

Application Note

LDO の放熱性能の向上によりダイ サイズの縮小が可能に

Hannah Grace, Bobby Abraham, Jorge Del Rio, Sowmya Sankaranarayanan, Keith Kunz

概要

このアプリケーション ノートでは、テキサス インストルメンツの低ドロップアウトレギュレータ (LDO) の LDO ダイおよびパッケージ サイズの小型化に関する熱特性について説明します。さらに、熱抵抗、FET の説明、設計、LDO の放熱性能に関する概要も紹介します。このアプリケーション ノートでは、 2.68mm^2 のダイ サイズから 0.75mm^2 のダイ サイズに遷移した場合の熱抵抗結果について説明します。別の見方をすると、ダイ面積が 72% 減少したとみなされます。

目次

1 はじめに.....	2
2 シミュレーションおよび測定結果.....	3
2.1 測定.....	4
3 まとめ.....	6
4 参考資料.....	6

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 はじめに

デバイスの機能を決定するうえで、LDO パッケージの熱的制限は重要な要素になります。多くのアプリケーションでは、入力電圧と出力電圧の大きな差を処理するデバイスが必要になるため、システムの消費電力 P_D によって接合部温度 T_J が大幅に上昇する結果になります。高い接合部温度は、寿命全体にわたる信頼性に影響を及ぼし、一般的な故障を促進する可能性があります (『[小型 SMD パッケージに封止した LDO の放熱性能](#)』アプリケーション ノート)。また、 T_J の上昇に伴うサーマル シャットダウンのトリガにより、LDO の動作領域が制限される場合があります。その結果、デバイスは意図したとおりに動作できなくなります。デバイスの寿命と動作を延長するには、熱抵抗 $R_{\theta JA}$ を小さくすることが重要です。熱抵抗は、周囲環境 T_A に対して熱を放散できるパッケージ能力の指標であり、これは通常 [式 1](#) を使用して計算されます。

$$R_{\theta JA} = (T_J - T_A) / P_D \quad (1)$$

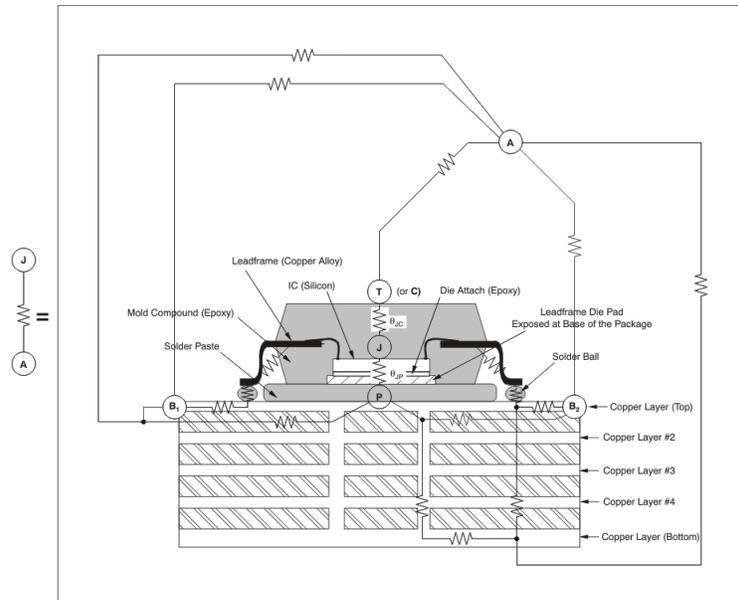


図 1-1. 熱抵抗ネットワーク

また、LDO ダイサイズは熱的制限の原因となる可能性があります。より小さな領域に、同じ量の熱を拡散することで、結果として得られる $R_{\theta JA}$ パラメータが増加します。適切に設計されたダイは、LDO の消費電力で発生する熱を効率的に拡散できます。LDO では、パス FET がデバイスの主な熱源となります。ダイは、シリコンのバルクに熱を分散し、拡散するのに役立ちます。その後、熱は、熱抵抗が最小のパス、または熱伝導率が最大のパスに伝達されます。サーマルパッドが大きいパッケージの場合、熱はシリコンダイを経由して [ダイアタッチ](#) 材質に流れます。ダイアタッチ材質に達した後、熱はサーマルパッドに達してから PCB に伝わり、ここで熱は最終的に周囲 (外部環境とも呼ぶ) に流れます。

また、放熱性能は LDO のパス FET 設計により影響を受けることもあります。適切にレイアウトされたパス FET を使用すると、FET の面積、外周、アスペクト比が最大化され、シリコンダイのバルクを経由してより大きな面積に熱が拡散します。

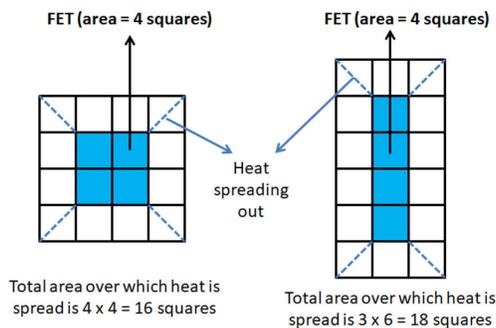


図 1-2. 放熱特性を強化するための FET 再設計

ダイサイズを縮小するために LDO を再設計する場合、FET 形状を変更することで電気的性能を変更できます。また、LDO の電気的性能がデータシートの仕様を満たすように、放熱性能を最適化する必要があります。最終的に、TPS74801 のダイ面積は 72% 以上縮小されながらも、 $R_{\theta JA}$ の仕様は維持され、デバイスの熱仕様と精度を維持する能力が向上しています。

2 シミュレーションおよび測定結果

LDO には、放熱性能に影響を及ぼす、次のような多くの特性があります。

1. パス FET の形状と面積
2. ダイの形状と面積
3. ダイの厚さ
4. ダイアタッチの厚さ
5. ダイアタッチの熱伝導率
6. モールドコンパウンドの熱伝導率
7. 金属層の堆積

これまでの説明を念頭に置いて、TPS748 ダイ (図 2-1) の設計を変更し (図 2-2)、ほぼ同一の放熱性能を維持しながら、ダイ面積を 72% 削減しました。

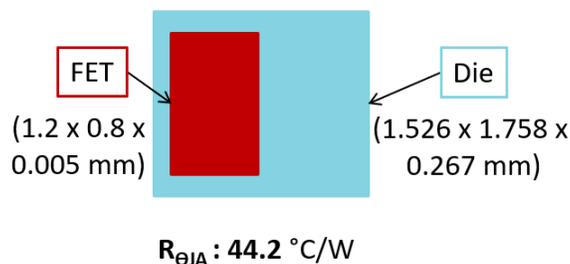
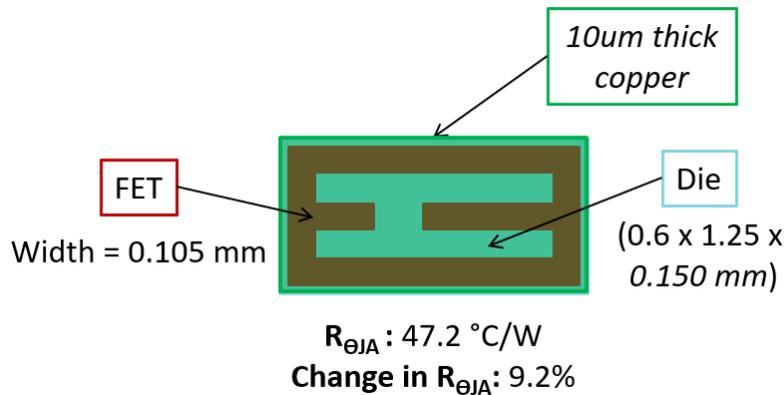


図 2-1. TPS748 の従来のダイ

再設計した TPS748 では、ダイアタッチとモールドコンパウンドを改良し、設計に組み込みました。


図 2-2. TPS748 の新しいダイ

2.1 測定

TPS74801EVM-177 を使用し、25°C の周囲温度 T_A で測定を行いました。『[LDO の熱インピーダンスの in-situ 測定方法](#)』に記載されているテスト手法を使用して、従来の TPS748 設計と新しい TPS748 設計を比較し、測定を行いました。

表 2-1. 従来のダイと新しいダイの放熱性能: V_{IN} および $V_{BIAS} = 3V$

条件	従来のダイ	新しいダイ
V_{OUT}	1.2V	1.2V
I_{OUT}	1A	1A
消費電力 (P_D)	1.8W	1.8W
周囲温度 (T_A)'	132.8°C	122.6°C

表 2-2. 従来のダイと新しいダイの放熱性能: V_{IN} および $V_{BIAS} = 4V$

条件	従来のダイ	新しいダイ
V_{OUT}	1.2V	1.2V
I_{OUT}	1A	1A
消費電力 (P_D)	2.8W	2.8W
周囲温度 (T_A)''	115.3°C	101.9°C

『[LDO の熱インピーダンスの in-situ 測定方法](#)』で述べられている、接合部から周囲への熱抵抗の式を使用して:

従来のダイ:

$$R_{\theta JA} = \frac{T_A' - T_A''}{P_D'' - P_D'} = \frac{132.8^{\circ}\text{C} - 115.3^{\circ}\text{C}}{(4V - 1.2V) \times 1A - (3V - 1.2V) \times 1A} = 17.5^{\circ}\text{C/W} \quad (2)$$

新しいダイ:

$$R_{\theta JA} = \frac{T_A' - T_A''}{P_D'' - P_D'} = \frac{122.6^{\circ}\text{C} - 101.9^{\circ}\text{C}}{(4V - 1.2V) \times 1A - (3V - 1.2V) \times 1A} = 20.7^{\circ}\text{C/W} \quad (3)$$

最後に、サーマルカメラ画像処理を使用して、従来のデバイスと新しいデバイスのケース温度を測定しました。どちらのデバイスも、VSON パッケージで評価基板に配置されました。テスト条件は、 $V_{out} = 1.2V$ 、 $V_{in} = 2.2V$ 、 $V_{bias} = 2.7V$ 、 $I_{out} = 1.5A$ (たとえば、消費電力 = 1.5W) であり、これを 30 分間維持した後、[図 2-3](#) と [図 2-4](#) に示すようにサーマルカメラ画像処理を実施しました。最大ケース温度は、従来のデバイスと新しいデバイスで、それぞれ 71°C および 69°C と測定されました。



図 2-3. 従来の TPS748 デバイスの
サーマル カメラ画像

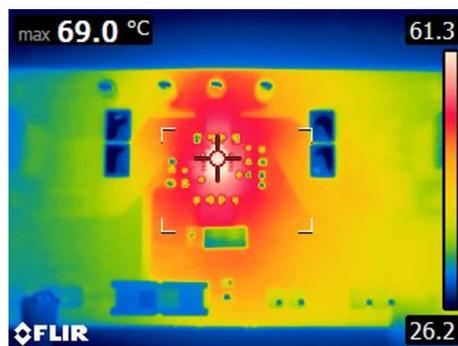


図 2-4. 再設計された TPS748 デバイスの
サーマル カメラ画像

『半導体および IC パッケージの熱評価基準』の論文に記載されている式 8、 $T_J = T_C + (\psi_{JT} \times \text{Power})$ 、およびデータシートに記載されている ψ_{JT} の値を使用して、 T_J を計算すると、従来のダイでは 72.05°C 、新しいダイでは 75.3°C となります。

3 まとめ

ダイは 72% 縮小されましたが、熱抵抗の変化はわずかで、JEDEC 標準レイアウトを使用した場合、従来のダイで 44.2°C/W、新しいダイで 47.2°C/W となりました。『[LDO の熱インピーダンスの in-situ 測定方法](#)』に記載されているテスト手法により忠実なレイアウトである評価基板を使用して、 $R_{\theta JA}$ の値をキャプチャしました。このテスト手法では、従来のダイと新しいダイで $R_{\theta JA}$ は類似した結果を示し、従来のダイでは 17.5°C/W、新しいダイでは 20.7°C/W となりました。 ψ パラメータは、基板の熱測定により与えられる接合部温度を正確に推定することを目的として、JEDEC 委員会が定めたものです。従来および新しい TPS748 LDO の熱画像をキャプチャしました。 ψ_{JT} パラメータを使用すると、従来のダイと新しいダイの接合部温度は、JEDEC シミュレーションと評価基板での測定値と相関し、従来のダイで 72.05°C、新しいダイで 75.3°C を示しました。最終的に、従来と新しい TPS748 LDO デバイスの放熱性能は同等です。

4 参考資料

- テキサス インスツルメンツ、『[小型 SMD パッケージに封止した LDO の放熱性能](#)』アプリケーション ノート。
- テキサス インスツルメンツ、『[TPS748 プログラマブル ソフトスタート機能付き、1.5A 低ドロップアウト リニア レギュレータ](#)』データシート。
- テキサス インスツルメンツ、『[半導体パッケージ アセンブリ テクノロジー](#)』アプリケーション ノート。
- テキサス インスツルメンツ、『[LDO の熱インピーダンスの in-situ 測定方法](#)』アプリケーション ノート。
- テキサス インスツルメンツ、『[TPS74701EVM-177、TPS74801EVM-177 評価基板](#)』。

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