

プリント基板 (PCB) 上の D2PAK の熱測定

SMDパッケージの熱設計推奨 ガイドライン

About this document

Scope and purpose

本アプリケーションノートでは、TO-263 パッケージの 1700 V CoolSiC™ MOSFET の熱性能を分析しています。これらの MOSFET は、1 オンスの銅箔を使用した 2 層基板、2 オンスの銅箔を使用した 2 層基板、1 オンスの銅箔を使用した 4 層基板、2 オンスの銅箔を使用した 4 層基板からなる各プリント回路基板に実装されています。それぞれのデザインで、ビアマトリックスの設計、ビアの直径、ヒートシンクの組み立て方を変えていました。このようにして、SiC MOSFET の温度上昇を検証しました。本調査は、パッケージ内の温度を低く保つために、PCB 上の MOSFET の最適な配置を決定することを目的としています。また、PCB のサイズとコストについても検討しました。本アプリケーションノートをお読みいただくことで、顧客やエンジニアは、実験データで示された精密な放熱特性を活用して、効果的にシステムを設計できます。

Intended audience

プリント基板などのシステム設計を行う電子エンジニア

Table of contents

About this document.....	1
Table of contents.....	1
1 はじめに	3
1.1 目的.....	3
1.2 独立変数.....	3
1.2.1 PCB レイヤー.....	3
1.2.2 銅箔の厚み	3
1.2.3 ビア サイズ	4
1.2.4 ビアの数	4
1.2.5 ヒートシンク	4
2 热測定の設定	6
2.1 電力消費量の測定.....	6
2.2 温度上昇の測定.....	6
2.3 温度測定ポイント	7
3 測定パラメーター.....	8
3.1 プリント基板の層数と銅の厚さ	8
3.2 スルーホール技術 (THT) によるビアの直径	8
3.3 ビアマトリックスサイズ	8
3.4 ヒートシンク	9
3.5 ソルダーマスクの存在	10
3.6 電流.....	10
4 テスト結果と解釈.....	11
4.1 さまざまなタイプの PCB の影響	11
4.2 異なる電流の影響.....	12

Table of contents

4.3	ソルダーマスクの影響	13
4.4	THT ビアの直径の影響	15
4.4.1	0.3 A での 2L1OZ / 2L2OZ のテスト	15
4.4.2	4L1OZ / 4L2OZ の 0.3 A でのテスト	16
4.5	ヒートシンクの影響	18
4.6	ヒートシンクが必要かどうか	19
5	結論	21
6	リファレンス	22
7	付録： PCB	23
	改訂履歴	24

はじめに

1 はじめに

放熱は、回路設計、特にプリント基板 (PCB) のレイアウトにおいて重要なポイントとなります。放熱を最適化するためには、トランジスタ、パッケージ、PCB の相互作用を慎重に設計する必要があります。表面実装デバイス (SMD) の TO-263 パッケージに収められた 1700 V CoolSiC™ MOSFET にはヒートシンクが必要ないため、システムの複雑さ、PCB 設計における冷却の手間が軽減されています。そのため、1700 V CoolSiC™ MOSFET を使用することで、スペースを節約し、PCB のコストを下げるることができます。

一般的に、SMD の放熱性はスルーホールに比べて弱いため、お客様は本製品の熱伝導特性を気にされることがあります。そこで、このアプリケーションノートでは、その熱性能を調査、評価しています。

1.1 目的

以下の実験では、TO-263 パッケージに搭載された 1700 V の SiC MOSFET の温度上昇を、PCB の放熱性のさまざまなケースを調べ、検出しました。テストデータから、銅箔の厚さ、MOSFET 電流、ビア径、ビアマトリックスサイズ、ソルダーマスクとヒートシンクの有無の影響を分析しました。この調査は、ユーザーや技術者にとって、さまざまな制約の下で最も適した放熱方法を決定することを目的としています。

1.2 独立変数

ここでは、MOSFET の熱特性に影響を与える重要な要素を紹介します。

1.2.1 PCB レイヤー

基板上の銅箔は増やすことができるため、PCB の層を追加することで、放熱性を改善できます。PCB 設計では、層数を考慮する必要があります。層数を増やすことで、層間の電磁干渉を最小限に抑えることができます。そのため、信号間の干渉が減少し、プリント基板の寿命が伸びるのであります。さらに、多層プリント基板は、複雑な回路のレイアウト難易度を下げます。一方で、より多くの層を作ることは、製造コストの増加につながります。

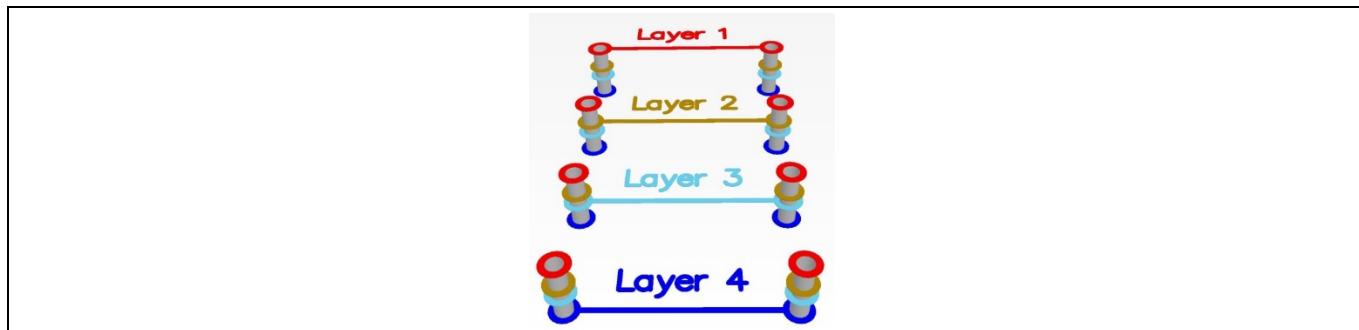


Figure 1 PCB 層のビア

1.2.2 銅箔の厚み

銅箔の厚さは熱伝導率にも影響します。銅箔の厚さは、オンス (oz.) という単位で測ります。オンス (oz.) は重さの単位で、次のようにグラム (g) に換算できます: 1 オンス ≈ 28.35 g。

PCB 業界では、1 オンスは 1 平方フィート (FT²) の面積に均等に広げられた銅の厚さを表します。これは、銅箔の平均的な厚さを表すための単位面積あたりの重量です。

はじめに

$$1\text{FT}^2 = 0.09290304\text{m}^2; \rho_{Cu} = 8.9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{thickness}(t) = \frac{\text{mass}(m)}{\text{area}(S) \cdot \text{density}(\rho)} = \frac{28.35\text{g}}{0.09290304\text{m}^2 \cdot 8.9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} \approx 35\mu\text{m}$$

つまり、1オンスは35 μmの銅の厚さ、2オンスは70 μmの銅の厚さを表しています。

1.2.3 ビアサイズ

さらに、もう一つの重要な要素が、基板上のスルーホールビアの直径です。スルーホールビアのサイズが大きくなればなるほど、放熱効果が大きくなります。しかし、直径が大きすぎると、リフロー溶接の際にハンダの這い上がりという問題が発生することがあります。

下のFigure 2に示すように、テストでは、パッドの下のビア(デバイスのはんだ接合部)とパッドの周りのビア(デバイスのはんだ接合部)の2つのグループのスルーホールビアがあります。

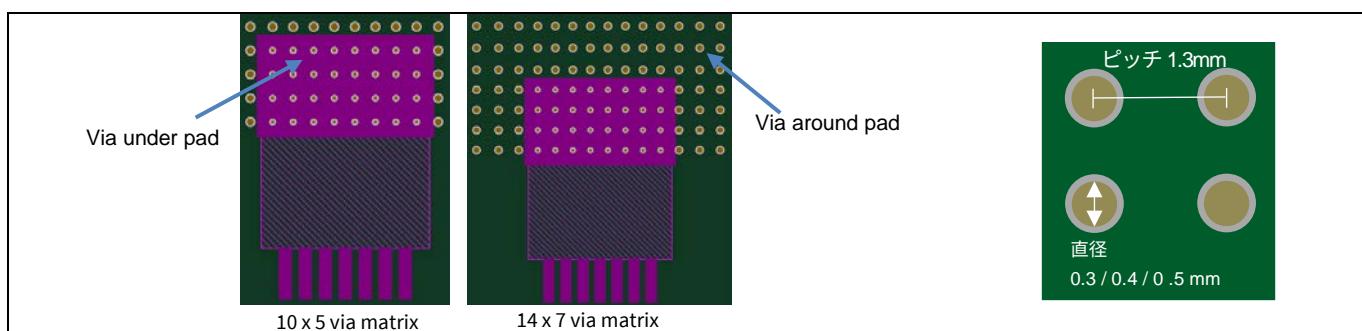


Figure 2 ビアマトリックス番号

1.2.4 ビアの数

さらに、ビアは熱を伝えるのに役立つため、ビアの数を増やせば性能が向上します。すべての測定で、パッドの下のビアマトリックスは同じにし、外側のビアの数を変えました。Figure 2は、2つの異なる配置の例を示したものです。ビアピッチはいずれも1.3 mmです。明らかに、右側のビアマトリックスの方が大きな面積を占めています。ビアマトリックスが大きくなると、パッド周辺の銅の面積が大きくなり、ドレインの銅の総面積が大きくなります。パッドの下の銅の面積をS(67.45 mm²)とすると、10×5のビアマトリックスのドレインの総銅量は1.6S(112.52 mm²)となります。これに対し、14×7のビアマトリックスでは、3.4S(229.35 mm²)の面積を使用します。

1.2.5 ヒートシンク

ヒートシンクとは、電気製品の中で熱を持ちやすい電子部品の熱を、空気などの別の媒体に移す装置のことです。材質はアルミニウム合金、真鍮、青銅などがあり、板状、シート状などの形状があります。

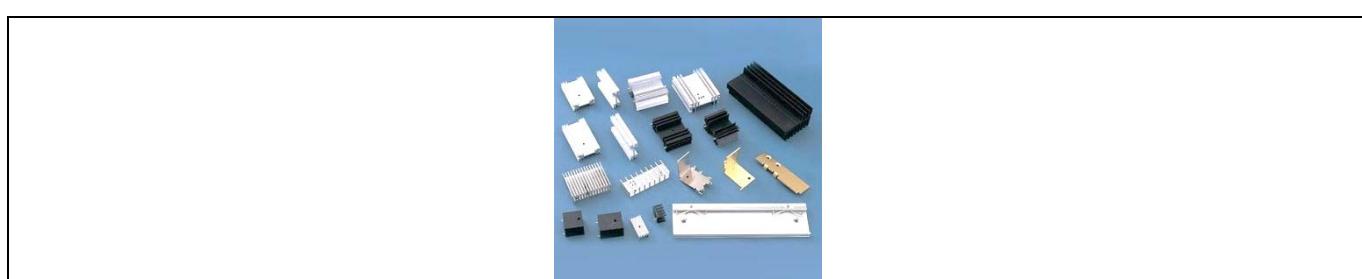


Figure 3 市販されているさまざまなヒートシンク

はじめに

ヒートシンクの効率は、材料の熱伝導率(k)に左右されます。これは、材料の熱伝導率の能力を測るものです。Table 1は、さまざまな材料の熱伝導率を示しています。銀は比較的熱伝導率が高く、熱の放散が速いのですが、銀製のヒートシンクを使うと高価になります。そのため、一般的には価格が手頃な銅が最適な選択となります。また、アルミは銅に比べて熱伝導率が低いため、放熱性を重視しない場合に使用されます。

Table 1 一般的な材料の熱伝導率

素材	k [W/ (m-K)]	素材	k [W/ (m-K)]	素材	k [W/ (m-K)]
Si	150	Cu	401	Sn	64
SiO ₂	1.6	真鍮	70~183	Pb	35
SiC	490	ブロンズ	32~153	ABS	0.25
GaAs	46	アルミニウム	237	ガラス	0.5~1.0
Au	317	Al ₂ O ₃	45	FR4	0.2
Ag	429	AlN	150	フェノール エポキシ樹脂	0.2
Ni	90	Fe	80	空気	0.01~0.04

熱測定の設定

2 熱測定の設定

2.1 電力消費量の測定

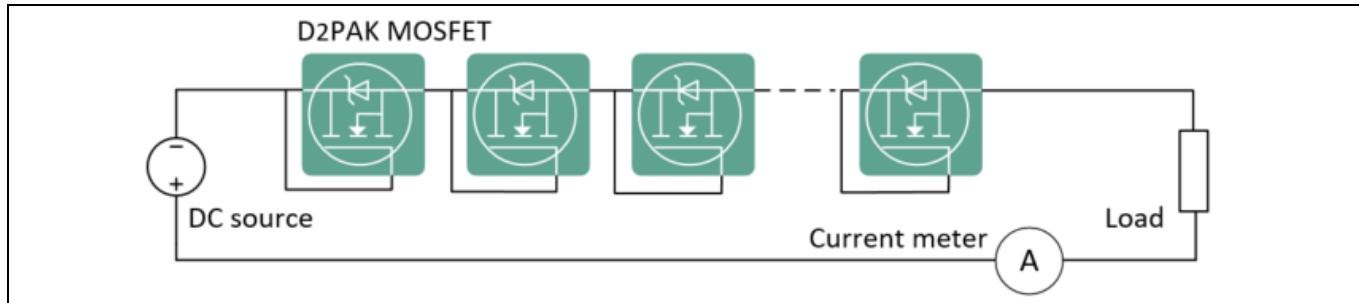


Figure 4 計測用の回路図

熱測定に使用した回路を Figure 4 に示します。テストでは、以下のデバイスを使用しています。

- DC 電源 TPR3005-2DF
- DC 負荷 Chroma 63110A
- Agilent データロガー 34970A
- デジタルマルチメーター 34450A

電子負荷を用いることで、回路内の電流を一定に保っています。ボリュームダイオードの電圧降下は、電圧計で測定したので、消費電力は電圧と電流の積から求められます。

2.2 温度上昇の測定

温度上昇は、熱電対とデータ収集装置を使って測定しています。Figure 5 は、温度測定のための実験設定を示しています。

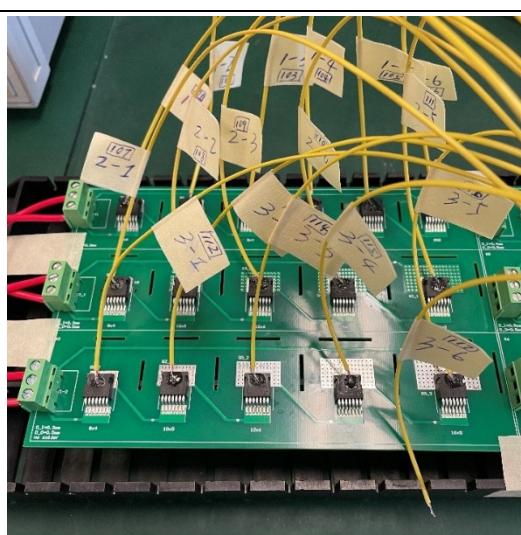


Figure 5 温度測定の設定

使用されるJ型熱電対は、感度、直線性、安定性が高いです。J型熱電対の適用範囲測定の温度範囲は、

-200～1200°Cですが、通常は0～750°Cで使用します。公差は約2°Cです。

熱測定の設定

まず、開回路の温度 T_a を測定しました。その後、回路を閉じて温度が上昇し始めました。30分後、放熱が安定したところで再び温度 T_c を記録し、そこから、温度上昇分を求めました。

$$\Delta T_{c-a} = T_c - T_a$$

空気の流れは測定データの精度を低下させるため、この影響を取り除くためにテストプラットフォームに風防用のカートンを装備しています。

2.3 温度測定ポイント

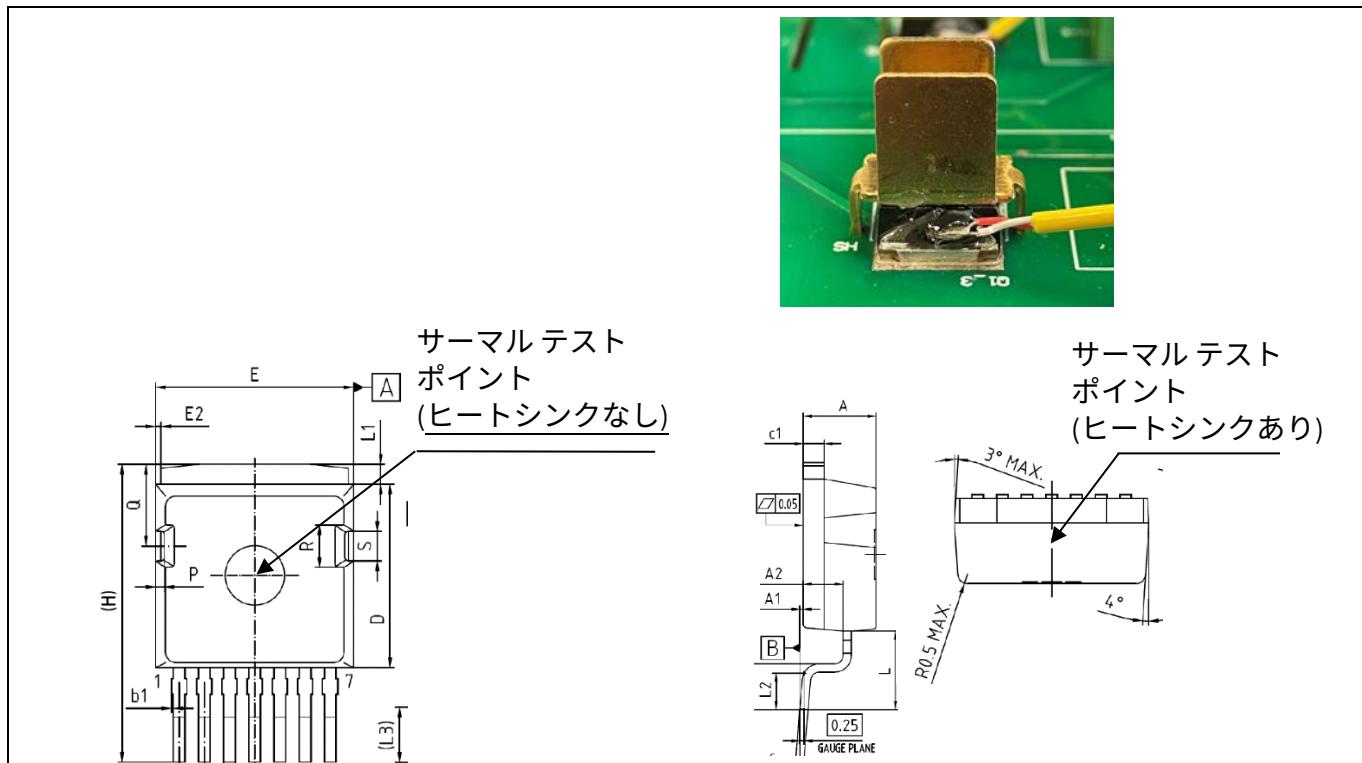


Figure 6 2つの条件での温度測定ポイント

Figure 6 に示すように、この 2 つのケースでは測定ポイントが異なります。ヒートシンクが装着されていないパッケージの上面から温度を測定しています。ヒートシンクが提示されている場合、測定点はパッケージの側面になります。

測定パラメーター

3 測定パラメーター

3.1 プリント基板の層数と銅の厚さ

測定に使用した4つのPCBの違いを以下に示します。

- 1オンスの銅を使った 2層構造(2L1OZ)
- 2オンスの銅を使った 2層構造(2L2OZ)
- 1オンスの銅を使った 4層構造(4L1OZ)
- 2オンスの銅を使った 4層構造(4L2OZ)

3.2 スルーホール技術(THT)によるビアの直径

実験に使用したビアの直径は、0.3 mm、0.4 mm、0.5 mmです。

3.3 ビアマトリックスサイズ

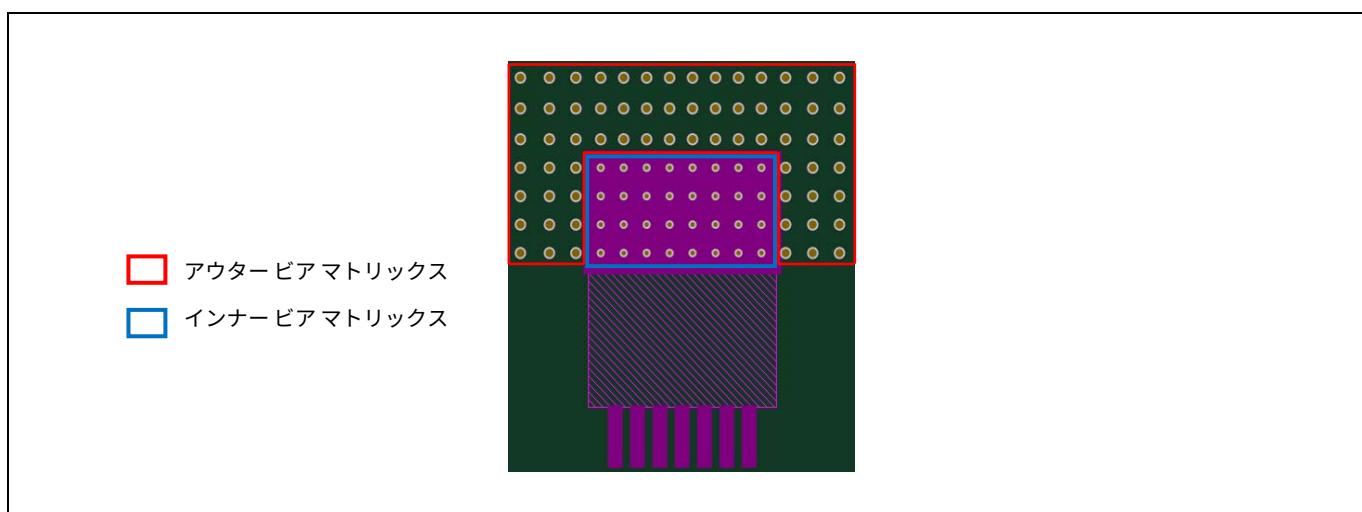


Figure 7 アウターとインナーのビアマトリックス

上のFigure 7は、インナービアマトリックスとアウタービアマトリックスの境界を示しています。ビアの配置と直径が温度変化に与える影響の両方を確認するために、異なるサイズのアウタービアマトリックスと異なる直径のインナービアの組み合わせを適宜試験しました。試験条件をTable 2、Table 3、Table 4に示します。

Table 2 ビアマトリックス1(パッド下0.3 mmのビア)

ビアバリアント	1	2	3	4	5
ビアマトリックス内側	8x4	8x4	8x4	8x4	8x4
直径内側	0.3 mm	0.3 mm	0.3 mm	0.3 mm	0.3 mm
ビアマトリックストータル	8x4	10x5	12x6	14x7	16x8
直径外側	該当せず	0.5 mm	0.5 mm	0.5 mm	0.5 mm
ビアピッチ	1.3 mm	1.3 mm	1.3 mm	1.3 mm	1.3 mm
ドレイン銅の合計サイズ	67.45 mm ²	112.52 mm ²	163.94 mm ²	229.35 mm ²	309.92 mm ²
関連比率	S	1.67 S	2.43 S	3.4 S	4.6 S

Table 3 ビアマトリックス2(パッド下の0.4mmビア)

ビアバリアント	1	2	3	4
ビアマトリックス内側	8x4	8x4	8x4	8x4
直径内側	0.4 mm	0.4 mm	0.4 mm	0.4 mm
ビアマトリックストータル	8x4	12x6	14x7	16x8
直径外側	該当せず	0.5 mm	0.5 mm	0.5 mm
ビアピッチ	1.3 mm	1.3 mm	1.3 mm	1.3 mm
ドレイン銅の合計サイズ	67.45 mm ²	163.94 mm ²	229.35 mm ²	309.92 mm ²
関連比率	S	2.43 S	3.4 S	4.6 S

Table 4 ビアマトリックス3(パッド下の0.5mmビア)

ビアバリアント	1	2	3	4
ビアマトリックス内側	8x4	8x4	8x4	8x4
直径内側	0.5 mm	0.5 mm	0.5 mm	0.5 mm
ビアマトリックストータル	8x4	12x6	14x7	16x8
直径外側	該当せず	0.5 mm	0.5 mm	0.5 mm
ビアピッチ	1.3 mm	1.3 mm	1.3 mm	1.3 mm
ドレイン銅の合計サイズ	67.45 mm ²	163.94 mm ²	229.35 mm ²	309.92 mm ²
関連比率	S	2.43 S	3.4 S	4.6 S

3.4 ヒートシンク

以下のTable 5 のように、2種類のヒートシンクをテストしました。

Table 5 2種類のヒートシンク

ヒートシンク	HS1	HS2
素材	銅	アルミニウム
サイズ (mm)	17 x 14.5 x 10 x 0.8	8.8 x 8.8 x 5
URL リンク	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a230r.1.14.33.5a7c54dap97EQn&id=543677256194&ns=1&abucket=20#detail	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z10.3-c.w4002-21214618245.49.36155473n100vU&id=581976481584

3.5 ソルダーマスクの存在

上記の Table 1 によると、ソルダーマスクの熱伝導率は約 0.2 です。また、ソルダーマスクの厚さは 20 μm しかないため、ソルダーマスクが熱放散にどの程度影響を与えるかは定かではありません。そのため、Figure 8 に示すような構成で熱的影響を確認する必要があります。

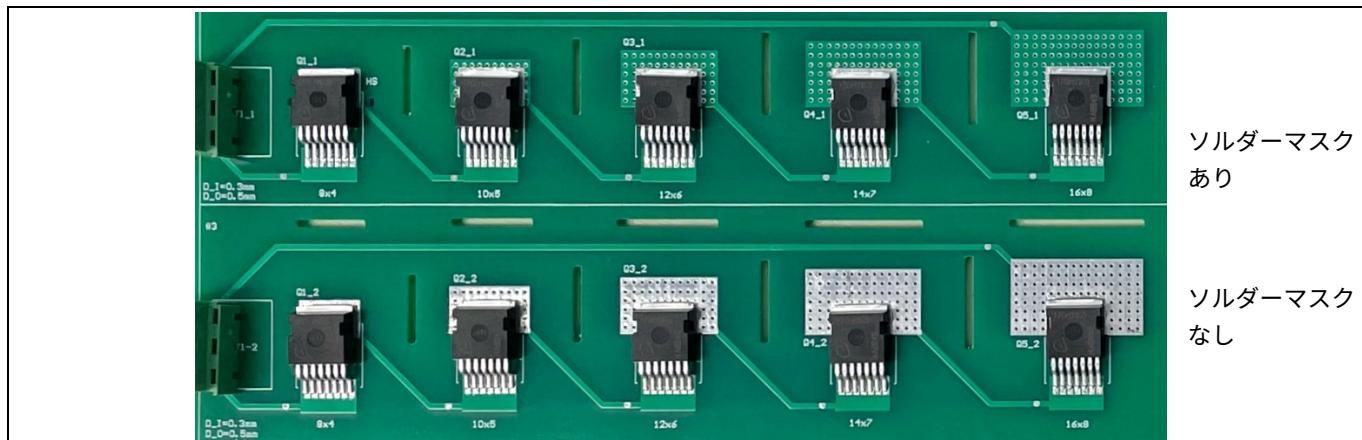


Figure 8 ソルダー レジストを施した場合と施していない場合の熱伝導率

内側のビアの直径は 0.3 mm、外側のビアの直径は 0.5 mm でした。

Table 6 インナービアとアウタービアのパラメーター

ビア バリアント	1	2	3	4	5
ビアマトリクス内側	8x4	8x4	8x4	8x4	8x4
直径 内側	0.3 mm	0.3 mm	0.3 mm	0.3 mm	0.3 mm
ビアマトリックス トータル	8x4	10x5	12x6	14x7	16x8
直径 外側	該当せず	0.5 mm	0.5 mm	0.5 mm	0.5 mm
ビアピッチ	1.3 mm	1.3 mm	1.3 mm	1.3 mm	1.3 mm
ドレイン銅の合計サイズ	67.45 mm ²	112.52 mm ²	163.94 mm ²	229.35 mm ²	309.92 mm ²
関連比率	S	1.67 S	2.43 S	3.4 S	4.6 S

3.6 電流

MOSFET のボディ ダイオードに流れる電流を以下の値に設定しました。

- 0.1 A
- 0.2 A
- 0.3 A
- 0.4 A
- 0.5 A

テスト結果と解釈

4 テスト結果と解釈

本章では、前章で述べた測定計画に基づいて、結果を図表で示します。次に、テストデータから結論を導き出します。

4.1 さまざまなタイプのPCBの影響

この最初のテストでは、ビアマトリックスと電流が異なるプリント基板の温度上昇を測定しました。電流の違いによる温度上昇の傾向は同じだったので、ここでは0.3 Aの電流で得られたデータを選択して分析しました。内側のビアの直径は0.3 mm、外側のビアの直径は0.5 mmでした。

Table 7 0.3 Aにおける層およびビアマトリックスの異なるPCBの 温度上昇 ΔT

電流 0.3 A	ビアマトリックス					温度上昇 ΔT
	8X4	10X5	12X6	14X7	16X8	
PCB バリアント	8X4	10X5	12X6	14X7	16X8	
2L1OZ	46.84C	42.06C	36.71C	35.03C	29.37C	
2L2OZ	43.63C	39.23C	34.92C	32.54C	29.09C	
4L1OZ	40.25C	35.46C	33.09C	30.70C	28.78C	
4L2OZ	37.23C	32.89C	31.26C	29.55C	28.56C	

Table 7 から、2L1OZ > 2L2OZ > 4L1OZ > 4L2OZ というように、異なるビアマトリックスで ΔT が上昇する傾向にあることがわかります。ビアマトリックスのサイズが大きくなるにつれて、4つのプリント基板間の ΔT の差が小さくなっています。ビアマトリックスが 8x4 の場合、4L2OZ の温度上昇は 2L1OZ の温度上昇よりも約 10°C 低い。ビアマトリックスを 16x8 にすると、4枚のプリント基板の温度上昇はほぼ同じになります。

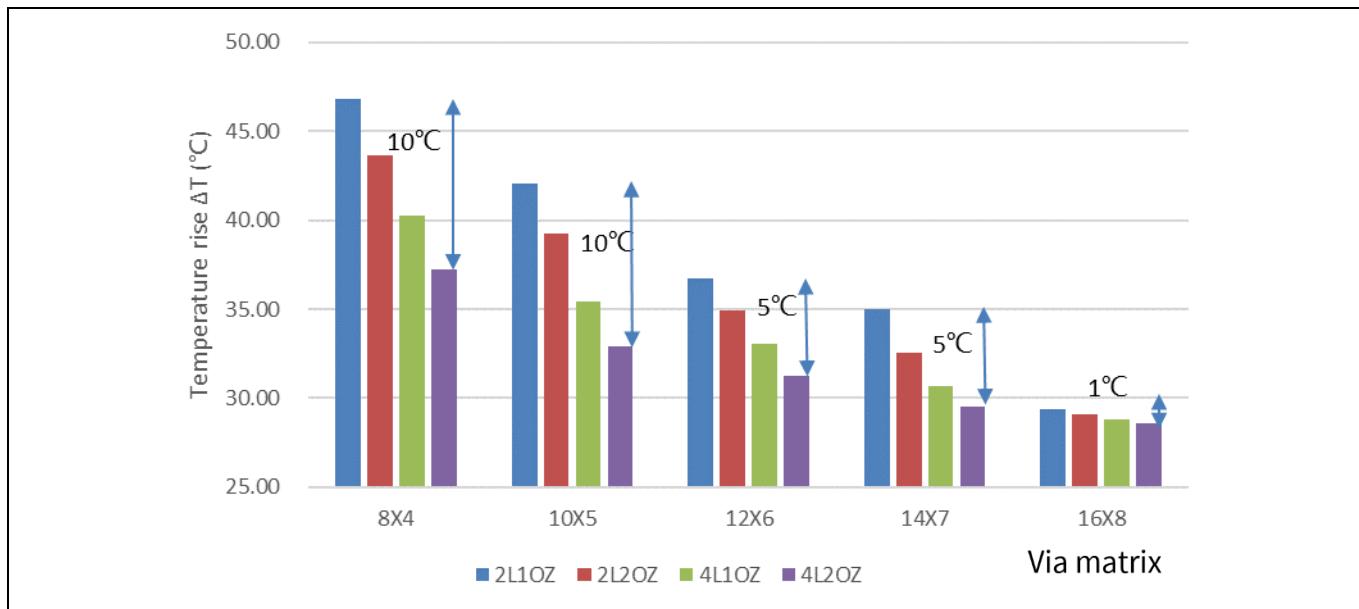


Figure 9 0.3 Aにおけるビアマトリックスの異なるプリント基板の温度上昇

その理由は、層数が増えるほど銅の厚みが増すからです。PCBに使われる銅の量が増えると、それに応じて放熱量も増えます。ビアの数が少ない場合は、銅が主な放熱経路となります。ビアマトリックスのサイズが大きくなると、ビアが主な放熱経路になります。

テスト結果と解釈

したがって、ビアマトリックスが小さい場合は、プリント基板の層数を増やしたり、銅の厚みを大きくしたりすることで、放熱効果を高めることができます。しかし、ビアマトリックスが大きい場合には、プリント基板の層数や銅の厚みを増やしても大きな効果は得られなくなります。

結論 1: PCB の層、銅の厚さ、ビアの数について

- ドレインの銅の合計サイズが 3S (202.35 mm²) よりも小さい場合は、プリント基板の層数を増やしたり、銅の厚みを増やしたりすることで、熱的性能を大幅に向上させることができます。
- 銅の厚みを増やすことで、熱的性能が大幅に向上します。また、銅の厚みを増やすよりも、プリント基板の層を増やす方が効果的です。そうしないと、ドレインの銅の合計サイズが 3S (202.35 mm²) より大きい場合、PCB 層と銅の厚さの影響が弱くなります。1 オンス、2 層で十分な冷却効果が得られるはずです。

そのため、最上層は非常に重要です。銅のサイズが十分に大きければ、熱のほとんどは最上層で伝導されます。そうでなければ、プリント基板の層数や銅の厚さを増やすなければなりません。

4.2 異なる電流の影響

この試験では、ビアマトリックスを変えて 0.1 A～0.5 A の電流を流したときの温度上昇を測定しました。傾向は同じだったので、ここでは 4L10Z プリント基板の結果を選んで分析しました。内側のビアの直径は 0.3 mm、外側のビアの直径は 0.5 mm でした。以下の Table 8 に記録されたデータは、以下の Figure 10 に表示されています。

Table 8 2L10Z プリント基板のビアマトリックスを変えて 0.1 A～0.5 A の電流を流した場合の温度上昇

PCB 2L10Z	ビアマトリックス (°C)				
	8X4	10X5	12X6	14X7	16X8
0.1 A	14.64	13.08	11.67	10.68	9.47
0.2 A	29.62	26.83	24.33	22.65	19.49
0.3 A	46.84	42.06	36.71	35.03	29.37
0.4 A	59.67	52.24	46.31	43.24	37.82
0.5 A	73.14	65.88	59.96	56.68	50.69

テスト結果と解釈

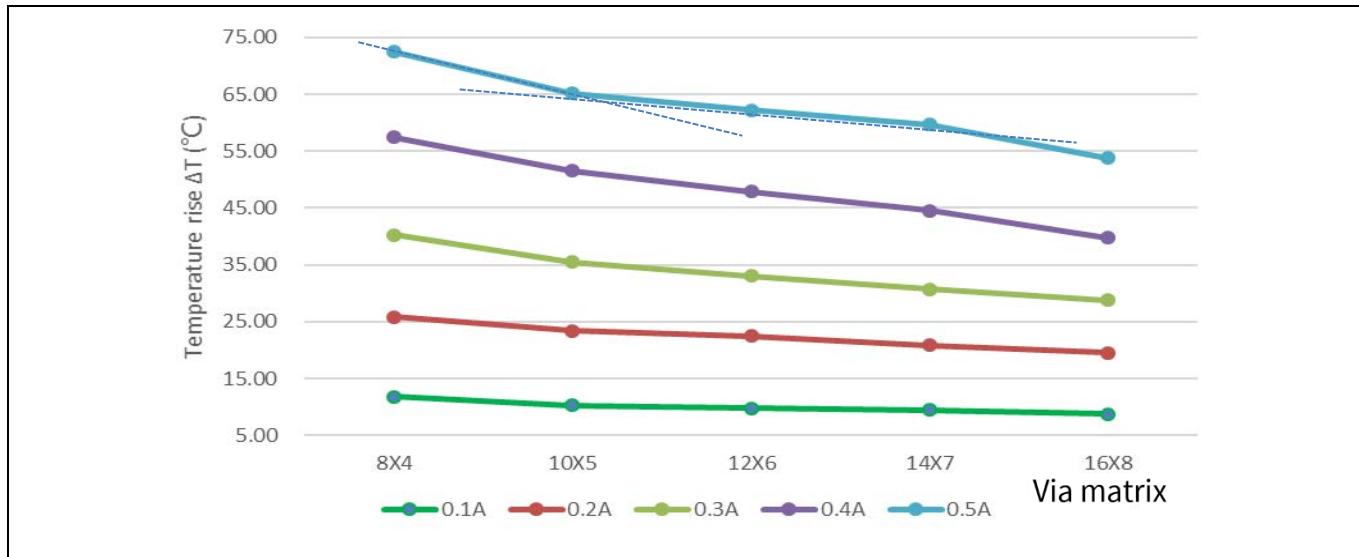


Figure 10 2L10Z プリント基板のビアマトリックスを変えて 0.1 A～0.5 A の電流を流したときの温度上昇

上昇

このグラフから、電流が増えれば(つまり電力が増えれば)、 ΔT は増加することがわかります。電流が小さいときは、さまざまなビアマトリックスの温度上昇の差は無視できます。電流が大きければ、その差も大きくなります。

2L10Z プリント基板の場合、0.1 A では、これら 5 つのビアマトリックスによる温度上昇は、 $12 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 以内に収まります。しかし、0.5 A では、8x4 のビアマトリックスによる温度変化は、16x8 よりも約 23°C 高くなります。つまり、2L10Z プリント基板の ΔT は、傾きが急であるため、電流による影響が大きいです。

したがって、電流が小さいときは、THT ビアの数は温度上昇にほとんど影響しません。電流が大きくなると、THT ビアの数が温度上昇に大きな影響を与えるようになります。また、上記の Figure 10 から、異なる電流において、ビアマトリックスの成長に伴い、温度上昇が減少することがわかります。

結論 2: 温度上昇に対する電流・電力の影響について

通常、 ΔT は電流に対して直線的に増加するため、電力/電流の変化は総熱抵抗に影響を与えません。

4.3 ソルダーマスクの影響

ソルダーマスクが放熱に影響を与えるケースがあります。このテストでは、ソルダーレジストの有無にかかわらず、4 種類のプリント基板上の異なるビアマトリックスの温度上昇を測定し、比較しました。インナービアの直径は 0.3 mm、アウタービアの直径は 0.5 mm としました。電流は 0.3 A としました。

Table 9 0.3 A におけるソルダー レジスト有無の 2L10Z/20Z プリント基板の温度上昇

ビアマトリックス	2L10Z				2L20Z			
	10X5	12X6	14X7	16X8	10X5	12X6	14X7	16X8
ソルダーマスク付き (C)	42.06	36.71	35.03	29.37	39.23	34.92	32.54	29.09
ソルダーマスクなし (C)	39.16	33.61	32.63	26.41	35.46	31.15	28.66	26.24

テスト結果と解釈

温度差 (C)	2.90	3.10	2.40	2.96	3.77	3.77	3.88	2.85
---------	------	------	------	------	------	------	------	------

下のFigure 11には、上記のTable 9のデータを反映させています。平均して約3~4°Cの温度上昇が見られました。

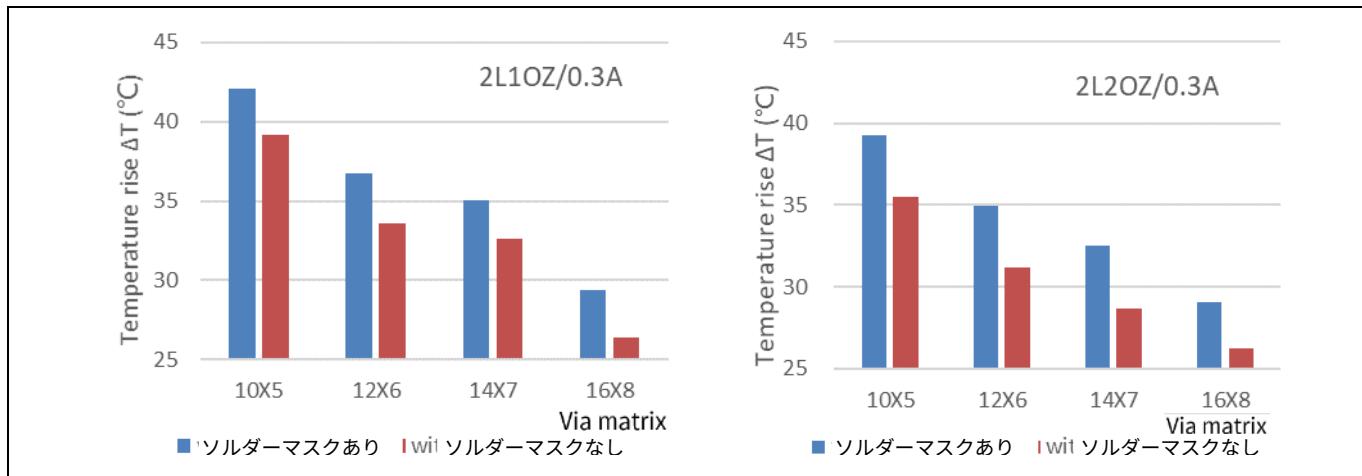


Figure 11 2L10Z/20Z プリント基板の温度上昇(ソルダーマスク有り、無し)

4L10Z/4L20Z プリント基板のテスト結果を、以下のTable 10に示します。

Table 10 0.3 A でのソルダー レジスト有無による 4L10Z/20Z プリント基板の温度上昇

ビアマトリックス	4L10Z				4L20Z			
	10X5	12X6	14X7	16X8	10X5	12X6	14X7	16X8
ソルダーマスク付き (C)	35.46	33.09	30.70	28.78	32.89	31.26	29.55	28.56
ソルダーマスクなし (C)	32.71	30.41	27.64	25.25	29.82	27.34	26.25	24.53
温度差 (C)	2.75	2.68	3.06	3.53	3.07	3.92	3.30	4.03

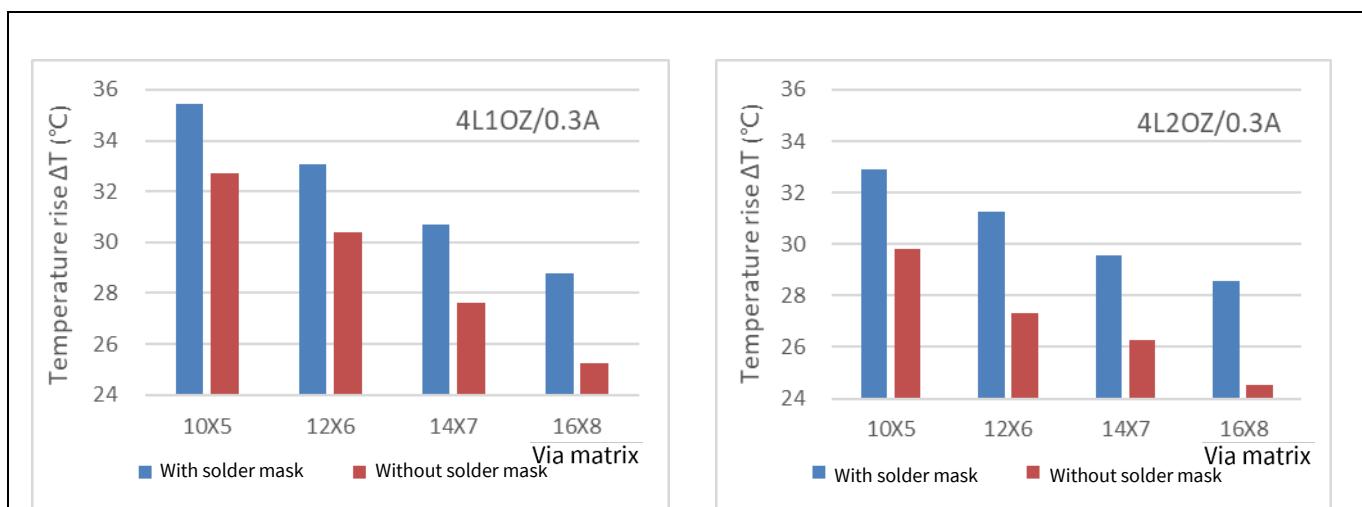


Figure 12 ソルダー レジストの有無による 4L10Z/20Z プリント基板の温度上昇

上記のグラフから、ソルダーマスクが温度上昇に影響することがわかります。ソルダーマスクを使用しない場合の温度上昇は約3~4°C低くなります。

テスト結果と解釈

Table 11 ソルダー レジストを施した/施していない 4L10Z PCB の各電流における温度上昇

PCB タイプ 4L10Z	0.1 A				0.3 A				0.5 A			
	10X5	12X6	14X7	16X8	10X5	12X6	14X7	16X8	10X5	12X6	14X7	16X8
ソルダーマスク付き (C)	10.2 2	9.79	9.40	9.17	35.4 6	33.0 9	30.7 0	28.7 8	65.1 8	62.2 0	60.6 5	53.7 6
ソルダーマスクなし (C)	9.13	9.02	7.88	7.78	32.7 1	30.4 1	27.6 4	25.2 5	60.3 0	57.4 7	54.8 1	48.4 5
温度差 (C)	1.09	0.77	1.52	1.39	2.75	2.68	3.06	3.53	4.88	4.55	5.84	5.31
平均 (C)	1.2				3				5.1			

Table 11 によると、ソルダーマスクの有無による温度上昇の差の最小値は約 1°C。最大の差は約 5°C でした。

順方向電圧を $V_f = 2.5 \text{ V}$ とすると、0.3 A 時の総電力は $P = V_f \times I_f = 2.5 \text{ V} \times 0.3 \text{ A} = 0.75 \text{ W}$ 、温度差は $\Delta T = 3\text{C}$ で、熱抵抗差は $\Delta R_{th,ja} = \Delta T/P = 3\text{C}/0.75 \text{ W} = 4\text{C/W}$ となります。

結論 3: ソルダーマスクの有無について

D2PAK デバイスの周囲の銅に施されたソルダーマスクを除去すると、総熱抵抗 $R_{th,ja}$ は 4C/W 減少します。

4.4 THT ビアの直径の影響

このパートでは、さまざまな種類のプリント基板上に直径の異なる THT ビアを配置し、さまざまな電流を流したときの温度上昇をテスト分析しました。

インナービアの直径は 0.3 mm、0.4 mm、0.5 mm で、アウタービアの直径は 0.5 mm でした。電流範囲は 0.1 A~0.5 A でした。

まず、0.3 A の電流で THT ビアの直径を変えた場合の温度上昇を分析しました。

4.4.1 0.3 A での 2L10Z / 2L20Z のテスト

Table 12 異なるインナービア径に対する 0.3 A での 2L10Z/2L20Z PCB の温度上昇

0.3A 時の電流	2L10Z (単位: °C)				2L20Z (単位: °C)			
	8x4	12X6	14X7	16X8	8x4	12X6	14X7	16X8
ビアマトリックス	8x4	12X6	14X7	16X8	8x4	12X6	14X7	16X8
インナービア直径 0.3 mm	46.84	36.71	35.03	29.37	43.63	34.92	32.54	29.09
インナービアの直径 0.4 mm	42.59	35.97	32.35	30.51	43.43	39.18	31.29	25.27
インナービア直径 0.5 mm	44.85	39.76	37.44	31.04	40.98	38.53	34.66	29.95

下に示す Figure 13 には、上記の Table 12 のテスト結果を反映させています。

テスト結果と解釈

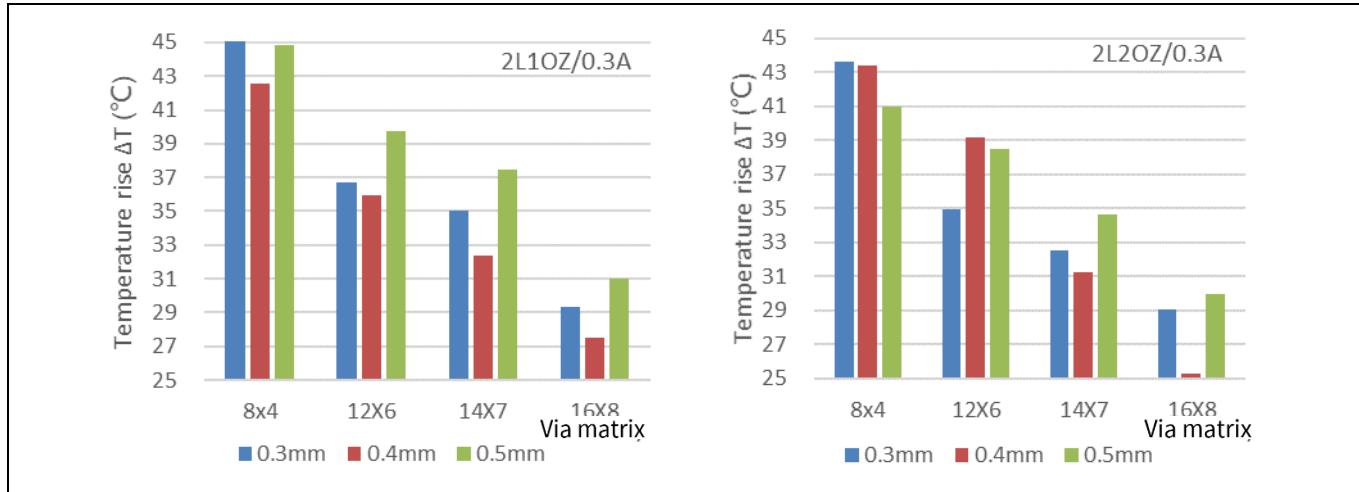


Figure 13 0.3 A での 2L1OZ/2L2OZ PCB の温度上昇

4.4.2 4L1OZ / 4L2OZ の 0.3 A でのテスト

4L1OZ と 4L2OZ の性能を確認するため、同様の熱試験を実施しました。そのデータは以下の Table 13 に記録されています。

Table 13 0.3 A での 4L1OZ/2OZ PCB の温度上昇

電流 0.3 A	4L1OZ (単位: °C)				4L2OZ (単位: °C)			
	8x4	12X6	14X7	16X8	8x4	12X6	14X7	16X8
ビアアレー	8x4	12X6	14X7	16X8	8x4	12X6	14X7	16X8
インナービア直径 0.3mm	40.25	33.09	30.70	28.78	37.23	31.26	29.55	28.56
インナービアの直径 0.4mm	34.90	32.08	27.40	25.79	37.15	33.23	30.69	27.41
インナービア直径 0.5mm	36.29	32.87	30.06	29.82	39.33	35.47	32.26	29.43

下の Figure 14 には、上記の Table 13 のテスト結果を反映させています。

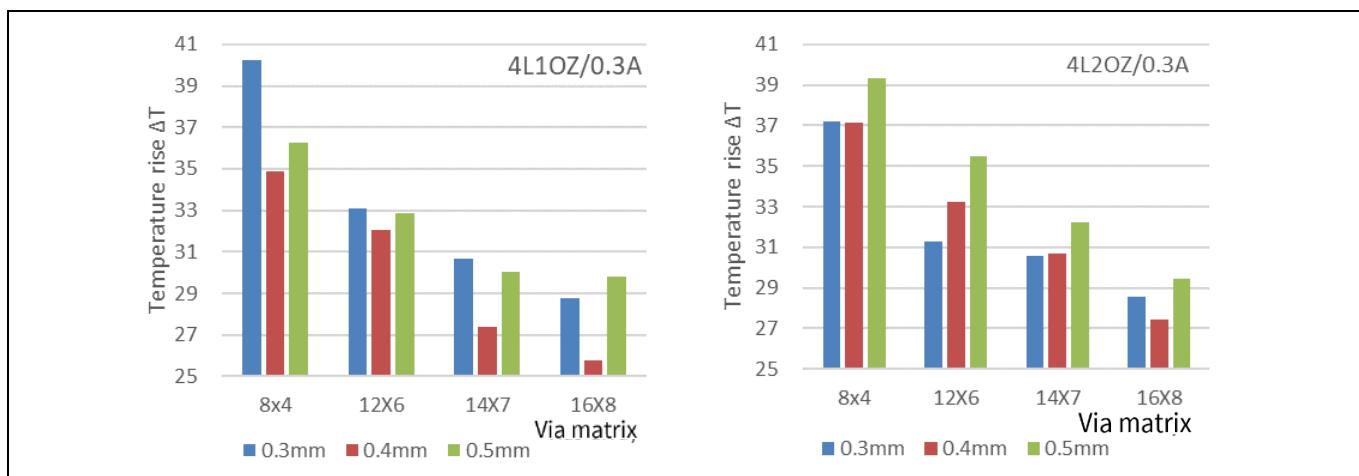


Figure 14 0.3 A での 4L1OZ/2OZ PCB の温度上昇

テスト結果と解釈

上の4つの図から、ほとんどすべてのビアマトリックスのうち、ビア径が0.4 mmのものが、異なるプリント基板において最も低い温度上昇をもたらすことがわかります。これらのビアマトリックスは、銅の厚みが1オンスのプリント基板で最も大きな効果を発揮します。

特筆すべきは、ビアマトリックスが小さく、2オンス銅厚のプリント基板を適用した場合、ビア径0.3 mmも放熱性では有利だったということです。時には、0.4 mmのものよりも良い性能を発揮することもあります(たとえば、2オンス銅厚のプリント基板に12×6のビアマトリックスを使用した場合)。

さらに、THTビアの直径を変えた場合の温度上昇を、電流を変えて解析しています。4L10Zのプリント基板を例に挙げてみましょう。

Table 14 4L10Zで内径0.3、0.4、0.5 mmのビアを0.1、0.3、0.5 Aで使用した場合の温度上昇率

4L10Z(単位: °C)	0.1 A				0.3 A				0.5 A			
	8x4	12X6	14X7	16X8	8x4	12X6	14X7	16X8	8x4	12X6	14X7	16X8
インナービア0.3mm 1	11.8	9.99	9.40	9.17	40.2 5	33.0 9	30.7 0	28.7 8	72.5 0	62.2 0	60.6 5	53.7 6
インナービア0.4mm 7	10.8	9.75	8.14	6.95	34.9 0	32.0 8	27.4 0	25.7 9	62.7 3	57.0 4	48.2 1	43.6 5
インナービア0.5mm 5	11.5	10.6	9.30	8.72	36.2 9	32.8 7	30.0 6	29.8 2	63.3 0	59.4 5	53.1 8	50.1 2

Table 14は、異なる電流条件において、0.4 mm径が放熱性に優れていることを示しています。言い換えると、0.4 mmのビアマトリックスの方が温度上昇は少ないということです。この優位性は、大電流の場合に顕著であることは言うまでもありません。

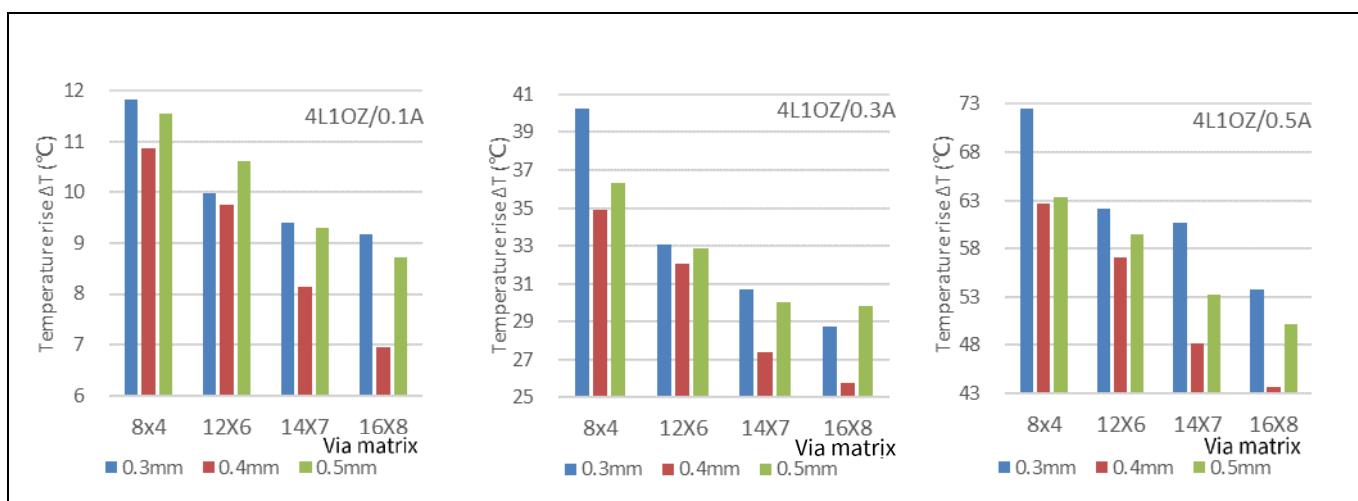


Figure 15 直径0.3、0.4、0.5 mmで0.1、0.3、0.5 Aの場合の温度上昇

試験結果によると、直径0.4 mmが0.3 mmや0.5 mmに比べて最も優れた熱性能を発揮すると結論づけられました。これは、最上層の銅が熱伝導に非常に重要である一方で、サーマルビア内の空気は非効率な熱伝導体であることを示しています。したがって、銅の量を増やすことと、ビアを通る空気の量を増やすことは、トレードオフの関係にあります。

結論4: インナービアの直径について

インナービアの直径が0.4 mmの場合、0.3 mmと0.5 mmに比べて温度上昇が最も低くなります。

テスト結果と解釈

4.5 ヒートシンクの影響

最後に、温度上昇に対するヒートシンクの影響を検討した。実験データは、ヒートシンクがない場合と比較しています。このテストで使用したビアマトリックスは8×4で、パッドを囲むビアマトリックスはありません。また、THTビアの直径は0.4 mmでした。上のFigure 6と上のTable 5は、基板上のヒートシンクアセンブリを説明しています。このテストでは、測定点はパッケージの側面に配置されています。

Table 15 0.1、0.3、0.5 A での 2L10Z/20Z および 4L10Z/20Z プリント基板上の異なるヒートシンクの温度上昇

PCB タイプと電流	0.1 A				0.3 A				0.5 A			
	2L10 Z	2L20 Z	4L10 Z	4L20 Z	2L10 Z	2L20 Z	4L10 Z	4L20 Z	2L10 Z	2L20 Z	4L10 Z	4L20 Z
ヒートシンクなし (°C)	15.9 4	15.7 4	15.1 7	14.5 0	52.3 4	48.4 9	45.8 7	44.1 6	87.5 6	81.2 2	77.7 5	74.1 8
ヒートシンク付き HS1 (°C)	14.1 9	12.5 4	12.1 0	12.0 1	44.9 4	44.1 8	42.6 7	41.0 9	79.0 2	74.7 5	67.9 3	64.0 0
ヒートシンク付き HS2 (°C)	15.1 5	14.5 7	13.6 8	13.2 7	47.7 6	45.2 9	43.2 1	42.6 6	83.3 3	74.4 7	71.0 8	70.8 0

下に示すFigure 16には、上記のTable 15のテストデータを反映させています。

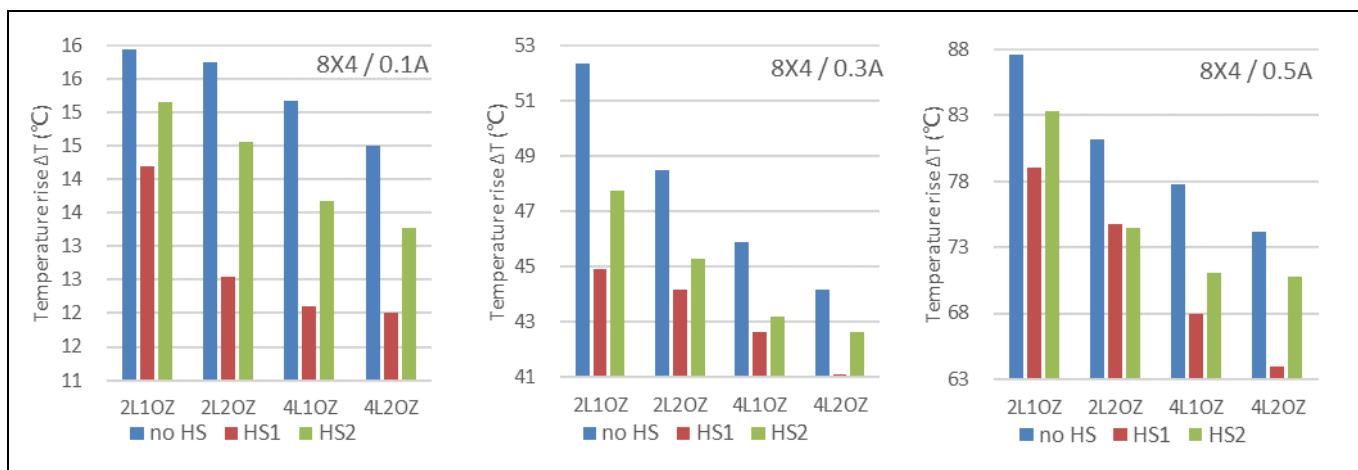


Figure 16 0.1、0.3、0.5 A における各ヒートシンクの温度上昇

上のグラフから、ヒートシンクが放熱にプラスの効果をもたらすことがわかります。大電流の場合、ヒートシンクを付けることで温度上昇が約10°C抑えられています。

また、HS1が銅製であるのに対し、HS2はアルミ製であるため、HS1はHS2よりも放熱性に優れています。

結論 5: ヒートシンクの選択について

銅製のヒートシンクは、熱の放散を最大限にサポートします。

テスト結果と解釈

4.6 ヒートシンクが必要かどうか

このテストでは、放熱面積を増やす場合と、ヒートシンクを設置する場合の2つの状況で、温度上昇の変化を比較しています。最後に、放熱要求に応じた提案を行います。放熱面積を増やすか、ヒートシンクを設置するかは、お客様のご判断にお任せします。

4L10ZのPCBを例に挙げます。グループ1にはヒートシンクを設置。グループ2ではビアマトリックスを変更した。両グループの内側のビアの直径は0.4mmでした。グループ2のアウタービアの直径は0.5mmでした。

2つのグループの温度上昇は、2つのデータセットの測定ポイントが異なるため、直接比較することはできません。そこで、アウタービアマトリックスとヒートシンクのない4L10Zプリント基板をベンチマークとして、2つのグループのデータを比較しました。Table 16とTable 17の2列目は、同じPCBレイアウトでパッケージの側面と中央から測定した温度を示しています。

Table 16 4L10Zプリント基板のヒートシンクを変えて0.1A、0.3A、0.5Aの電流を流したときの温度上昇

PCBタイプ 4L10Z	ヒートシンク			
	HSなし	HS1	HS2	
電流				
0.1A	15.17C	12.10C	△T=3.07C	13.68C
0.3A	45.87C	42.67C	△T=3.2C	43.21C
0.5A	77.75C	67.93C	△T=9.82C	71.08C

Table 17 4L10Zプリント基板のビアマトリックスを変えて0.1A、0.3A、0.5Aの電流を流したときの温度上昇

PCBタイプ 4L10Z	ビアマトリックス				
	ビアマトリックス	8X4 (67.45 mm ²)	12X6 (163.94 mm ²)	14X7 (229.35 mm ²)	16X8 (309.92 mm ²)
ビアマトリックス					
0.1A	10.87C	9.75C	△T=1.12C	8.14C	△T=2.73C
0.3A	34.90C	32.08C	△T=2.82C	27.40C	△T=7.5C
0.5A	62.73C	57.04C	△T=5.69C	48.21C	△T=14.52C

12x6、14x7、16x8のビアマトリックスの値と8x4のビアマトリックスの値を差し引くことで、放熱面積の増加が温度上昇に与える影響を知ることができます。同様に、HS1、HS2の値をHSなしの値で差し引くことで、ヒートシンクの温度上昇への影響を知ることができます。

以上の分析結果に基づき、新データは以下の通りです。

まず、比較しやすいように「ビアマトリックス8x4」と「ヒートシンク無し」の温度を0°Cに設定しました。マイナスの数値は、「ビアマトリックス8x4」や「ヒートシンク無し」と比較した場合の温度低下量を表しています。

上の表から、0.1、0.3、0.5Aの電流では、放熱面積が小さいよりもヒートシンクを設置した方が効果は大きいことがわかります。放熱面積が大きくなれば、ヒートシンクを設置するよりも放熱効果が高くなります。

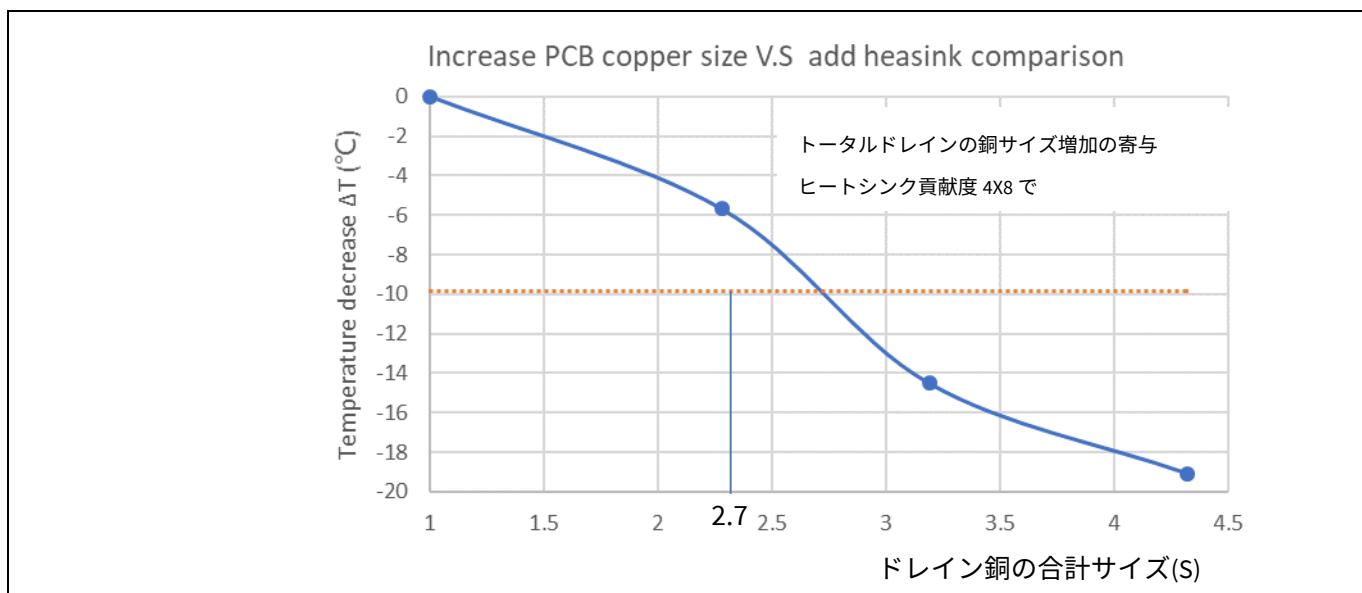


Figure 17 0.5 A 電流における PCB 銅サイズと HS1 の熱性能比較

上の図から、面積が 2.7S 以下の場合は、ヒートシンク方式の方が良いことがより正確にわかります。一方、放熱面積が大きくなると、より多くの熱を放出する方が良いことがわかります。

つまり、放熱面積が十分に大きい場合には、放熱性を大きく向上させるために放熱面積を大きくする戦略をとる方が効果的です。

結論 6: ヒートシンクが必要かどうか

ドレインの銅の合計サイズが 2.7S (182.12 mm^2) より小さい場合にのみ、ヒートシンクの追加を検討する必要があります。

5 結論

TO-263 パッケージに収められた 1700 V の SiC MOSFET の熱挙動をさまざまな条件でテストした結果、プリント基板上で最適な冷却性能を実現するための重要なポイントをまとめました。テストの結果、4L2OZ 基板は 2L1OZ 基板よりも冷却効果が高いことがわかりました。しかし、ドレインの総銅面積がパッド下の銅面積の 3 倍以上 (200 mm² 以上) であれば、基板タイプの影響はそれほど重大ではありません。また、パッドの下や周囲に 0.4 mm のサーマルビアを設けると、温度変化が小さくなることが分かりました。また、パッド周辺のはんだ付けマスクは、総熱抵抗 R_{thja} を約 4°C/W 増加しました。さらに、ドレインの総銅面積がパッド下の銅面積の 2.7 倍 (<182 mm²) に制限されている場合には、ヒートシンクが熱性能を向上させます。この場合、アルミ製のヒートシンクよりも銅製のヒートシンクの方が良い選択となります。このデータは、ヒートシンクがなくても MOSFET の熱性能が優れていることを示しているので、エンジニアは、ビアマトリックスのサイズが大きい場合には、ヒートシンクを必ずしも検討する必要はありません。

6 リファレンス

- [1] データシート: Infineon-IMBF170R1K0M1-DataSheet-v02_01-EN
- [2] アプリケーションノート: AN201708-表面実装型半導体パッケージの熱的性能
- [3] インフィニオンのパッケージの組み立てに関する一般的な推奨事項[オンライン]:
https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-General_Recommendations_for_Assembly_of_Infineon_Packages-P-v04_00-EN.pdf?fileId=5546d4625cc9456a015ccaf4a1fe3a32

7 付録：PCB

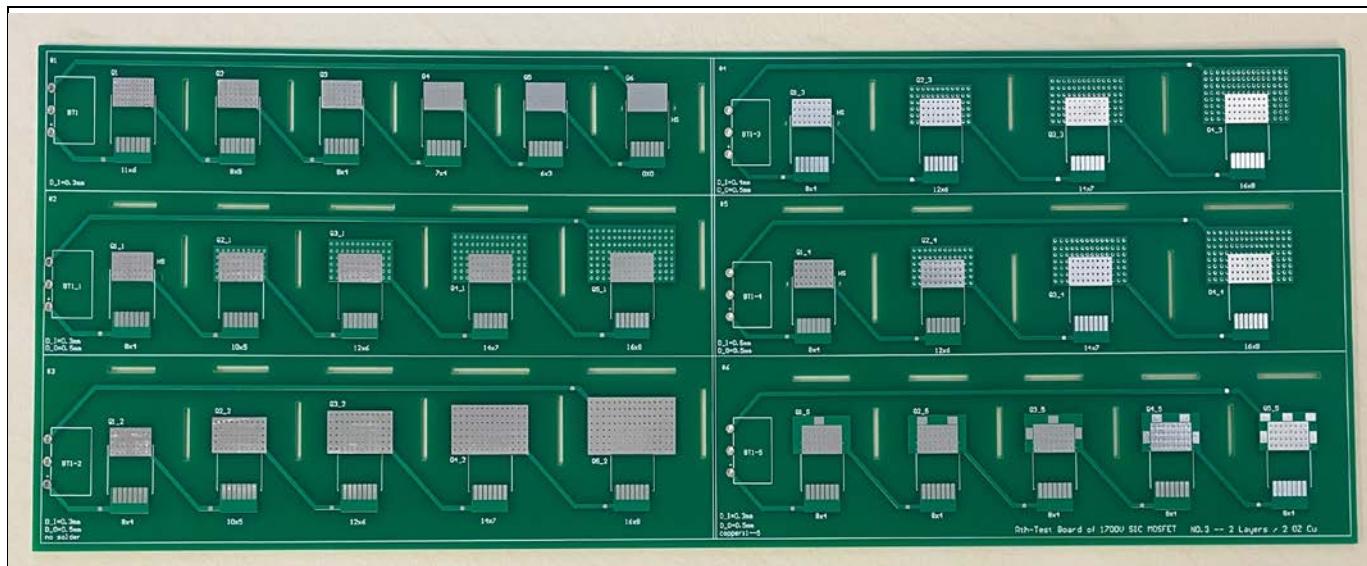


Figure 18 試験済みプリント基板

改訂履歴

Document version	Date of release	Description of changes
V2.0	2021-10-19	本版は英語版 AN-2021-02 V2.0 Thermal measurement for D2PAK on PCB について、日本語に翻訳されたドキュメントです。

Trademarks

All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

Edition 2021-10-19

Published by

**Infineon Technologies AG
81726 Munich, Germany**

**© 2021 Infineon Technologies AG.
All Rights Reserved.**

**Do you have a question about this
document?**

Email: erratum@infineon.com

**Document reference
AN-2021-02**

重要事項

本文書に記載された情報は、いかなる場合も、条件または特性の保証とみなされるものではありません（「品質の保証」）。本文に記された一切の事例、手引き、もしくは一般的の価値、および／または本製品の用途に関する一切の情報に関し、インフィニオンテクノロジーズ（以下、「インフィニオン」）はここに、第三者の知的所有権の不侵害の保証を含むがこれに限らず、あらゆる種類の一切の保証および責任を否定いたします。

さらに、本文書に記載された一切の情報は、お客様の用途におけるお客様の製品およびインフィニオン製品の一切の使用に関し、本文書に記載された義務ならびに一切の関連する法的要件、規範、および基準をお客様が遵守することを条件としています。

本文書に含まれるデータは、技術的訓練を受けた従業員のみを対象としています。本製品の対象用途への適合性、およびこれら用途に関連して本文書に記載された製品情報の完全性についての評価は、お客様の技術部門の責任にて実施してください。

本製品、技術、納品条件、および価格についての詳しい情報は、インフィニオンの最寄りの営業所までお問い合わせください (www.infineon.com)。

警告事項

技術的要件に伴い、製品には危険物質が含まれる可能性があります。当該種別の詳細については、インフィニオンの最寄りの営業所までお問い合わせください。

インフィニオンの正式代表者が署名した書面を通じ、インフィニオンによる明示の承認が存在する場合を除き、インフィニオンの製品は、当該製品の障害またはその使用に関する一切の結果が、合理的に人的傷害を招く恐れのある一切の用途に使用することはできないこと予めご了承ください。