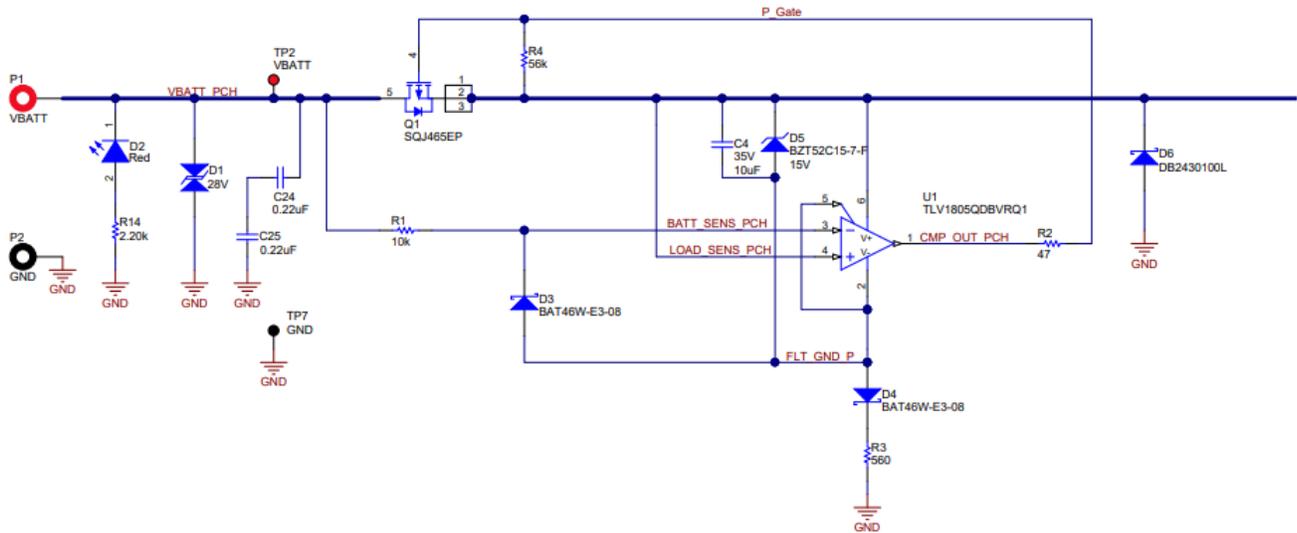


図 5. ADAS 向け逆バッテリー保護

#### まとめ

PCB サイズのスペース制約が厳しさを増し、アプリケーションの消費電力が増加し、プロジェクトの部品表が複雑になる中、より小型で一般的に使用されているパッケージの電力性能を最適化する重要性も高まっています。TI は、大電力 SOT-23 の導入により、SOD123 など他のパッケージが担っていた電力ニーズを集約することでこの目標を達成しました。リードフレームの設計から材料選定までを最適化することで、TI の SOT-23 ツェナー ダイオードは、お客様の多くの課題解決にさらに適した製品となっています。TI のツェナー製品の詳細については、[こちら](#)の TI ページをご覧ください。

#### 商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適したテキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されているテキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかるテキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated