GN002 アプリケーションノート

GaN*PX*® パッケージデバイスの熱設計

GaN Systems Inc.

2021年7月20日

アプリケーションノート概要

1. モチベーション：デバイスの熱管理の重要性
2. 電力損失と熱の基礎
3. トップ放熱デバイスの熱設計に関する考慮
4. ボトム放熱デバイスの熱設計に関する考慮
5. 熱を考慮したデバイスの選択
6. 電力損失と熱モデリング

アプリケーションノート概要

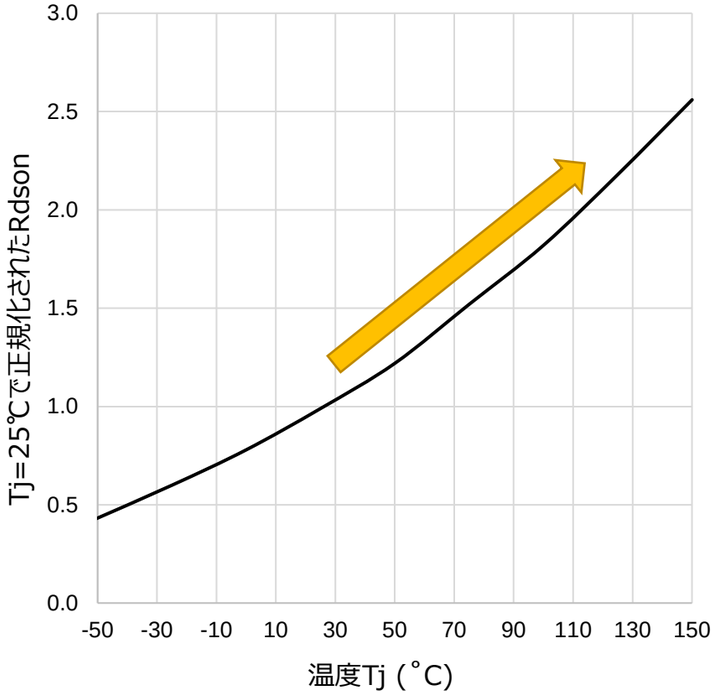
1. モチベーション：デバイスの熱管理の重要性
2. 電力損失と熱の基礎
3. トップ放熱デバイスの熱設計に関する考慮
4. ボトム放熱デバイスの熱設計に関する考慮事項
5. 熱を考慮したデバイスの選択
6. 電力損失と熱モデリング

1. モチベーション：デバイスの熱管理の重要性

温度に依存する2つのパラメータ

1. $R_{DS(on)}$ と 導通損失

$R_{DS(on)}$ 温度依存性

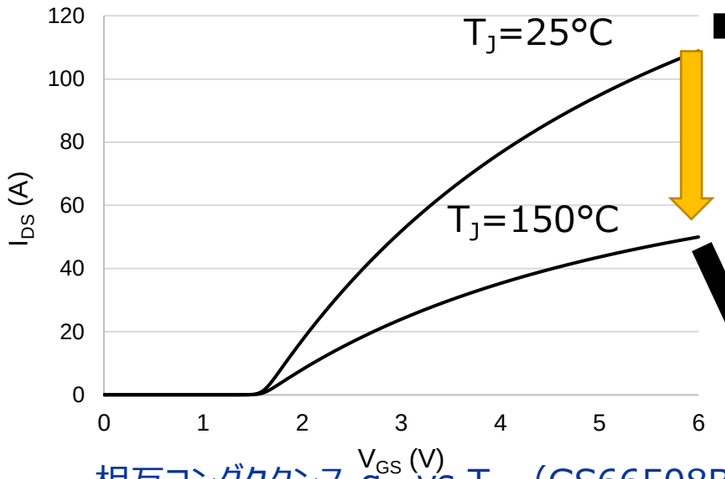


GS66508B の Rdson vs T_J

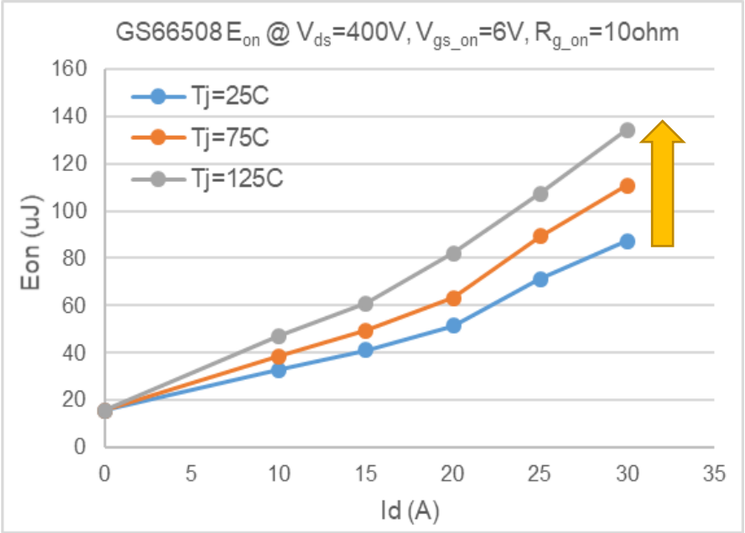
損失を最小限に抑えるためTjを適切に管理する必要あり

2.相互コンダクタンスとスイッチング損失

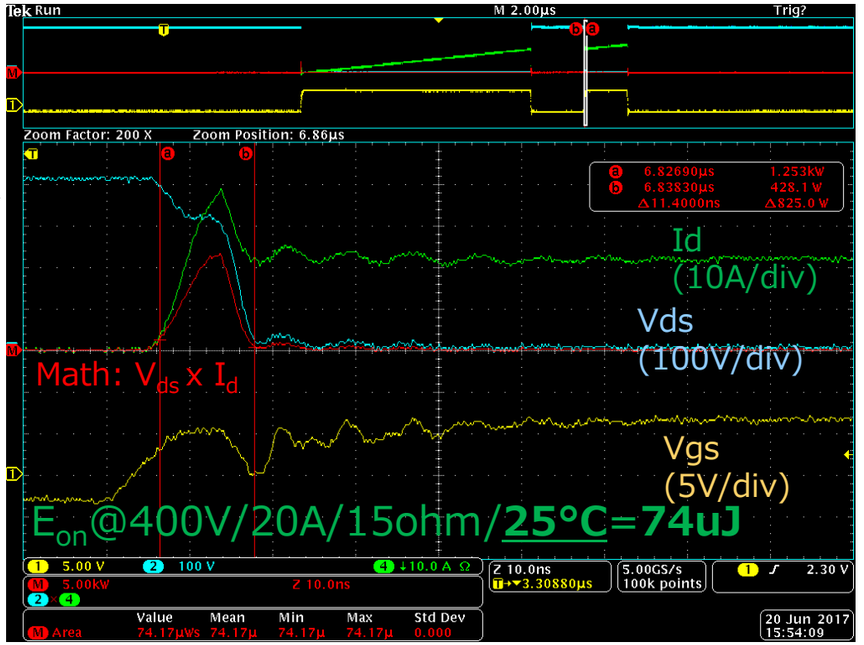
Typical I_{ds} vs. V_{gs}

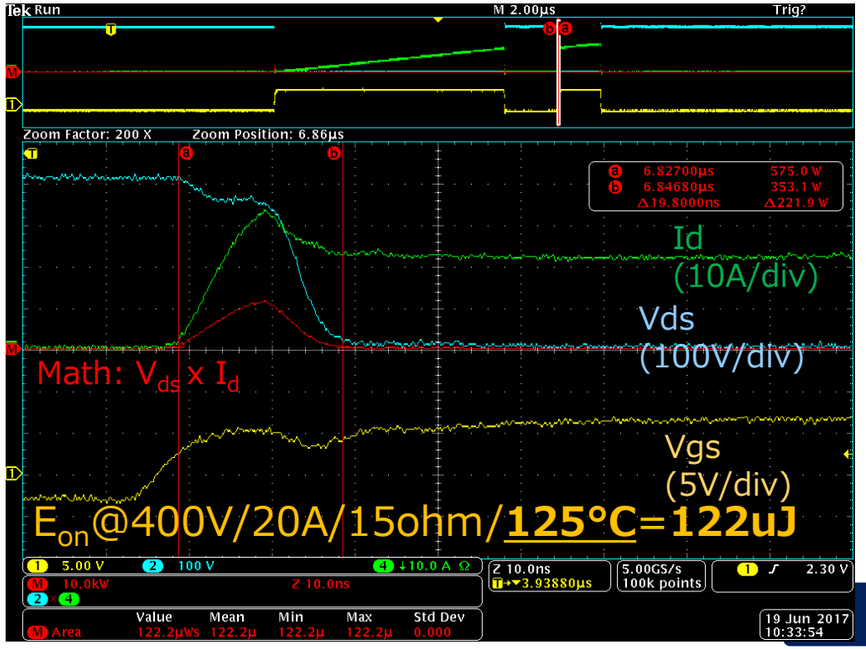


相互コンダクタンス g_m vs T_J （GS66508B）



GS66508 Tj の上昇によるE_{on}の増加

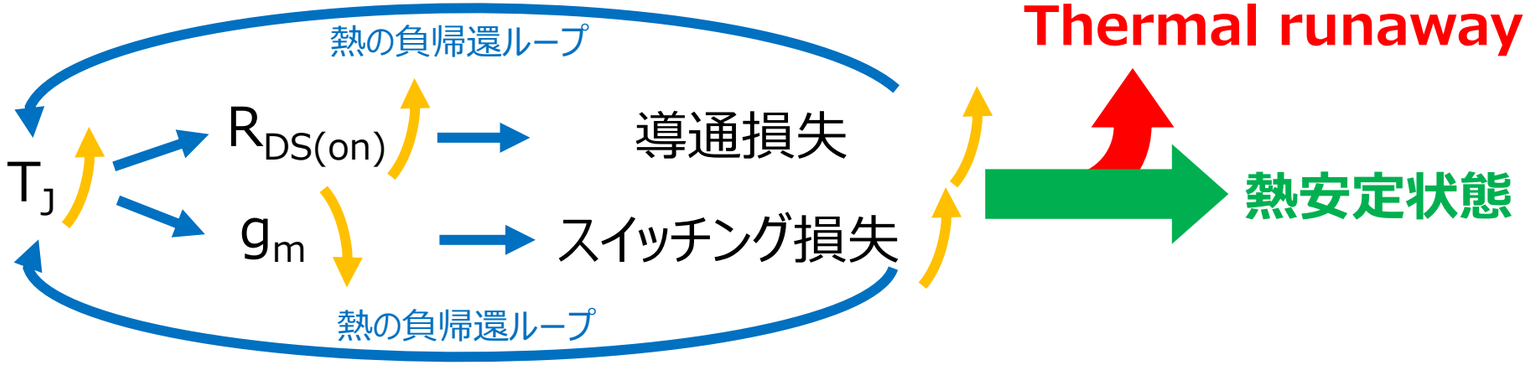


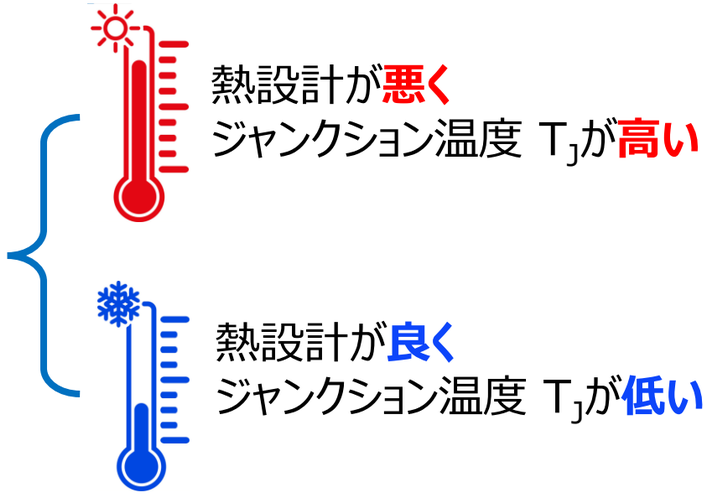


1. モチベーション：デバイスの熱管理の重要性

デバイスの温度を低くに保つ理由：

1.最大/最悪の動作条件で熱暴走を防止する



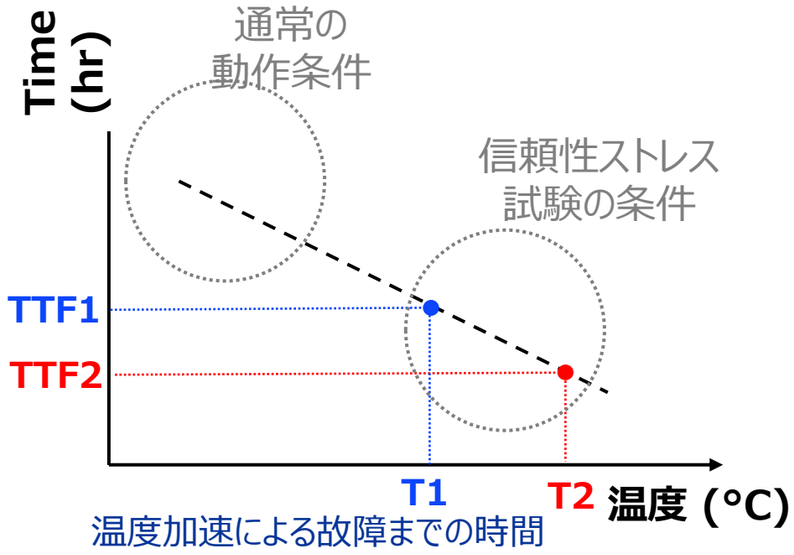


しかしまた：

2.全体的な損失を減らし、システム効率を向上させる

3.システムの信頼性を向上させる

デバイスレベルとシステムレベルの
両方の優れた熱設計が重要



1. モチベーション：デバイスの熱管理の重要性

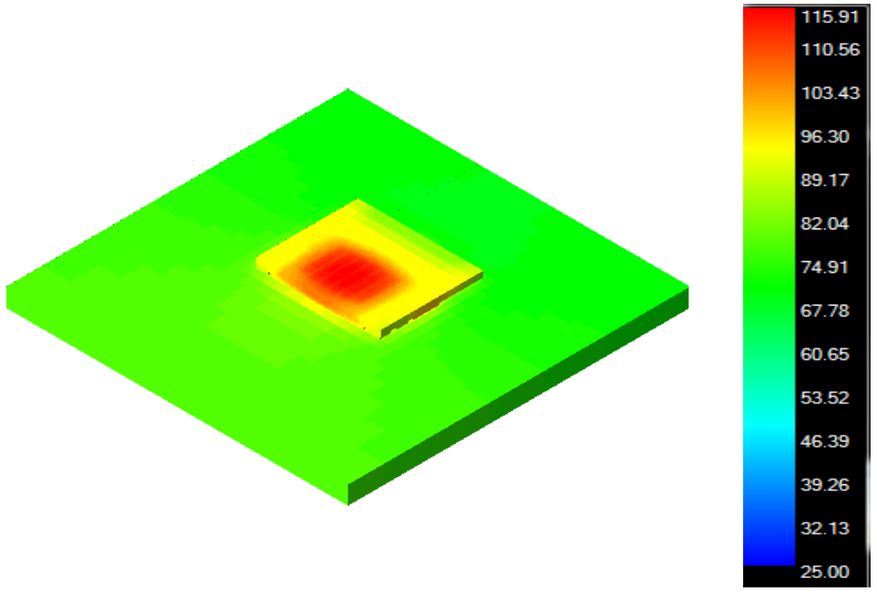
優れた熱設計により、設計電力密度も向上

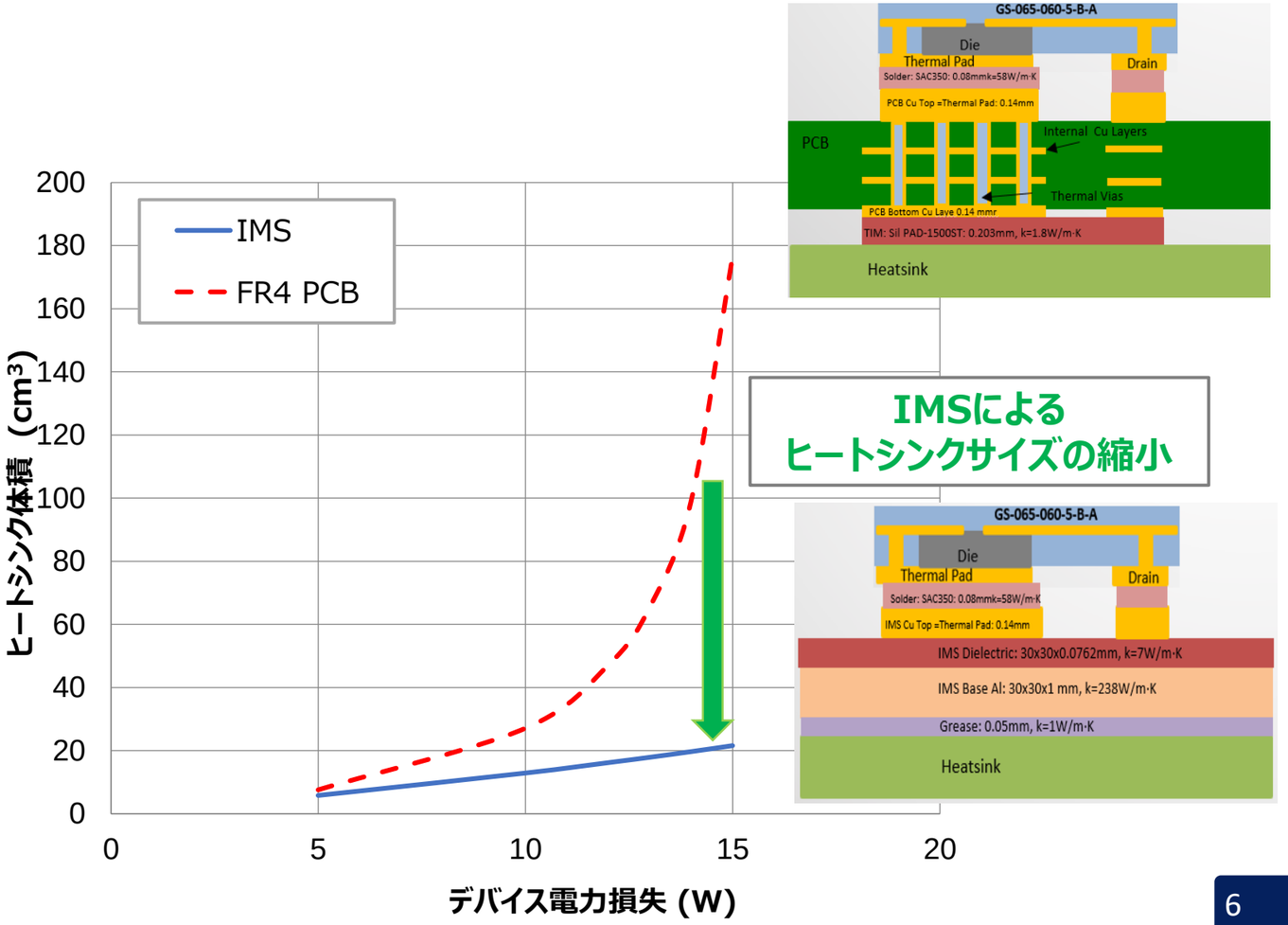
事例:

FR4 PCBの熱伝達と比較して、GaN Systemsの絶縁金属基板（IMS）設計は、高出力アプリケーションのヒートシンク容量を削減します

IMSとFR4 PCBのシミュレーション比較:

- 空冷、T_A=25°C、同じ基板サイズで比較
- 電力損失の増加に対し、T_J=100°Cを維持するようにヒートシンクのサイズを大きくする





アプリケーションノート概要

1. モチベーション：デバイスの熱管理の重要性

2. 電力損失と熱の基礎

2.1 電力損失

2.2 熱伝導、熱抵抗、およびジャンクション温度

3. トップ放熱デバイスの熱設計に関する考慮

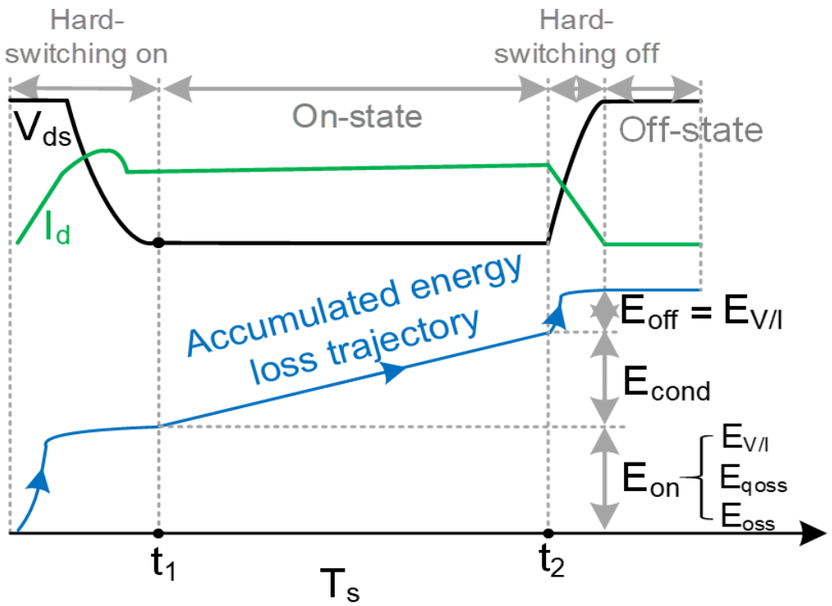
4. ボトム放熱デバイスの熱設計に関する考慮

5. 熱を考慮したデバイスの選択

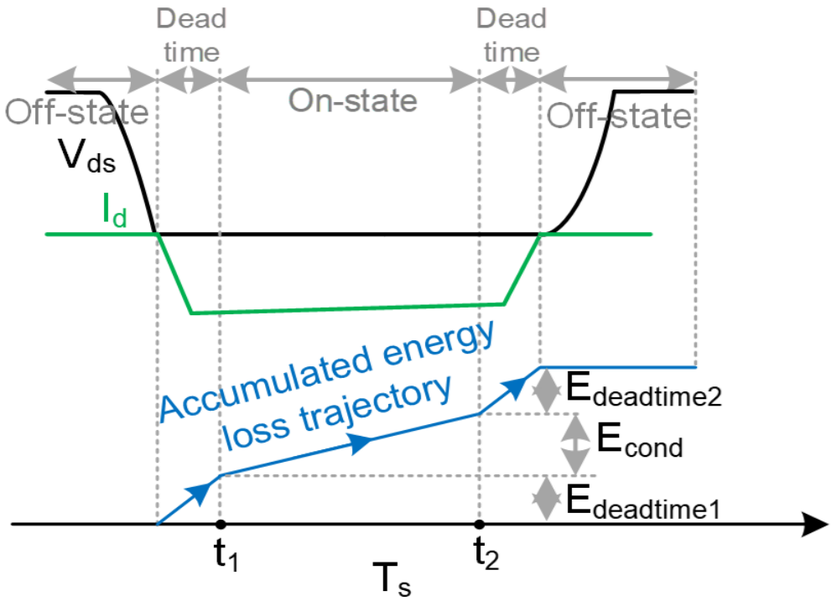
6. 電力損失と熱モデリング

2.1 電力損失

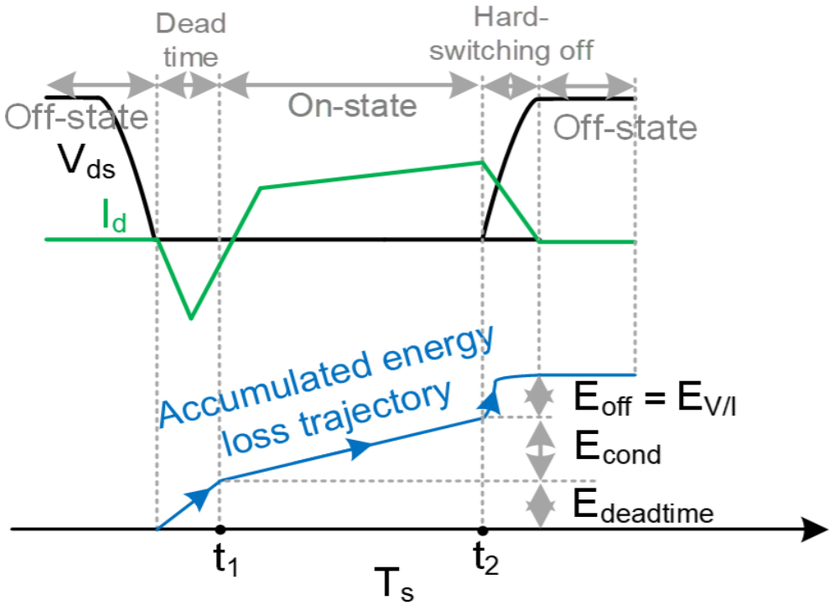
スイッチングデバイスのエネルギー損失は、主に3つのタイプに分類できます。電力損失は $P = E \times F_{sw}$



1. ハードスイッチングの電力損失

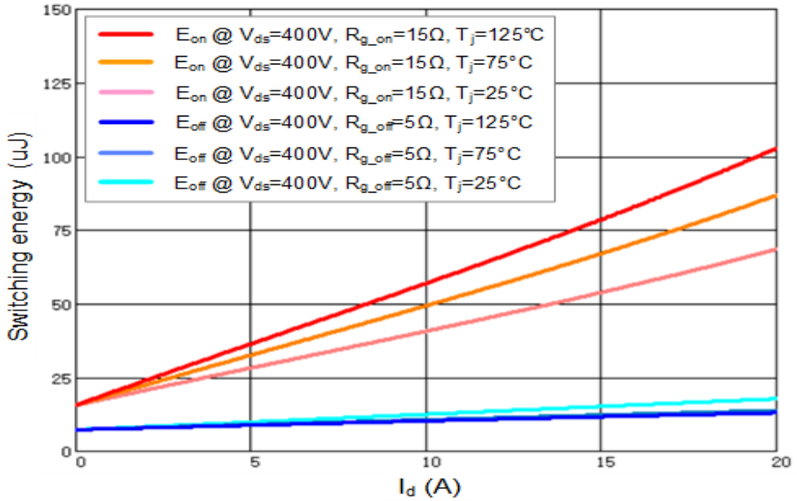


2. 同期整流の電力損失

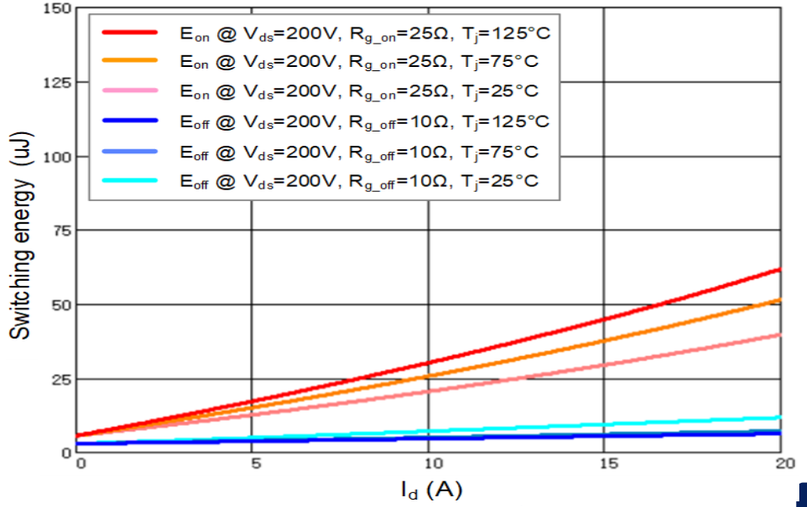


3. ZVS ソフトスイッチングの電力損失

様々な動作条件下での電力損失メカニズムはよく理解され、特徴付けられています



GS66508T スイッチングロス@ 400V

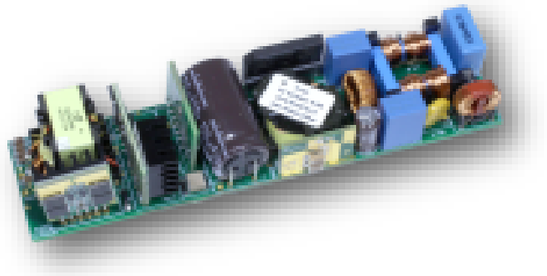


GS66508T スイッチングロス@ 200V

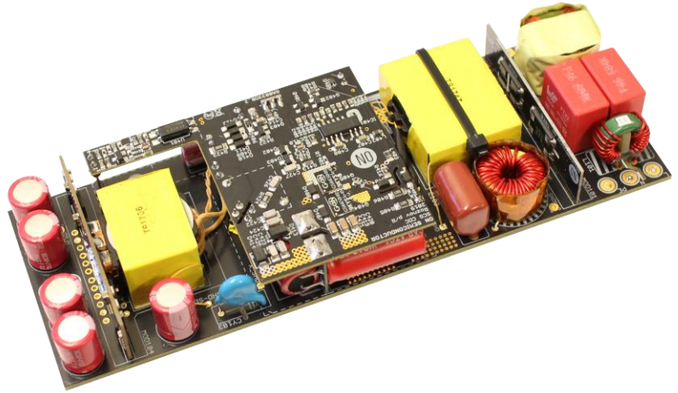
2.1 GaNを用いた場合の電力損失

スイッチング方式	GaNの特徴	システムへの影響
3. ZVS ソフトスイッチングモード	高速スイッチングスピード	スイッチングオフ損失 ↓
	エネルギー換算$C_{oss(ER)}$が小さい	ZVSを満たす誘導エネルギー, 回生電力 ↓
	時間換算$C_{oss(TR)}$ が小さい	デッドタイム ↓
	ゲート電荷量 Q_g が小さい	ゲートドライバロス ↓
1.ハードスイッチングモード	逆回復ロスがない 容量性E_{oss}/E_{qoss} 損失が低い 相互コンダクタンスが優れる	スイッチングオンロス ↓

優れた電気的性能により、GaN HEMTはソフトスイッチングとハードスイッチングの両方のアプリケーションを強化します



170 W PFC + LLC アダプタ



300 W PFC + LLC アダプタ

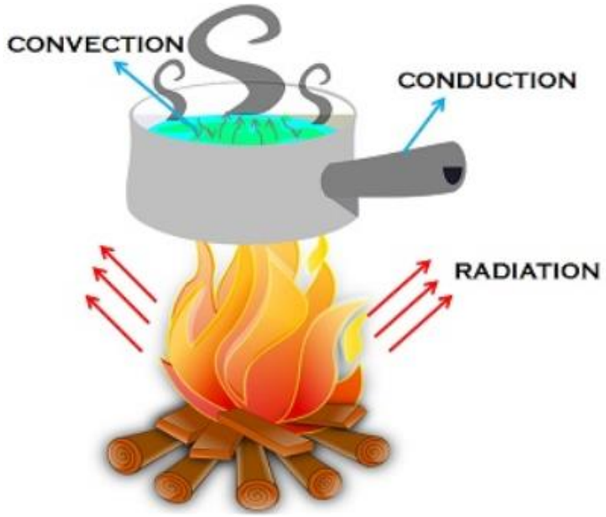
3kW CCM トーテムポール PFC

10 kW 3相トラクションインバータ

2.2　熱伝導、熱抵抗、およびジャンクション温度

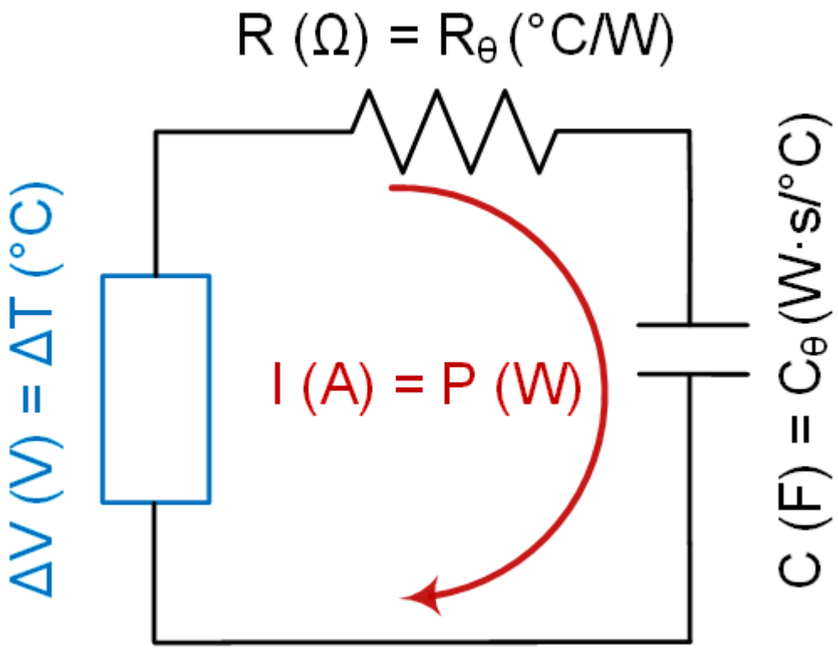
熱の伝達 は主に3つの原理で起こります:

- **伝導** – 直接接触による
- **対流** – 流体の動きによる (空気は流体である)
- **放射** – 電磁波による

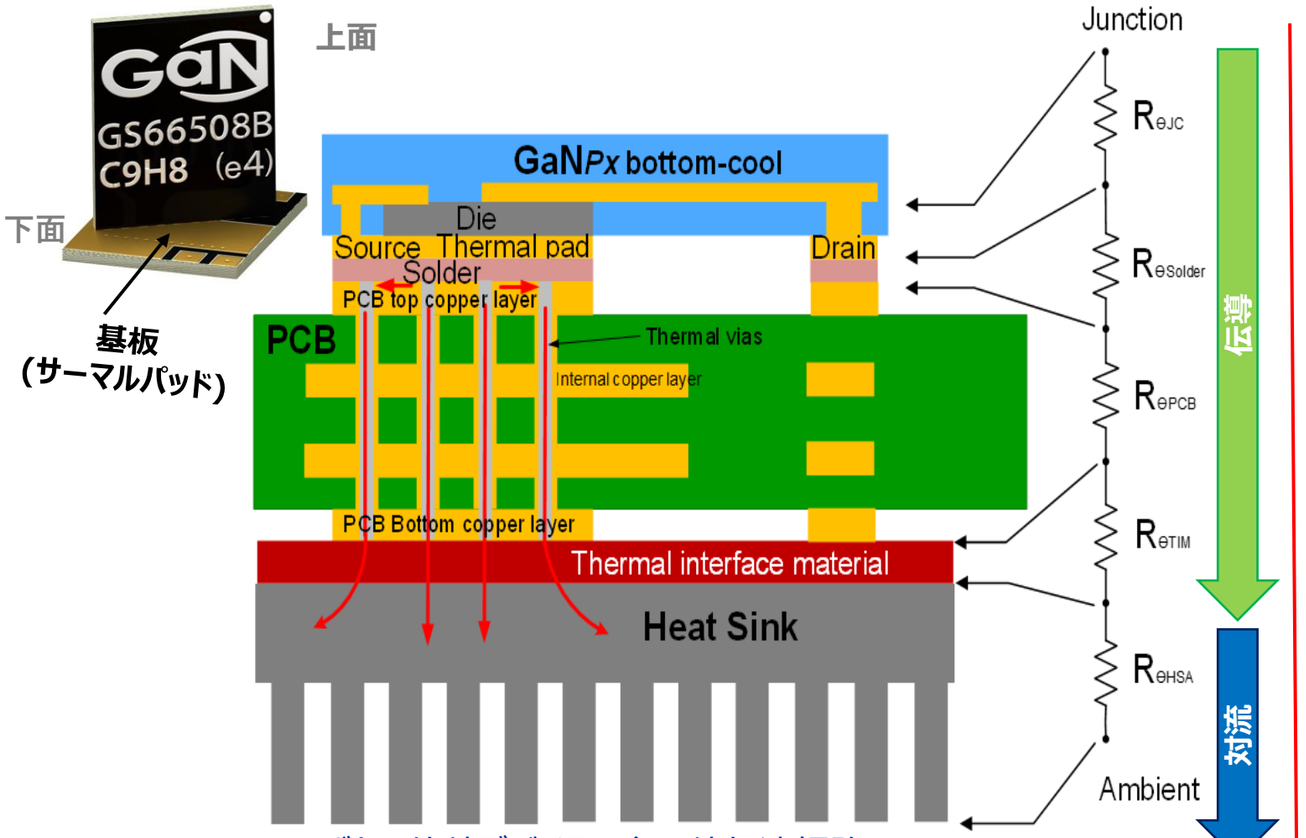


熱と電気のパラメータの類似性

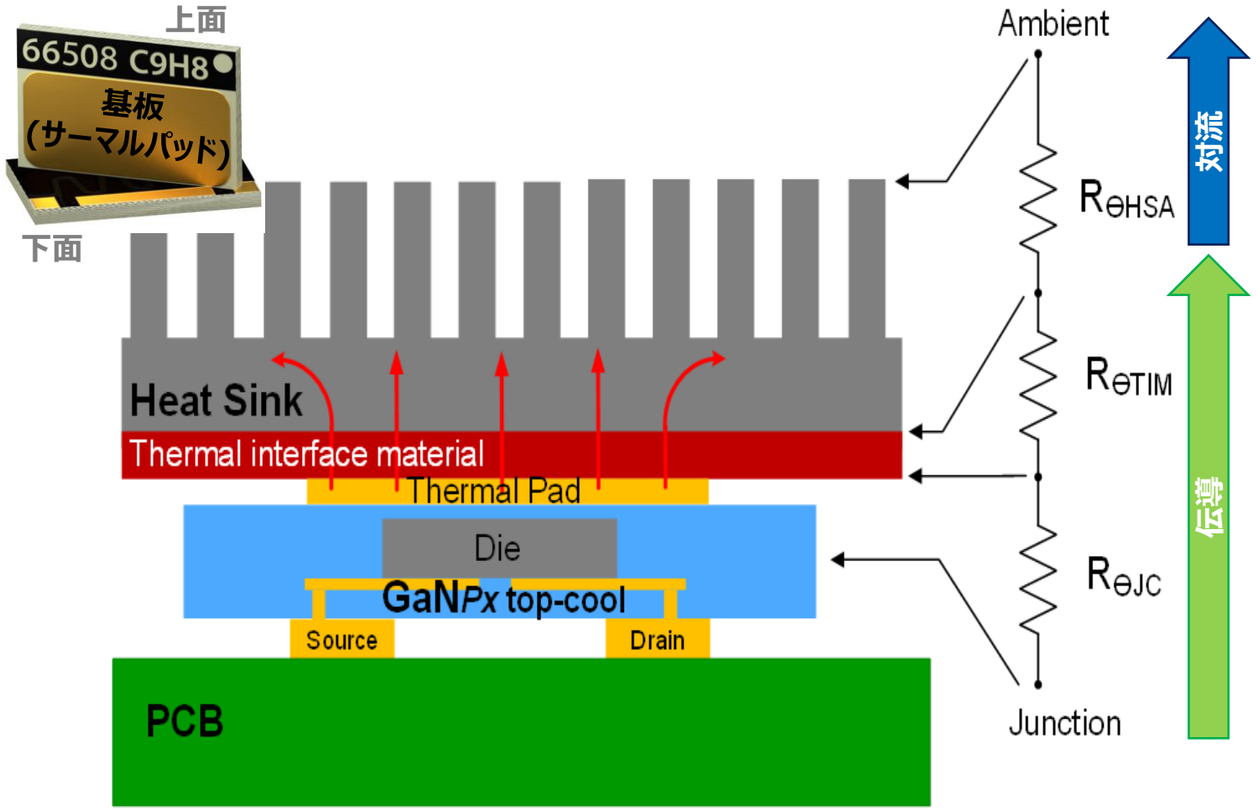
熱パラメータ	電気パラメータ
温度 T (°C)	電圧 V (V)
電力 P (W)	電流 I (A)
熱抵抗: R_θ (°C/W)	抵抗 R (Ω)
熱容量: C_θ (W·s/°C)	コンデンサ容量 C (F)



2.2. GaNの熱伝導と熱抵抗



ボトム放熱デバイスの主な熱伝達経路と
その熱抵抗ネットワーク



トップ放熱デバイスの主な熱伝達経路と
その熱抵抗ネットワーク

ジャンクション温度計算: $T_J = T_A + P \times R_{\theta JA}$

GaN HEMTの優れた電気的性能（性能指数）は、全体的な電力損失を抑えます

従来の「性能指数」を超える
このプレゼンテーションでは、熱設計によりGaNを十分に活用して、
GaN HEMTの全体的なパフォーマンスを最大化する方法を示します

1. モチベーション：デバイスの熱管理の重要性

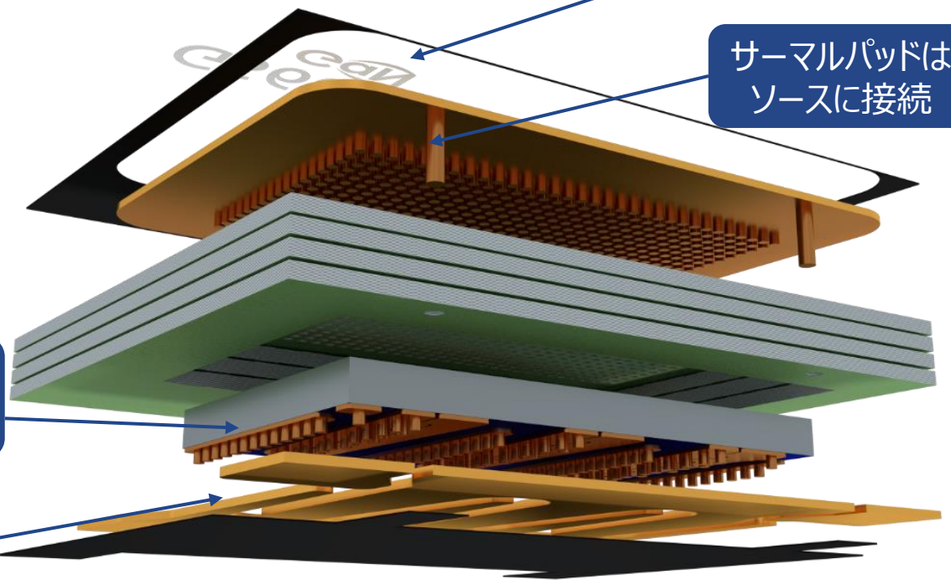
2. 電力損失と熱の基礎

3. トップ放熱デバイスの熱設計に関する考慮

4. ボトム放熱デバイスの熱設計に関する考慮

5. 熱を考慮したデバイスの選択

6. 電力損失と熱モデリング

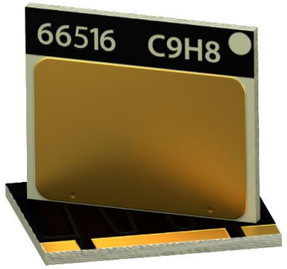


GaN*PX*®-T パッケージのデバイス構造

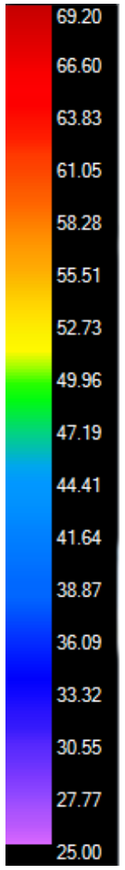
3. トップ放熱設計 – 放熱シート (TIM, サーマル インターフェイス マテリアル)

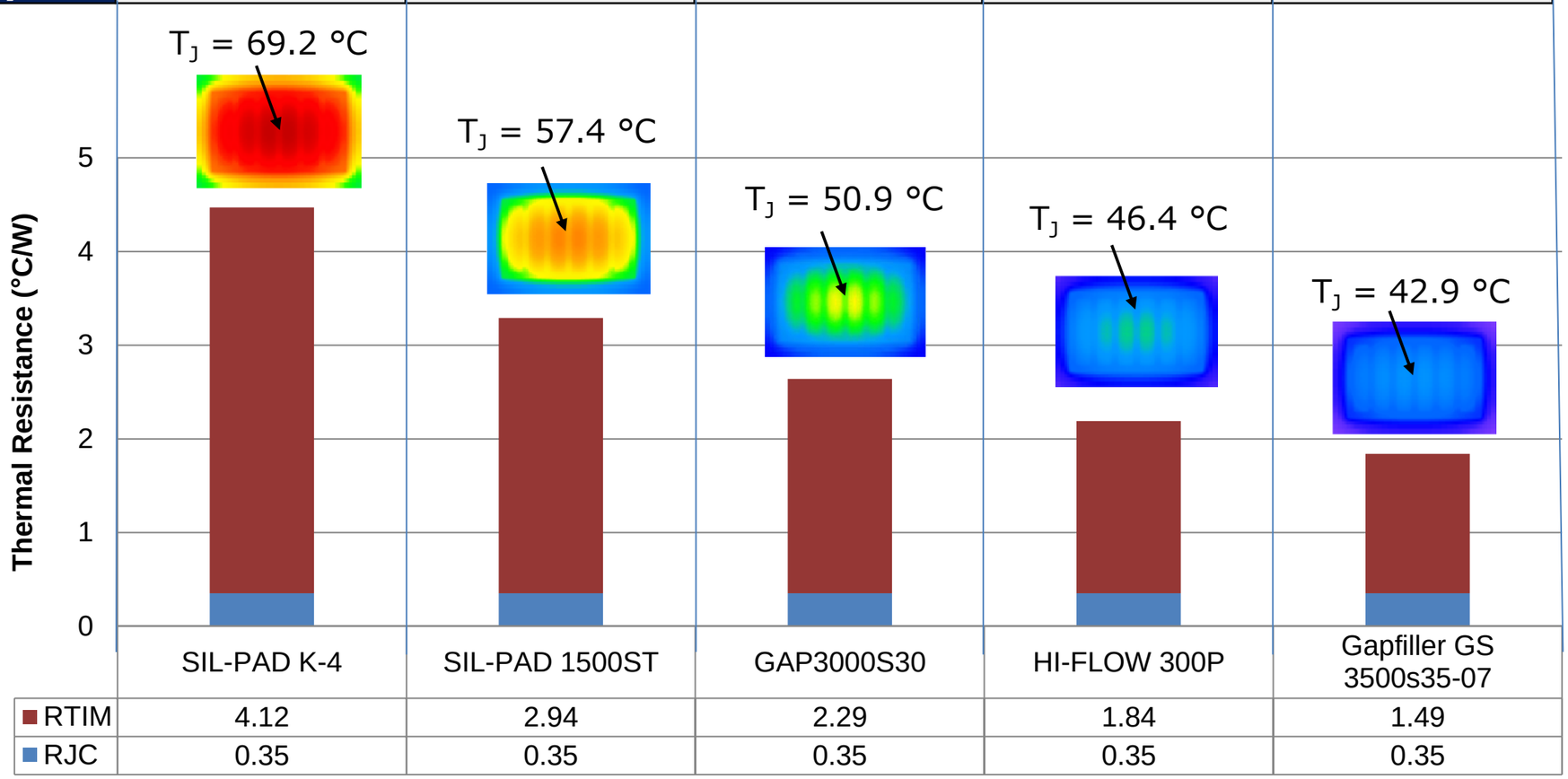
熱シミュレーション動作条件:

- GS66516T に10W の電力損失を印加する
- T_{HS} = 25 °C



	SIL-PAD K-4	SIL-PAD 1500ST	GAP3000S30	HI-FLOW 300P	GAPFILLER GS 3500S35-07
TIM 厚さ (mm)	0.152	0.203	0.25	0.102	0.178
熱伝導率 (W/m·K)	0.9	1.8	3.0	1.6	3.6





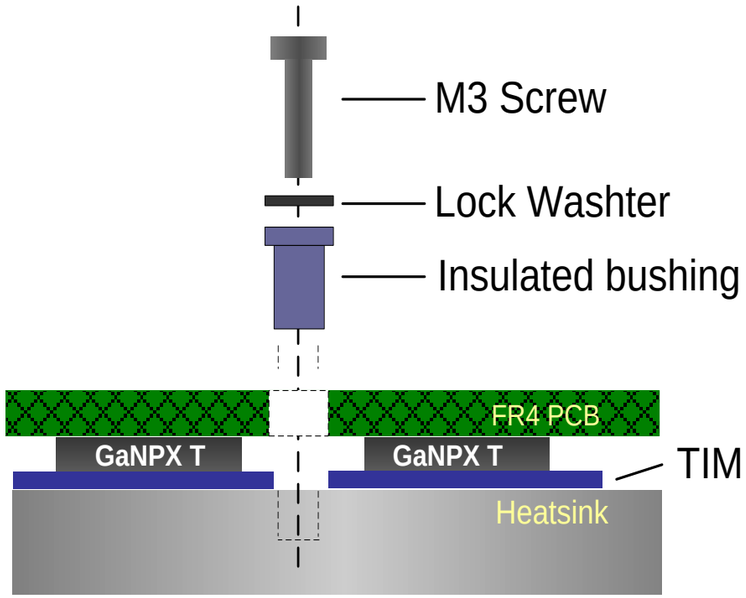
TIM材料を選択するための重要なパラメーター：
絶縁耐力、機械的強度、およびコスト

Listed TIM materials from Bergquist *http://www.bergquistcompany.com/thermal_materials/

3. トップ放熱設計 – 実装における考慮

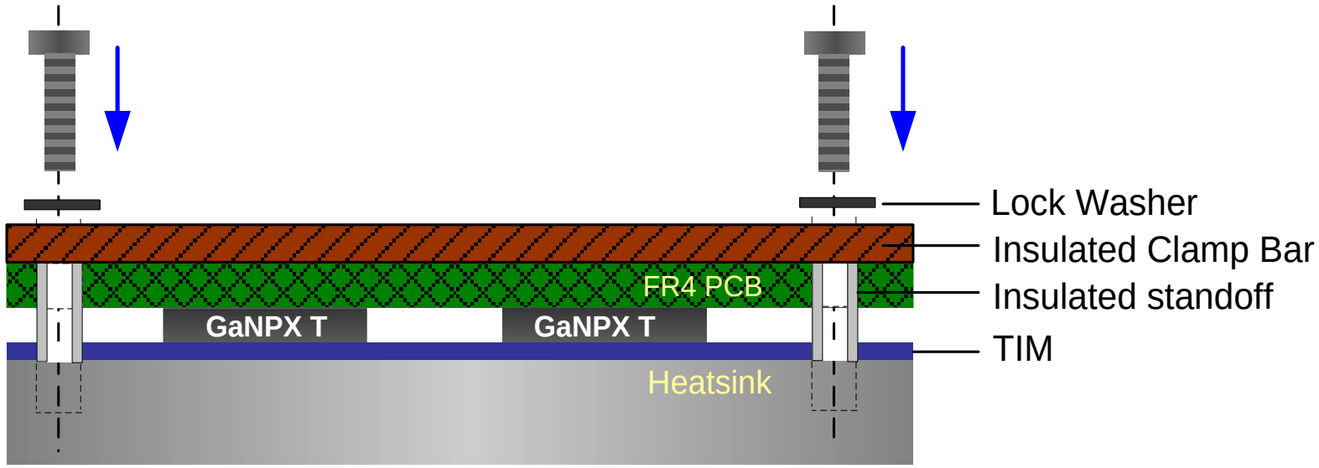
小型ヒートシンク用の中央取り付け穴

- 2台の装置間の圧力バランス
- 典型的な推奨最大圧力～50psi
- 100psiまでのテストで故障なし



大型ヒートシンク用の2つ以上の取り付け穴

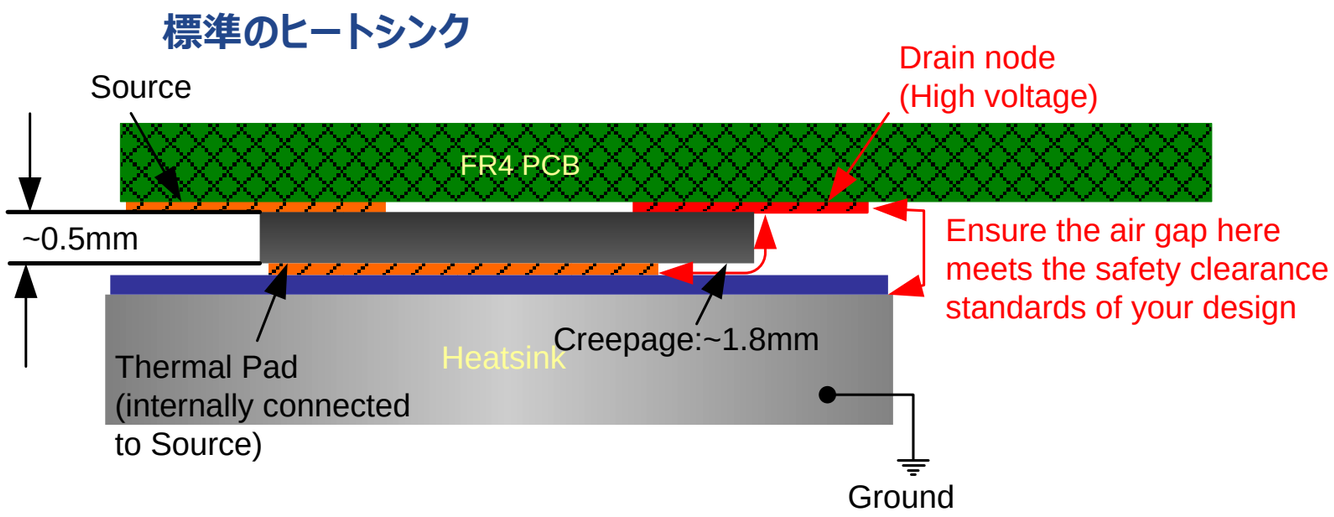
- PCBの過度の曲げはSMD部品にストレスを引き起こすため、回避する必要があります
- 取り付け穴をGaNPX®-Tパッケージの近くに配置します
- 必要に応じて、追加の機械的サポートのために、PCBの上部にサポートクランプバーを使用しますが、一般的ではありません

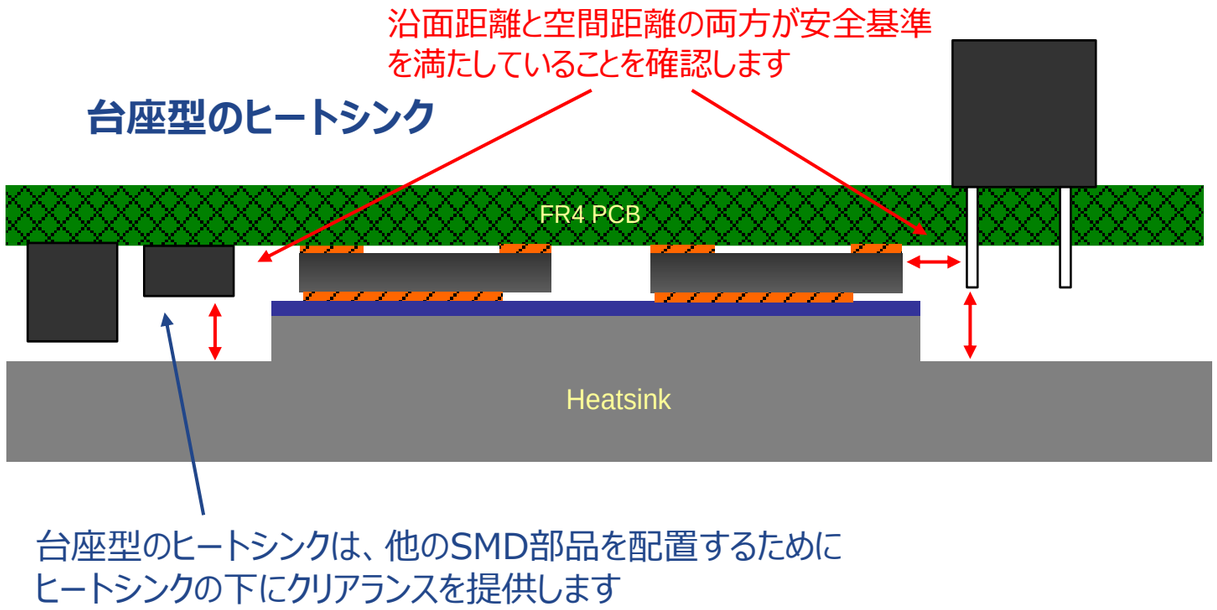


3. トップ放熱設計 – 絶縁クリアランス

ヒートシンクを使用する場合は、規制される沿面距離と空間距離の要件を満たすように設計してください

- TIMを使用して、クリアランスが基準を満たす必要がある領域のヒートシンクエッジをカバーします
- スルーホールコンポーネントをGaNPX®-Tパッケージの近くに配置しないでください
- 台座型のヒートシンク設計を使用して、隙間を増やし、ヒートシンクの下にSMTコンポーネントを配置できるようにします。

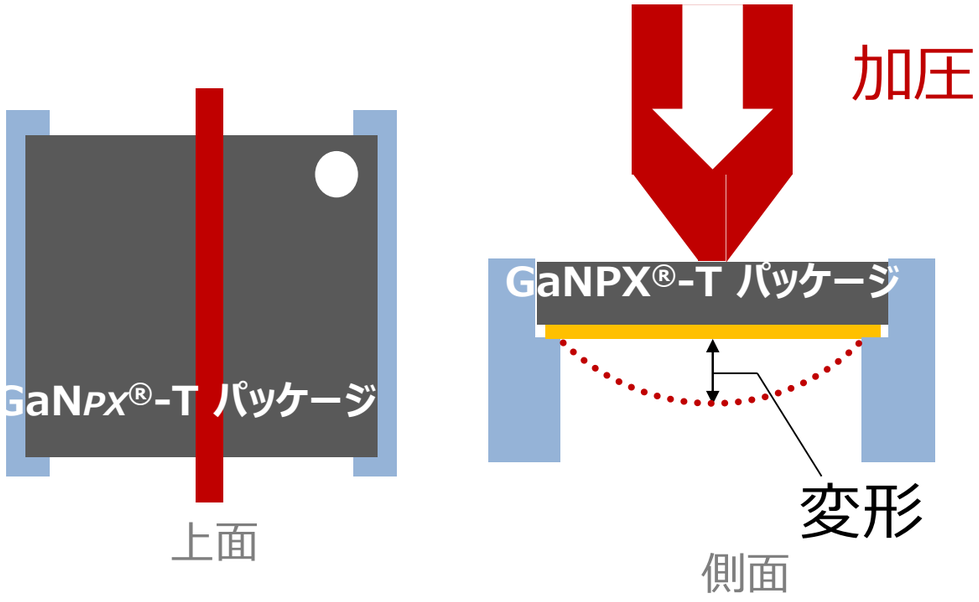




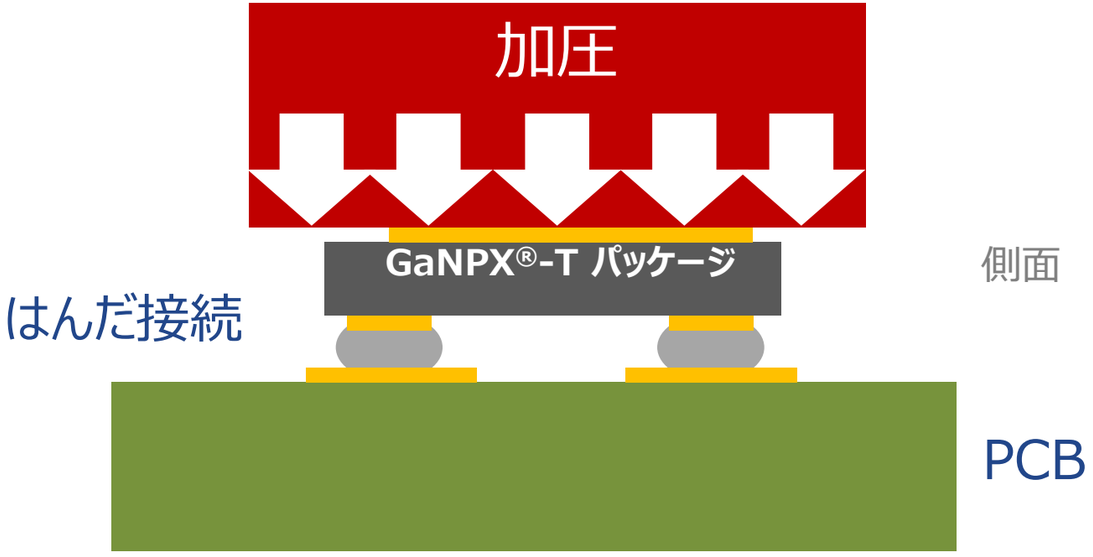
3. トップ放熱設計 – パッケージ曲げ圧力と変形

部品番号	安全変形限界 (µm)	安全圧力限界 (PSI)
GS66508T	50	100
GS66516T	120	100

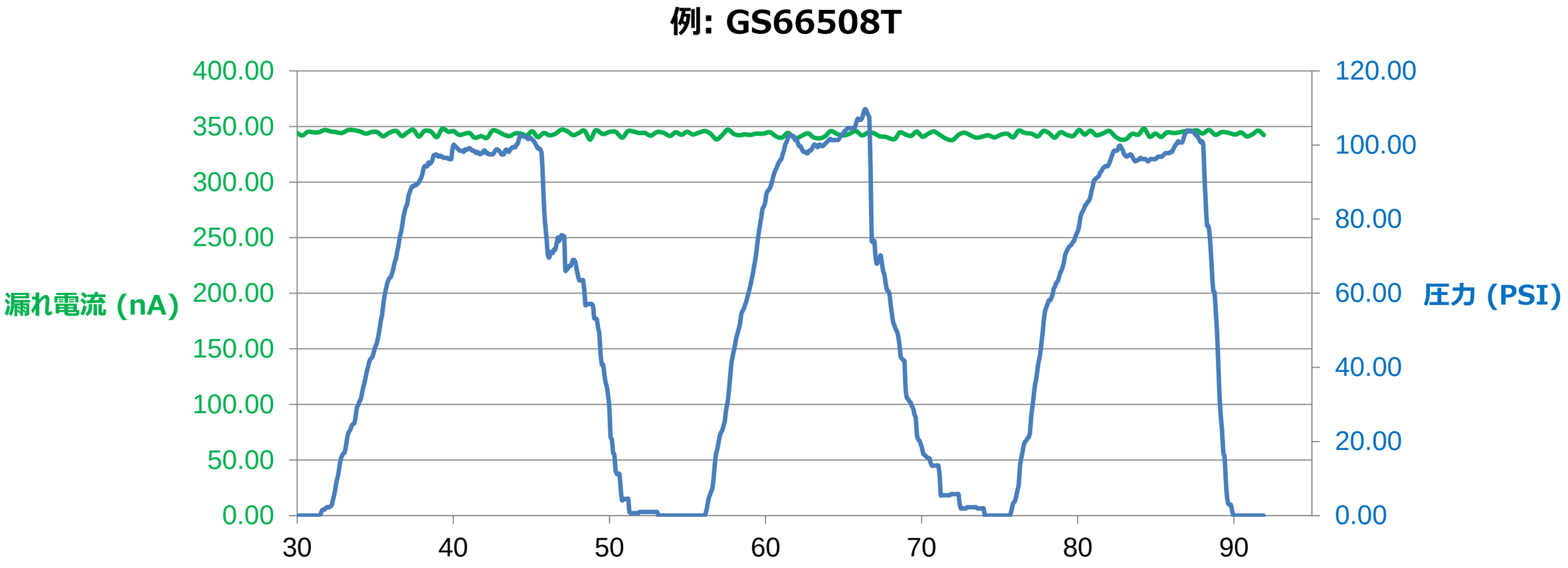
変形試験



圧力試験



3. トップ放熱設計 – 曲げ圧力試験方法



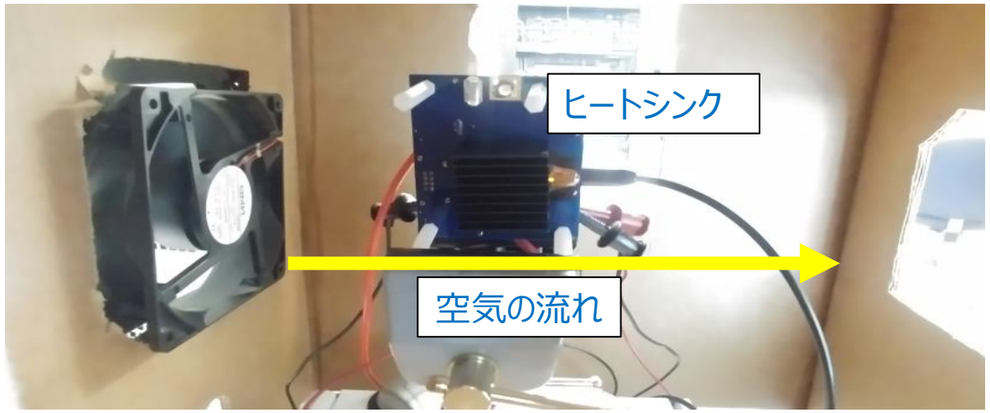
試験サンプルに3回で100 PSIを加え、漏れ電流は変化はなし

試験サンプルに400Vを V_{DS} を印加した場合 (25°C時)

漏れ電流 = I_{DSS} + I_{GS} + I_{BULK}* (*基板)

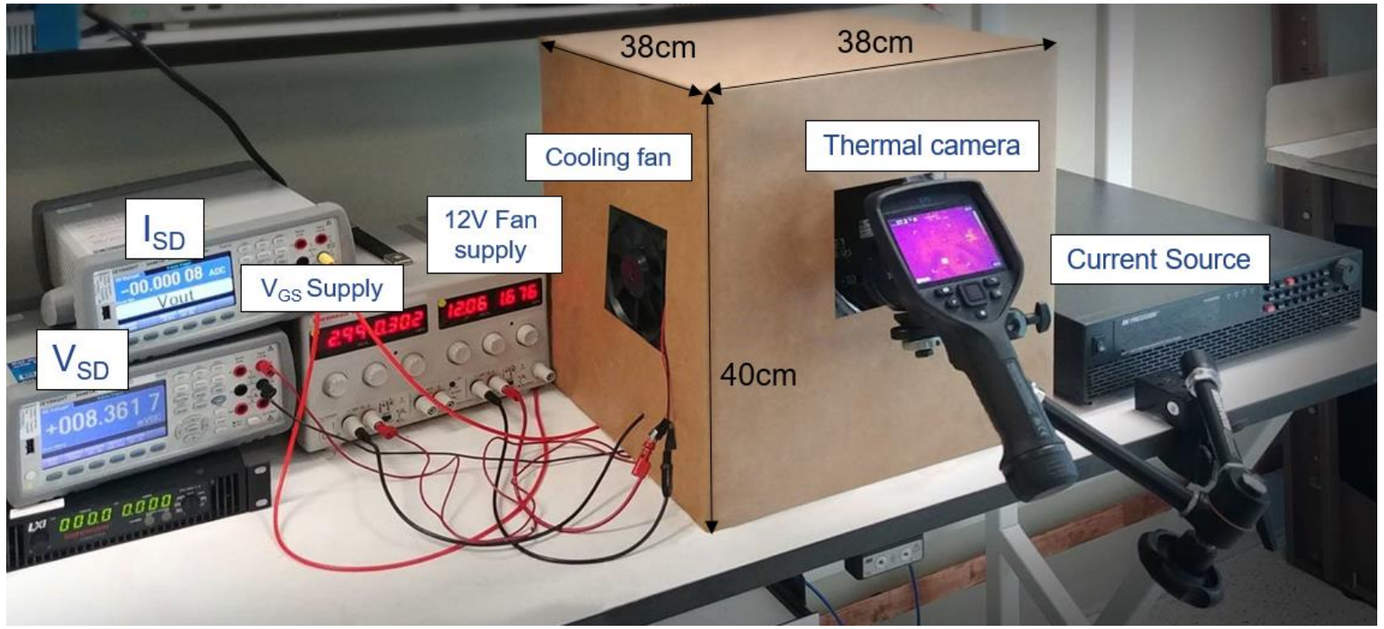
3. トップ放熱設計 – 熱抵抗測定

1. GS66516Tの測定された$R_{\theta JHS}$および$R_{\theta JA}$は、それぞれ3°C / Wおよび4.2°C / Wです.
2. GS66516Tは、デバイス当り29Wの損失を放熱できます.

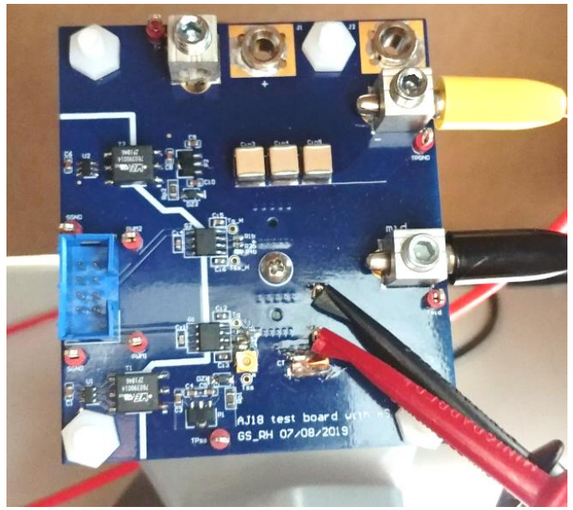


ボックス内のセットアップ

ヒートシンクサイズ:
3.4x3.4x2.5 cm³



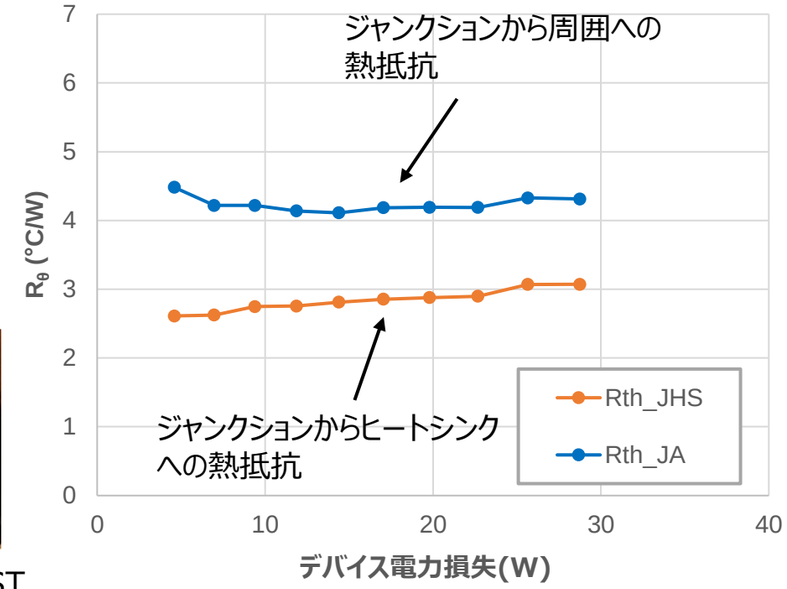
空冷されたトップ放熱デバイスの熱抵抗測定のセットアップ

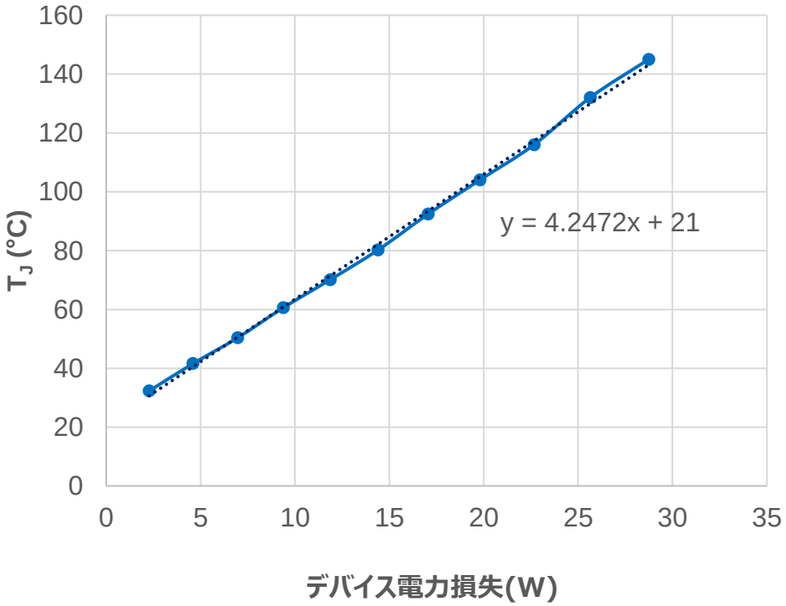


試験されたGS66516T
-評価ボードに基づく

ファンの流量:
3.3 m³/min

TIM: Sil-Pad 1500ST





アプリケーションノート概要

1. モチベーション：デバイスの熱管理の重要性

2. 電力損失と熱の基礎

3. トップ放熱デバイスの熱設計に関する考慮

4. ボトム放熱デバイスの熱設計に関する考慮

4.1　FR4 PCBのボトム放熱設計

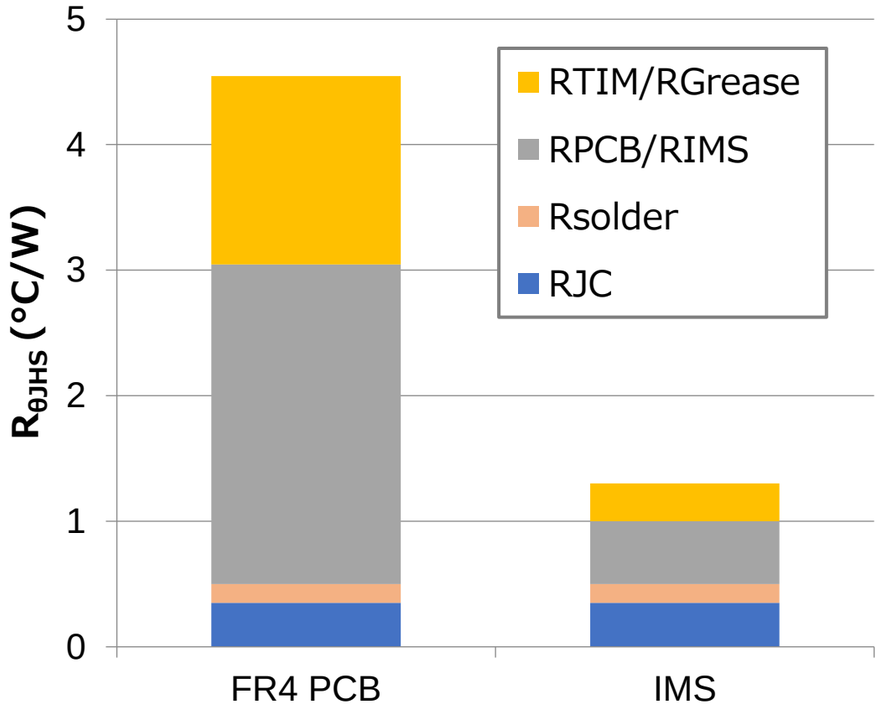
4.2　IMSのボトム放熱設計

5. 熱を考慮したデバイスの選択

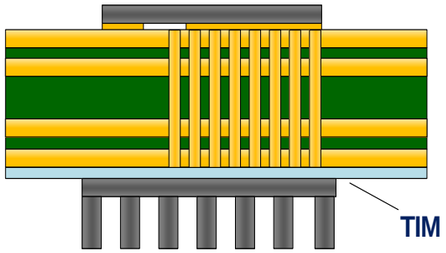
6. 電力損失と熱モデリング

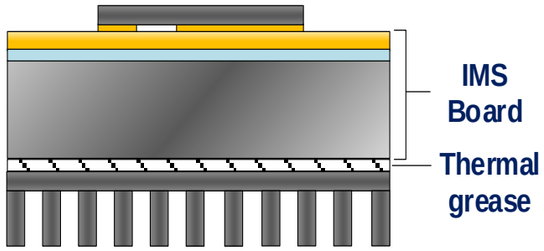
4. ボトム放熱デバイスの熱設計

ボトム放熱デバイスの熱ソリューションの概要



GS66516Bに基づく
ジャンクションからヒートシンクへの熱抵抗（$R_{\theta JHS}$）の比較





	ビアによるFR4 PCB の放熱	絶縁金属基板(IMS)
熱抵抗	良	最良
電気絶縁	TIMの使用	Yes
コスト	もっとも安い	安い
メリット	• 標準のプロセス • レイアウトの柔軟性	• 電気的に絶縁
設計の課題	• 高いPCB熱抵抗	• 通常、レイアウトは1層に制限 • 寄生インダクタンス • 金属基板への静電容量結合

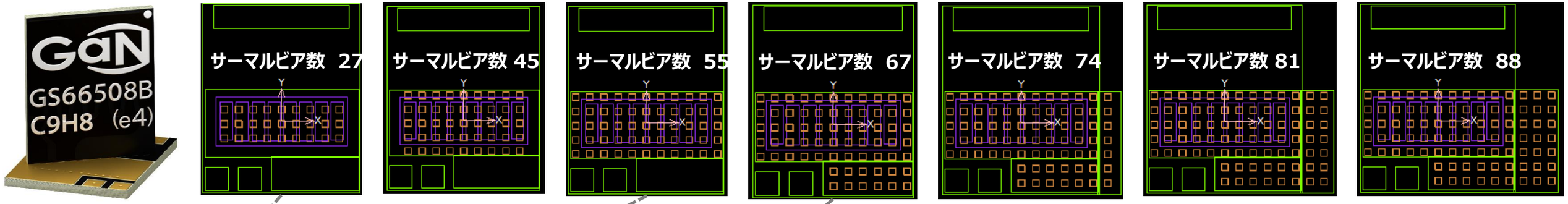
ボトム放熱デバイスの2つの熱設計オプションの性能比較

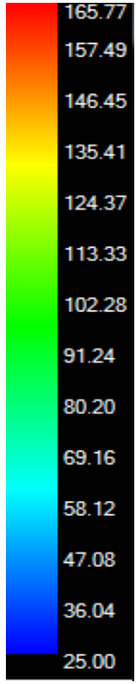
下部冷却用のFR4 PCBとIMSはどちらも適切なソリューションです． 顧客の選択は設計のトレードオフに依存します．

4.1.　FR4 PCB ボトム放熱設計 – PCB 熱設計

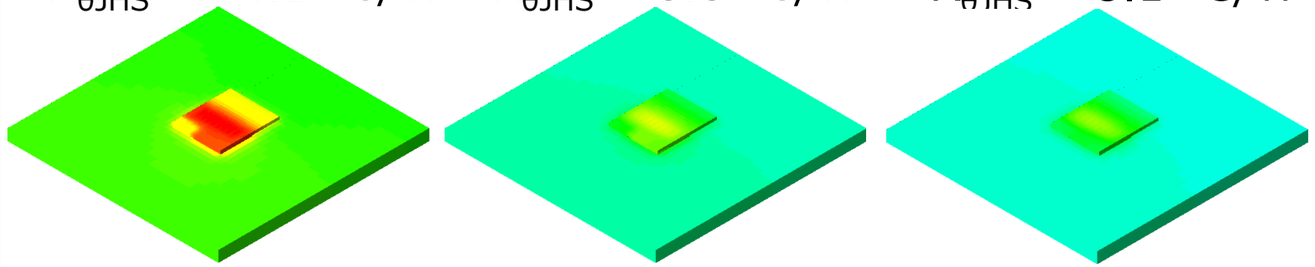
サーマルビアの設計

- デバイスの電力損失が10 WのGS66508B．銅の厚さが2オンス（70 μm）の4層の銅。T_{HS} = 25°C
- サーマルビアの設定：直径0.3 mm、ピッチ0.64 mm．　標準の25 μm銅メッキ厚．　ビア充填なし．



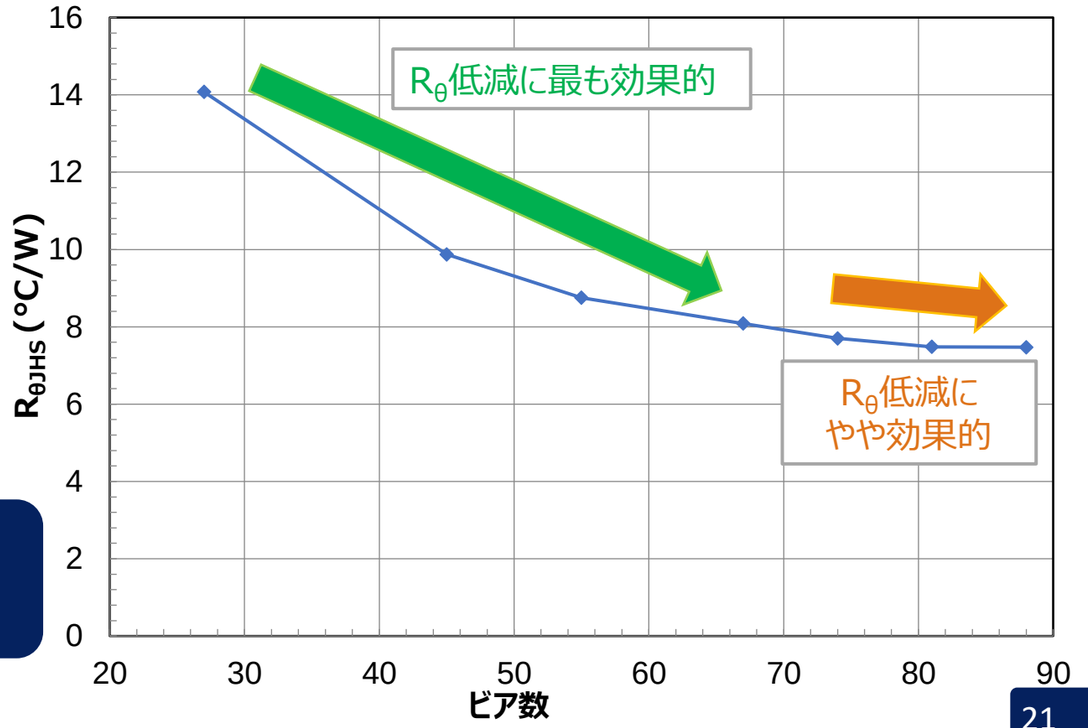


$R_{\theta JHS}$ = 14.1 °C/W　$R_{\theta JHS}$ = 8.8 °C/W　$R_{\theta JHS}$ = 8.1 °C/W



サーマルビア数 27　サーマルビア数 55　サーマルビア数 67

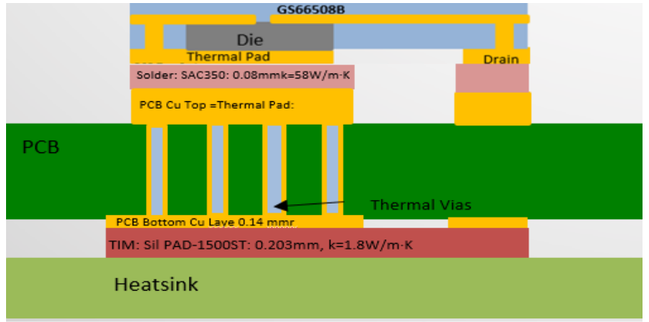
- デバイスのサーマルパッドの下にサーマルビアを配置して効果を最大化
- PCB設計領域に基づいてサーマルビア領域を拡張可能



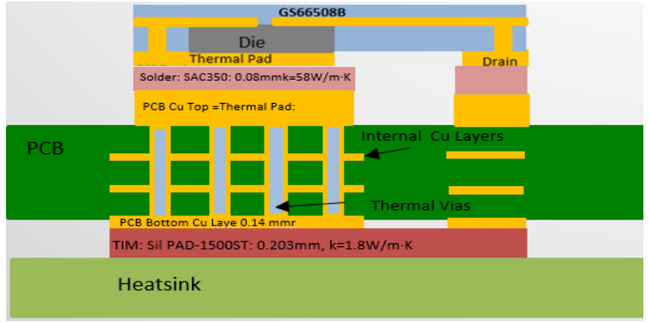
4.1. FR4 PCB ボトム放熱設計 – PCB 熱設計

配線層数と銅の厚さ

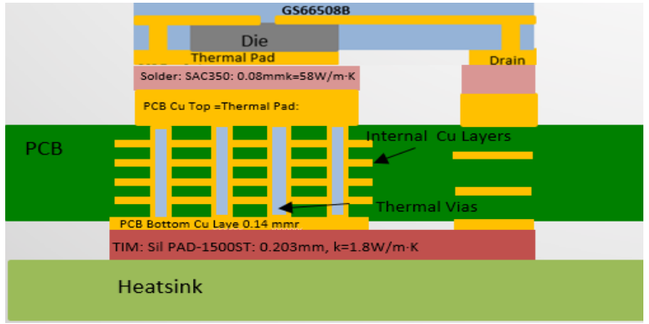
- デバイスの電力損失が10 WのGS66508B。T_{HS}= 25°C.　PCB全体の厚さは同じ（1.6mm）です.
- 例として55個のサーマルビアを使用.



2層 PCB 設計

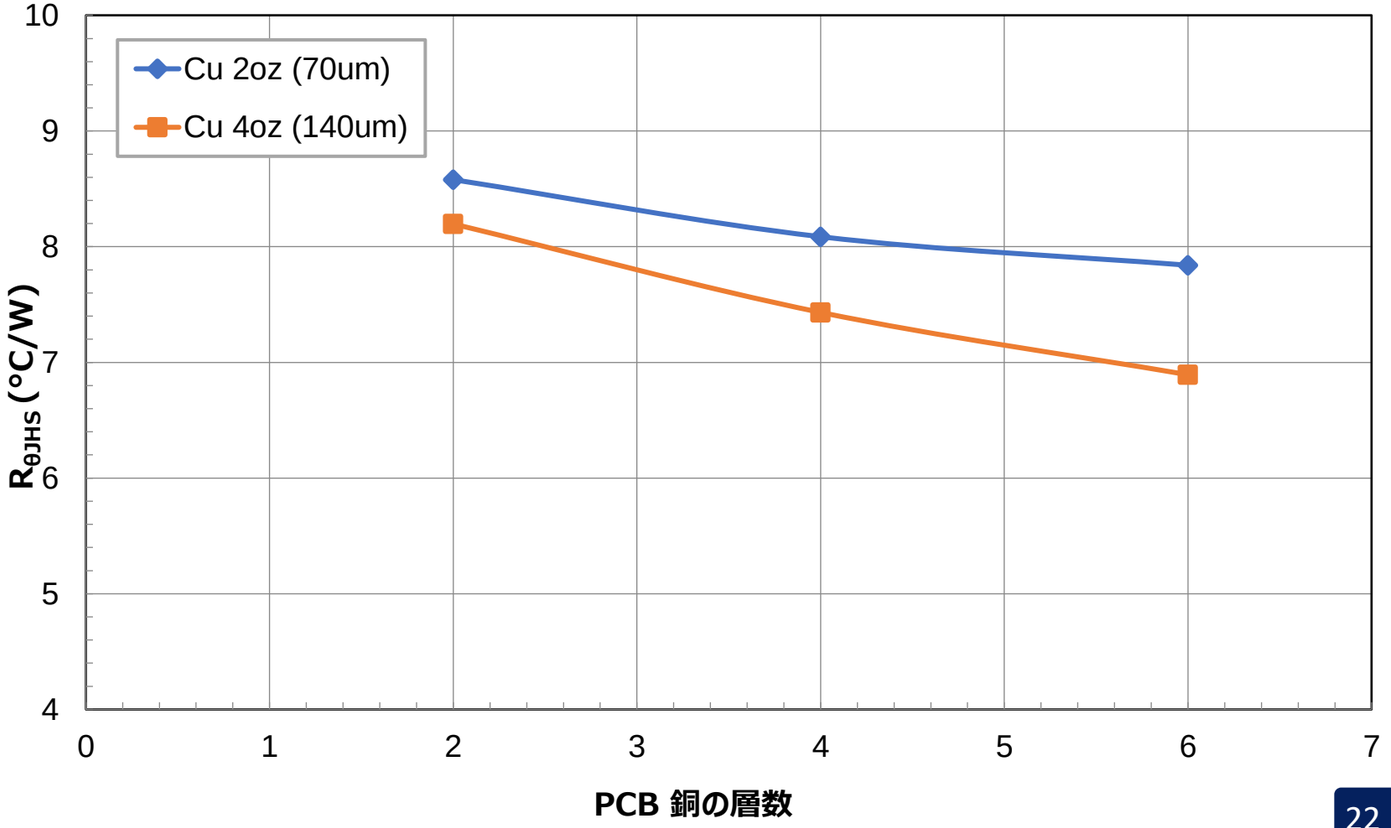


4層 PCB 設計



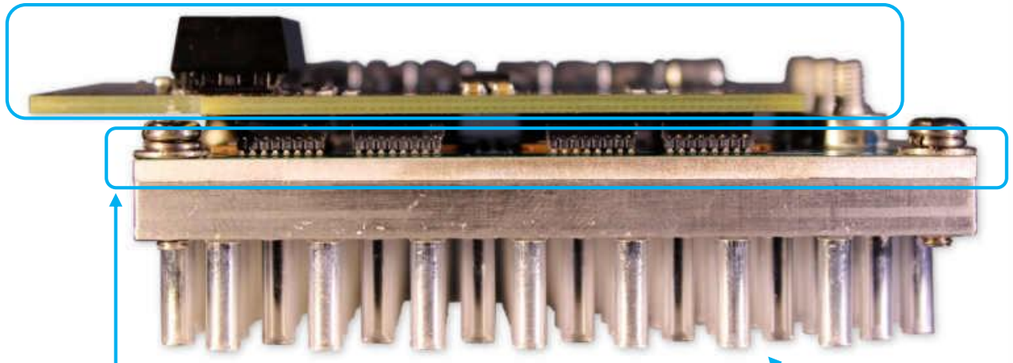
6層 PCB 設計

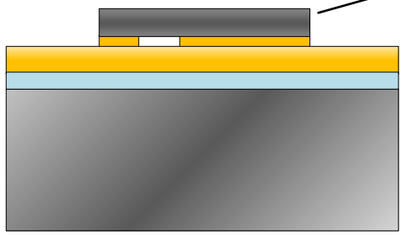
配線層や銅の厚さを増やすと、R_{θ}を低減できるので、
PCBのコストとのトレードオフになります.



4.2.　IMS ボトム放熱設計

IMS設計の断面図





SMT Power Package

Copper Foil:
- Typ. 1-4oz (35-140um) up to 10oz

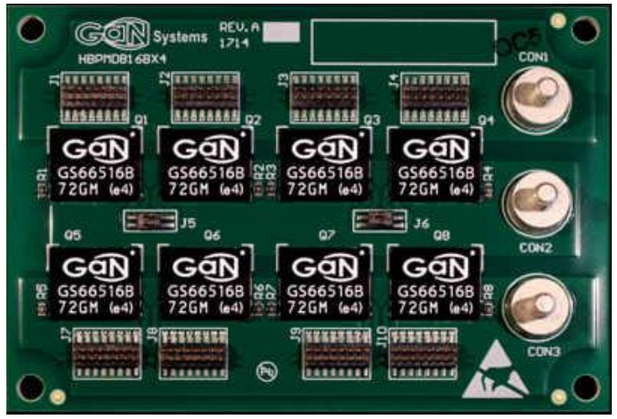
Dielectric Layer:
- Electrical insulation
- Typ. 30-200um thickness
- Thermal conductivity: 1-3W/mK

Metal Substrate/Base
- Electrically isolated
- Aluminum or copper

IMSは、高出力アプリケーションの出力密度を向上させます

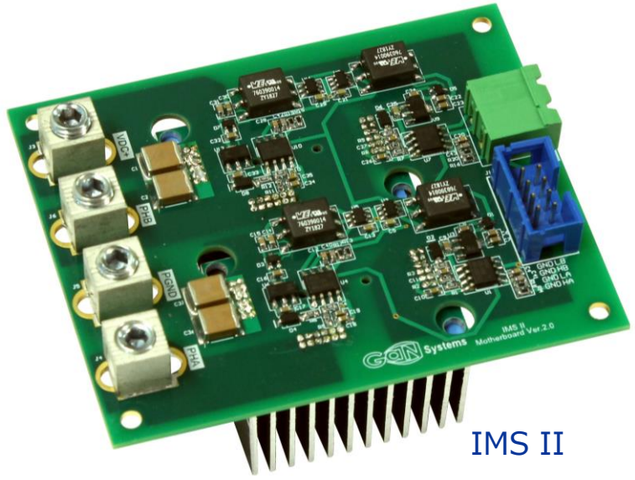
IMS I
- 高出力アプリケーション（3～12kW）用に設計されています.
- 適用された GaN HEMT：GS66516Bシングル、2または4並列

IMS I



Half Bridge (650V/240A, 6mΩ)

IMS II
- コンパクト.　中高電力アプリケーション（1～3kW）用に設計されています.
- 適用されたGaN HEMT：シングルのGS66508BまたはGS66516B



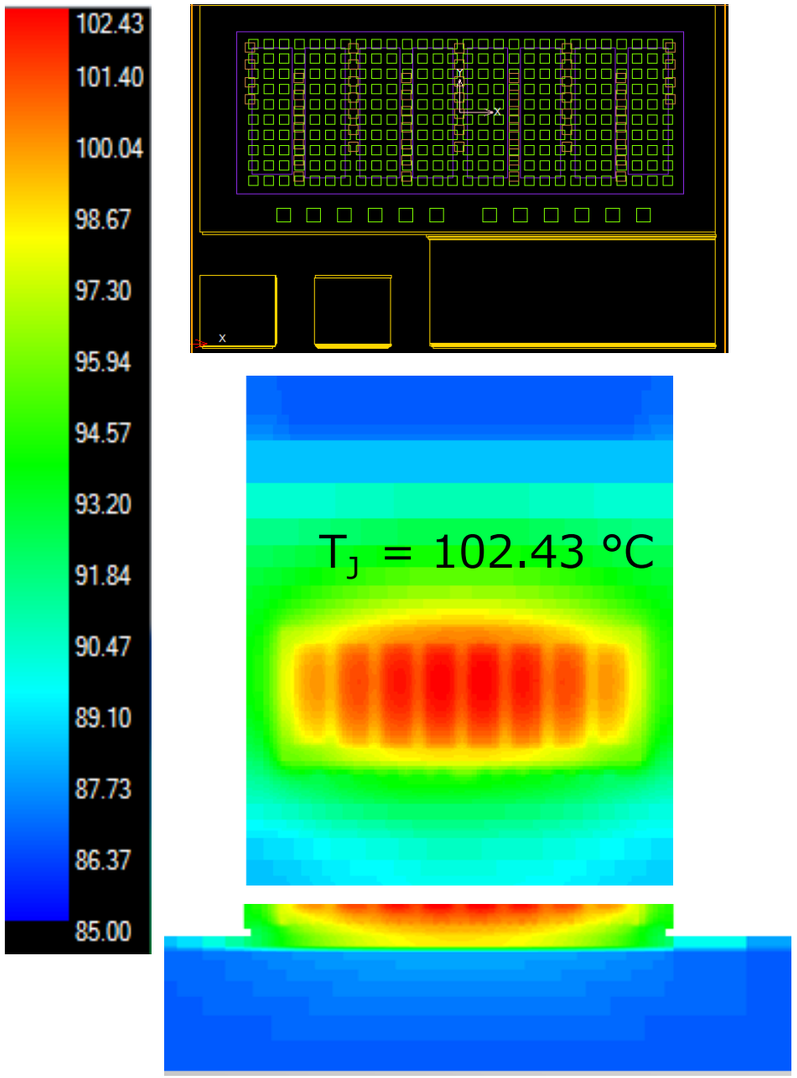
IMS II

ハーフブリッジ (650V/30A, 50mΩ)

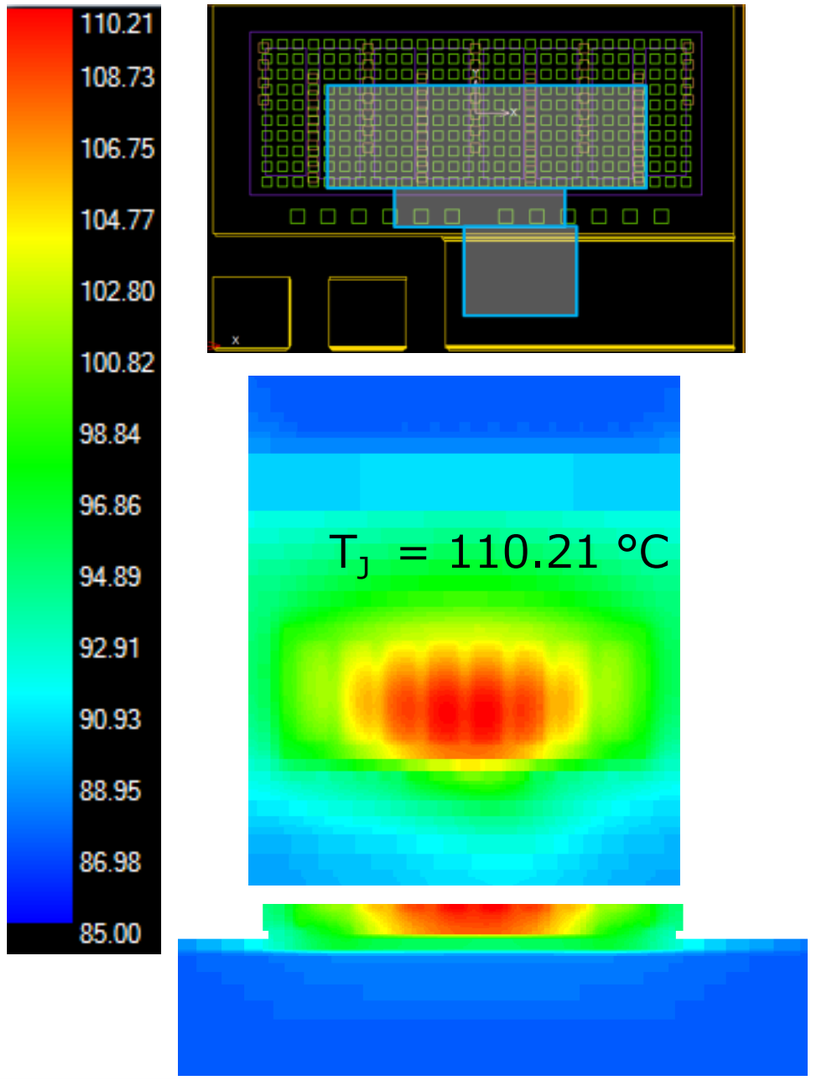
4.2. IMS ボトム放熱設計 – はんだボイドの考慮

動作条件: P = 7.98 W, T_{IMS} = 85 °C, GS66508B を適用

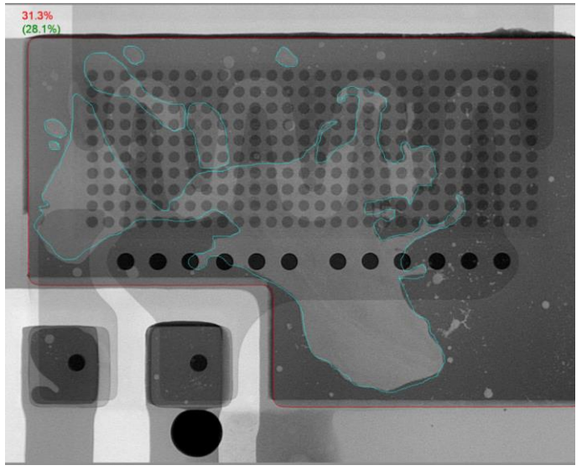
パッケージの下にボイド無し: $R_{\theta JIMS}$= 2.18 °C/W



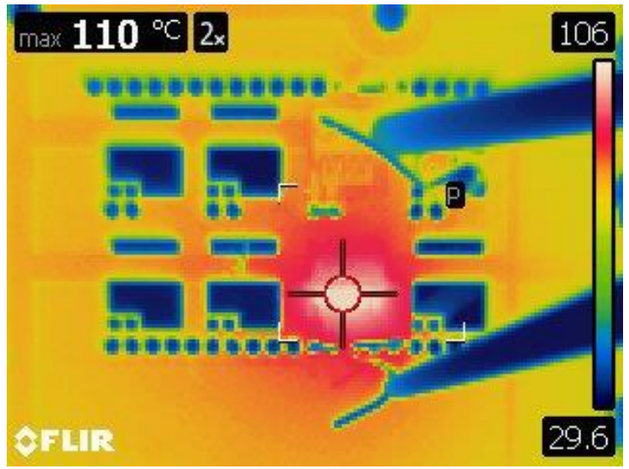
パッケージの下に32 %のボイド: $R_{\theta JIMS}$ = 3.16 °C/W



測定とX線の結果



ボイドのあるデバイスのX線の結果

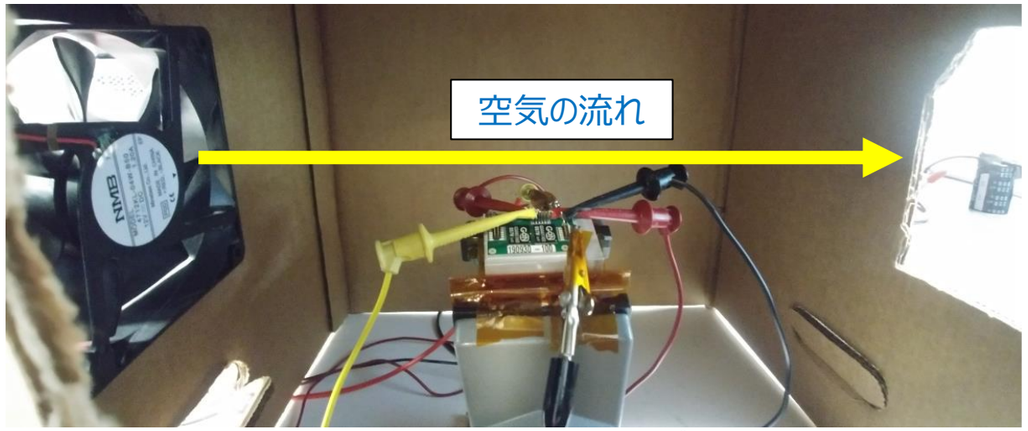


ボイドのあるデバイスの実験結果

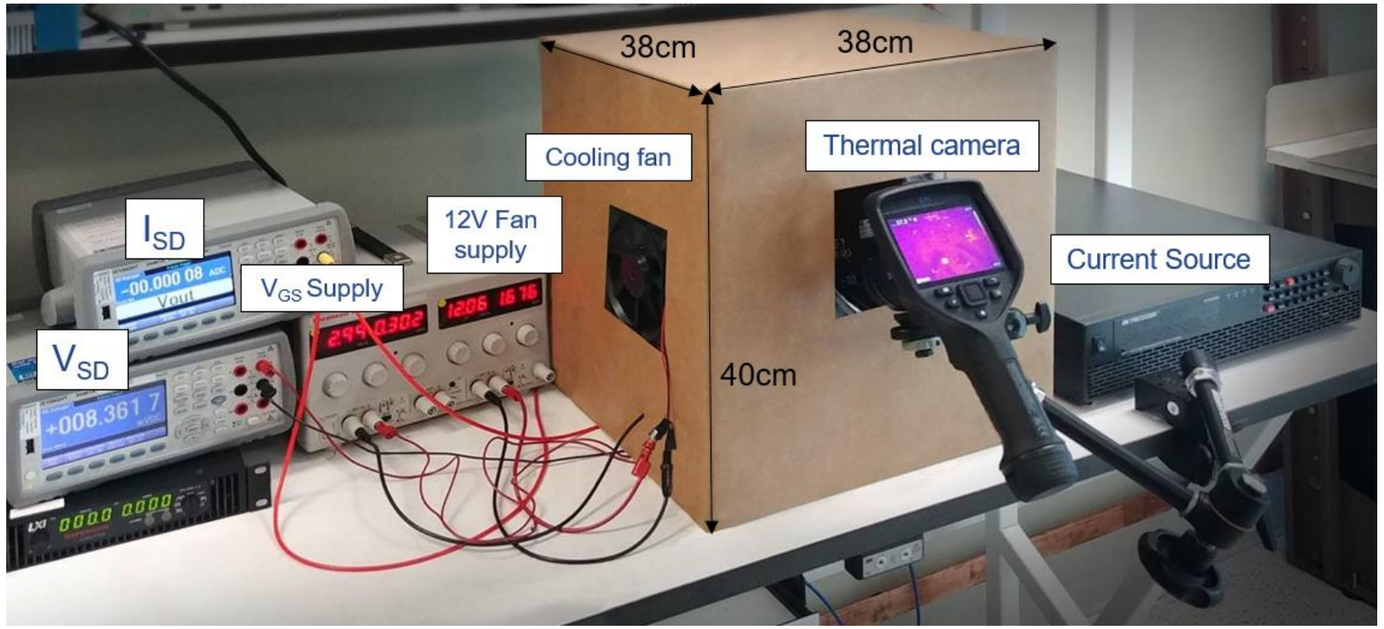
ボイドを制限して最高のIMS熱性能を達成

4.2. IMS ボトム放熱設計 – 熱抵抗測定

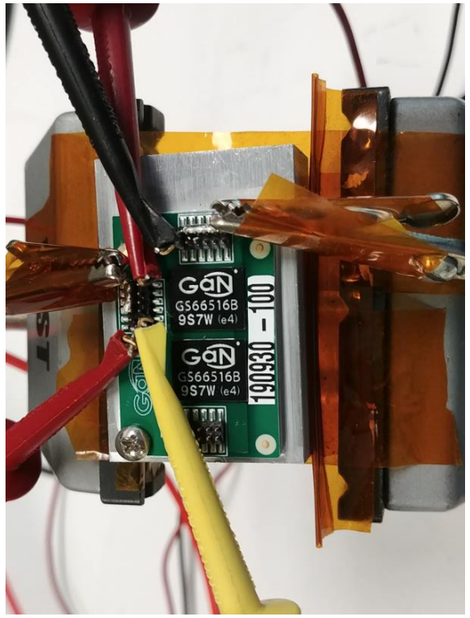
1. IMS上のGS66516Bは$R_{\theta JA}$は2.9°C / W
2. GS66516Bは、デバイスごとに43 Wの損失を消費可能



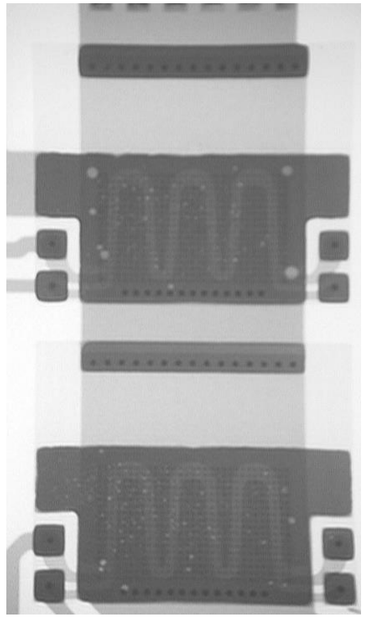
ボックス内のセットアップ



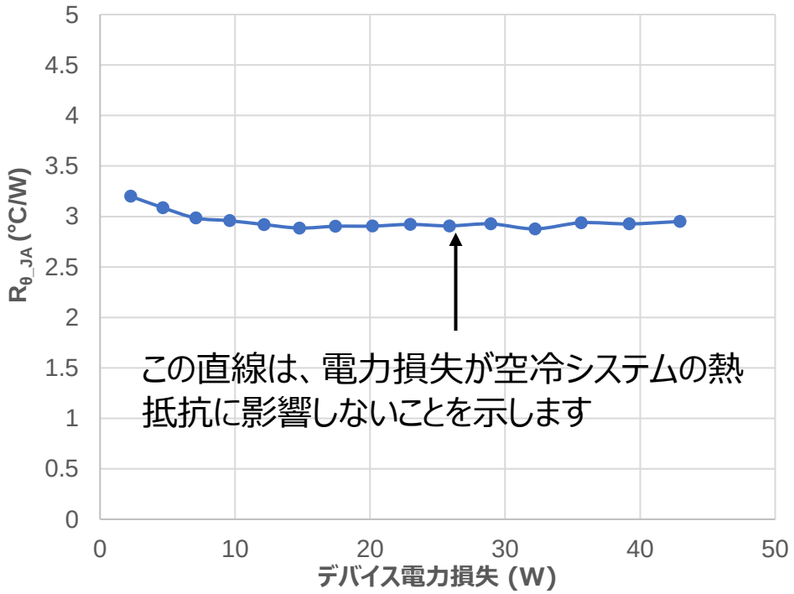
空冷されたIMSの熱抵抗測定のセットアップ

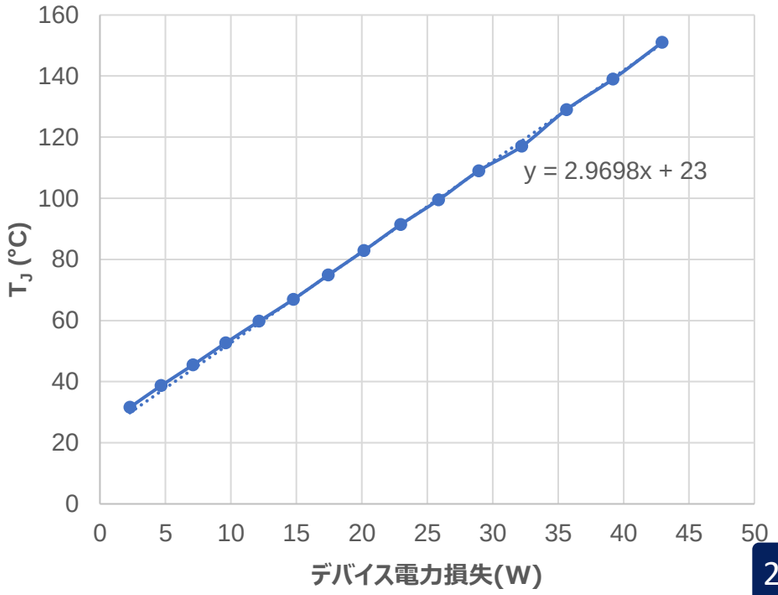


試験されるGS66516Bを載せたIMS



最小限のはんだボイド





アプリケーションノート概要

1．モチベーション：デバイスの熱管理の重要性

2．電力損失と熱の基礎

3．トップ放熱デバイスの熱設計に関する考慮

4．ボトム放熱デバイスの熱設計に関する考慮

5．熱を考慮したデバイスの選択

6．電力損失と熱モデリング

5. 熱を考慮したデバイスの選択 – 単デバイス

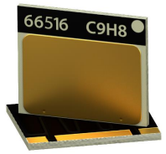
*$R_{\theta HSA}$ =1.25 °C/W
3.4x3.4x2.5 cm³

**$R_{\theta HSA}$ =1.5 °C/W
4.6x3.0x1.4 cm³

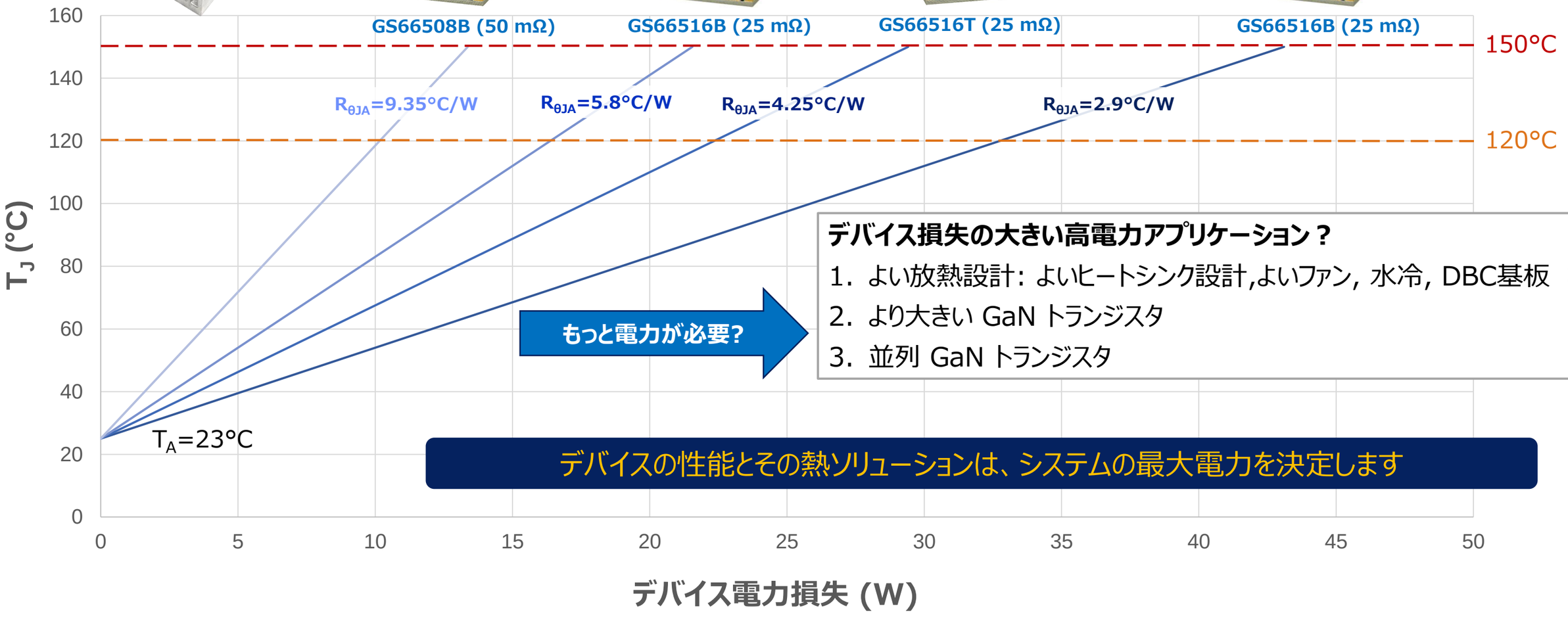
FR4 PCB ($R_{\theta HSA}$=1.25°C/W*)

FR4 PCB ($R_{\theta HSA}$ =1.25°C/W*)

Top-cool ($R_{\theta HSA}$ =1.25°C/W*)



IMS ($R_{\theta HSA}$ =1.5°C/W)**



もっと電力が必要?

デバイス損失の大きい高電力アプリケーション？

1. よい放熱設計: よいヒートシンク設計,よいファン, 水冷, DBC基板　等
2. より大きい GaN トランジスタ
3. 並列 GaN トランジスタ

デバイスの性能とその熱ソリューションは、システムの最大電力を決定します

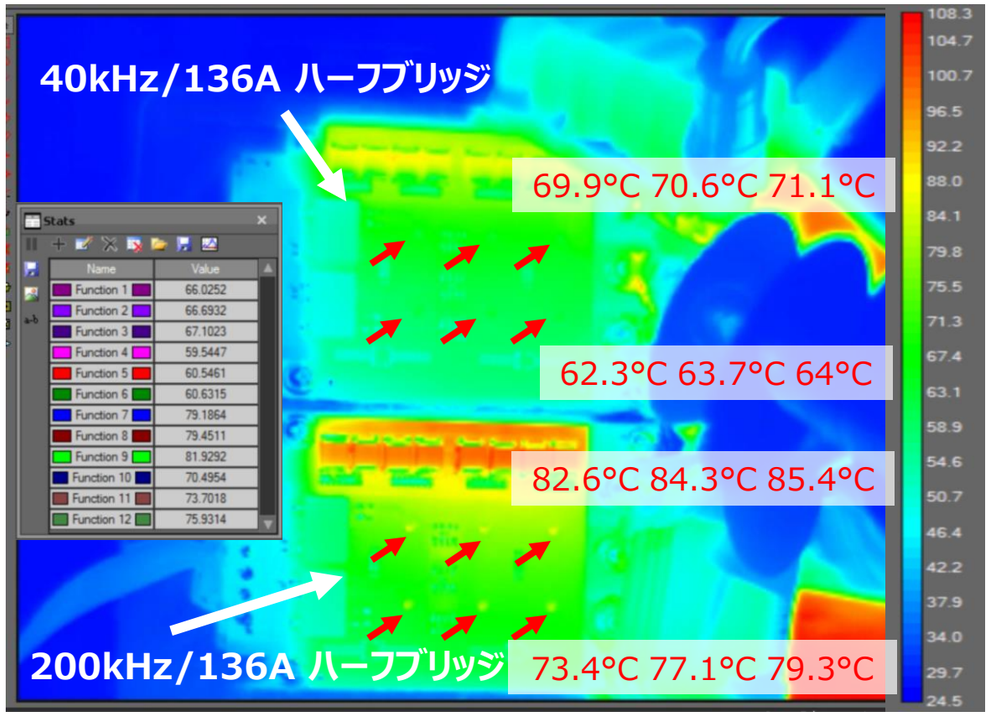
様々な放熱方法で測定されたデバイスの電力損失とT_J – 1 つのデスクリートデバイスのソリューション

5.2 並列化により熱性能を向上

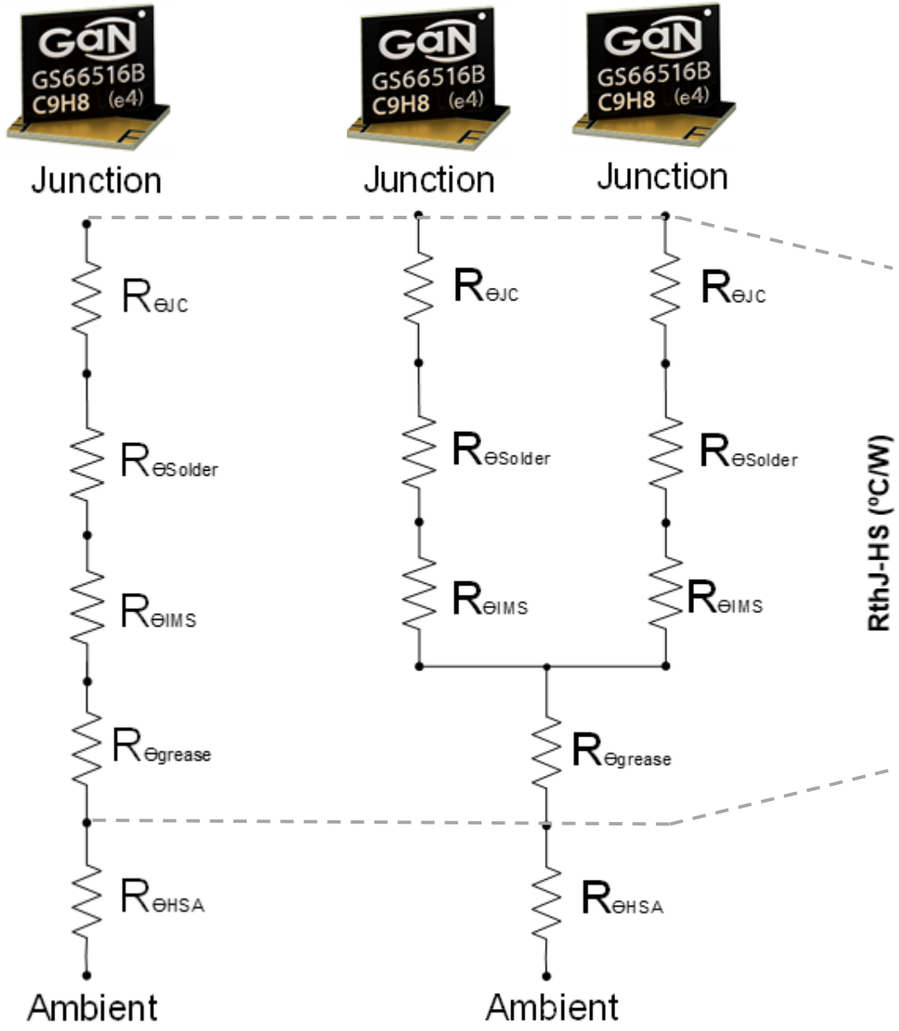
GaNの並列化は、システムの電力を増加させる実証済みの技術です

事例:

- GS66516B 4並列、ハードスイッチングオン/オフで136 Aの負荷電流をシェア
- ランダムに選択されたトランジスタ
- T_Jの温度差は最大6°C以下

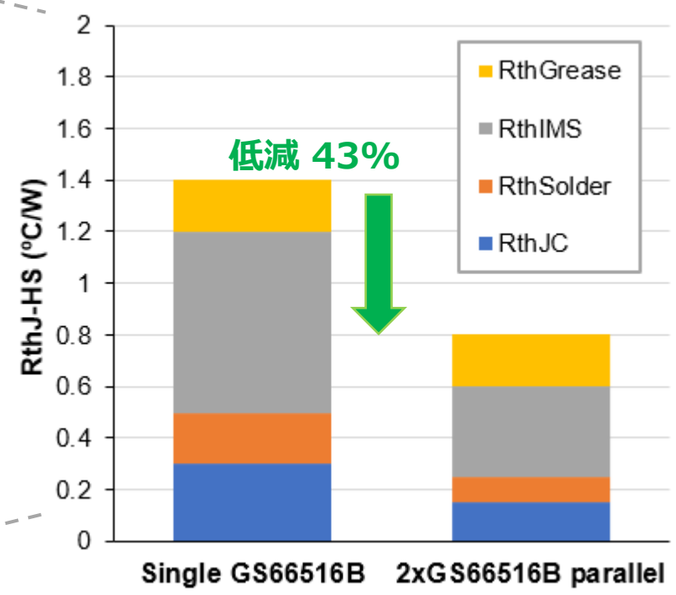


並列化により、$R_{DS(on)}$（電気的）とR_θ（熱的）の両方が削減されます



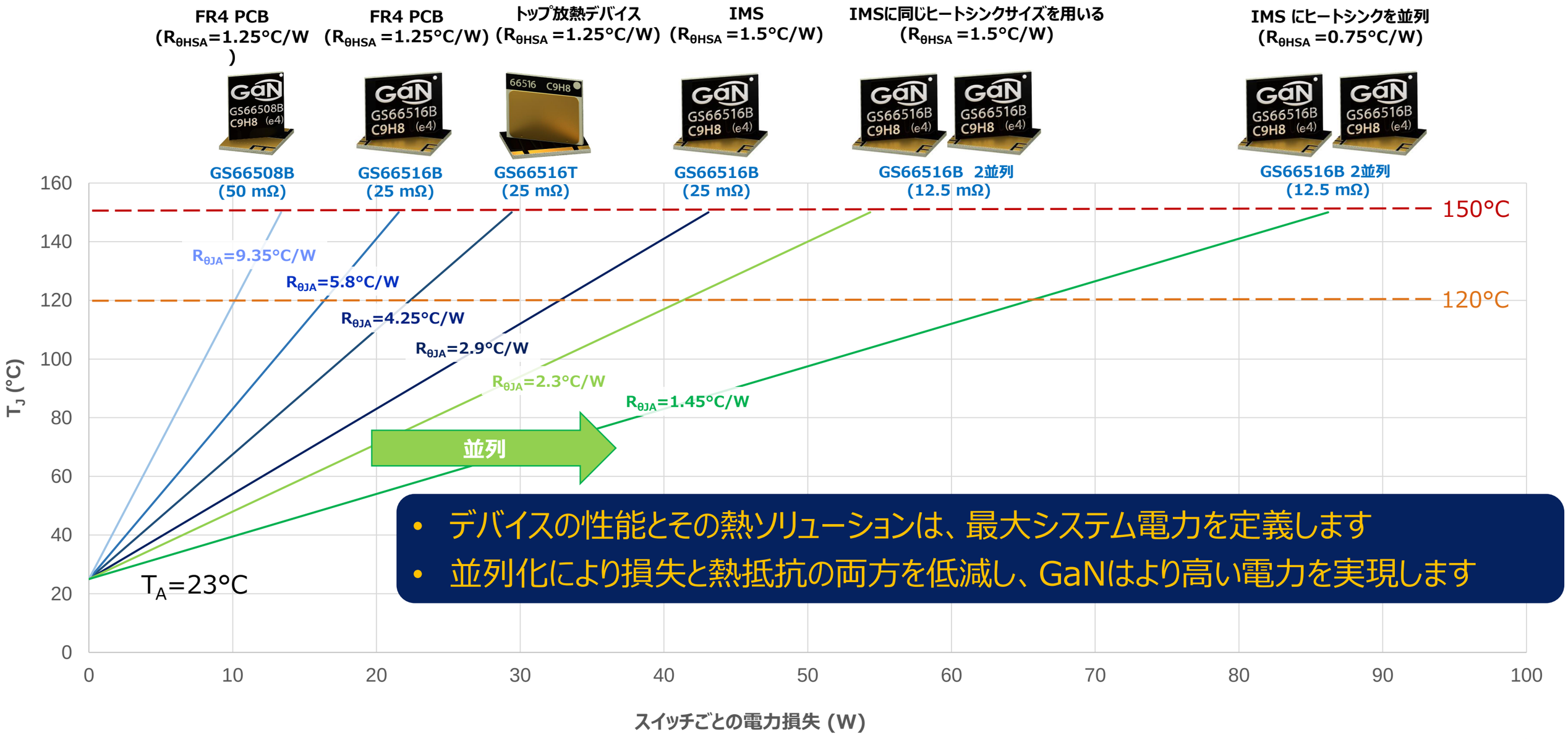
1xGS66516B
熱抵抗回路網

2xGS66516B
並列熱回路網



ジャンクション-to-ヒートシンク
熱抵抗回路網比較

5. 熱を考慮したデバイス選択 – 並列接続を含む



- デバイスの性能とその熱ソリューションは、最大システム電力を定義します
- 並列化により損失と熱抵抗の両方を低減し、GaNはより高い電力を実現します

並列接続を含む異なる放熱方法による デバイス損失 対 T_J

1．モチベーション：デバイスの熱管理の重要性

2．電力損失と熱の基礎

3．トップ放熱デバイスの熱設計に関する考慮

4．ボトム放熱デバイスの熱設計に関する考慮

5．熱を考慮したデバイスの選択

6．電力損失と熱モデリング

6.1　SPICE モデリング

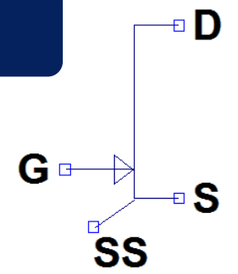
6.2　PLECS モデリング

6.1. SPICE モデリング

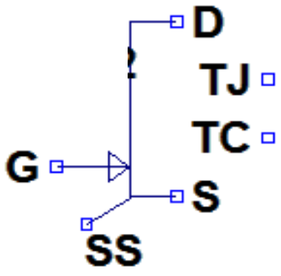
GaN Systemsは、2レベルのSPICEモデルを提供します。熱モデリングにはL3モデルを使用

モデルレベルの定義

末尾	レベル	端子	説明
_L1	1	G, D, S, SS (適用されている場合)	アプリケーション/コンバーターレベル回路の一般的な電気シミュレーション。シミュレーション速度に重点を置きます.
_L3	3	G, D, S, SS (適用されている場合), Tc, Tj	L1に加えて、L3には熱モデルとパッケージの浮遊インダクタンスも含まれます.



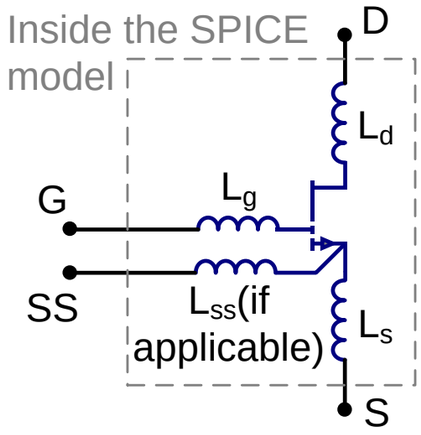
L1 デバイス シンボル



L3 デバイス シンボル

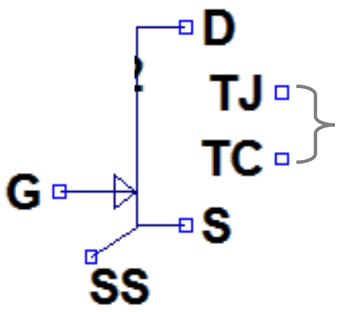
モデルレベルの機能

機能	レベル 1	レベル 3
温度の関数としてのIVパフォーマンス	✓	✓
電圧依存のキャパシタンス	✓	✓
熱モデル	×	✓
パッケージの寄生インダクタンス	×	✓



L３の寄生インダクタンス

ジャンクションからケースへの熱モデリング

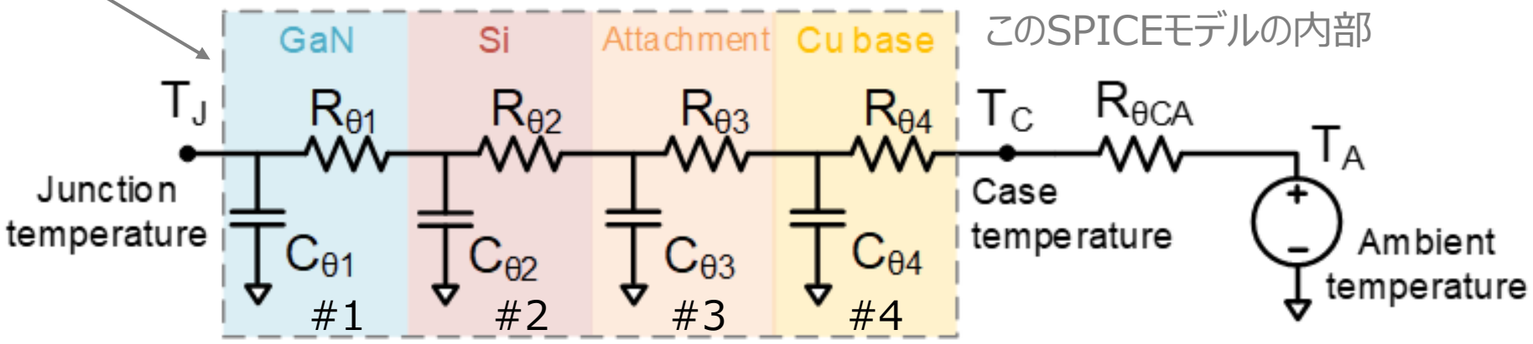


L3 デバイスシンボル

デバイスを正確に表すための4ステージの　カウアー RC熱モデル

カウアーモデルは、次の理由により、ジャンクションからケースへの熱モデリングに適用されます.

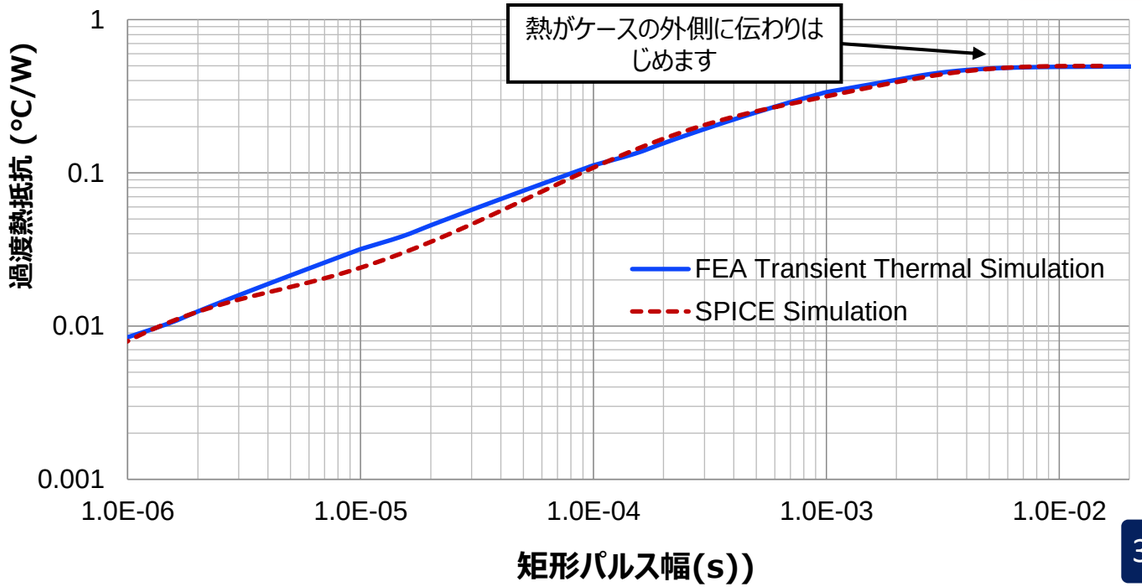
1. フォスターモデル（カーブフィッティングモデル）とは異なり、カウアーRCネットワークは物理的特性とパッケージ構造に基づいています.
2. RCの要素はパッケージレイヤーに割り当てられます.



例: GS66508B $R_{\theta JC}$ モデリング

	R_θ (°C/W)	C_θ (W·s/°C)
#1	0.015	8.0E-05
#2	0.23	7.4E-04
#3	0.24	6.5E-03
#4	0.015	2.0E-03

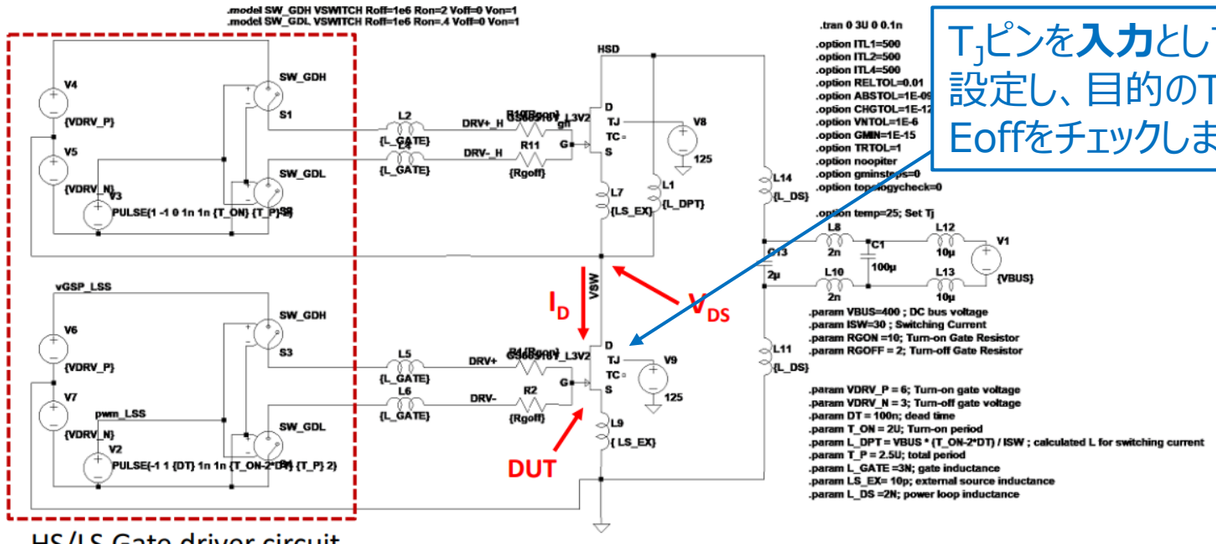
GS66508B カウアー RC モデル パラメータ



6.1. SPICE モデリング

T_Jピンは、シミュレーションの目的に応じて、入力または出力として使用できます

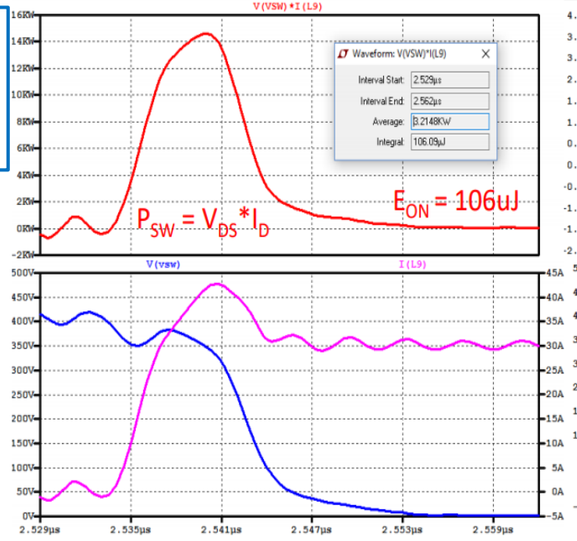
GAN SYSTEMS SWITCHING LOSS DOUBLE PULSE TEST BENCH



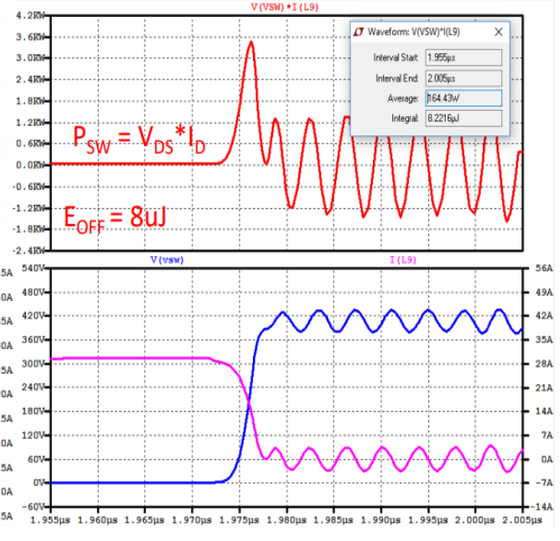
HS/LS Gate driver circuit

T_Jピンを**入力**として固定値を設定し、目的のT_JのEon / Eoffをチェックします

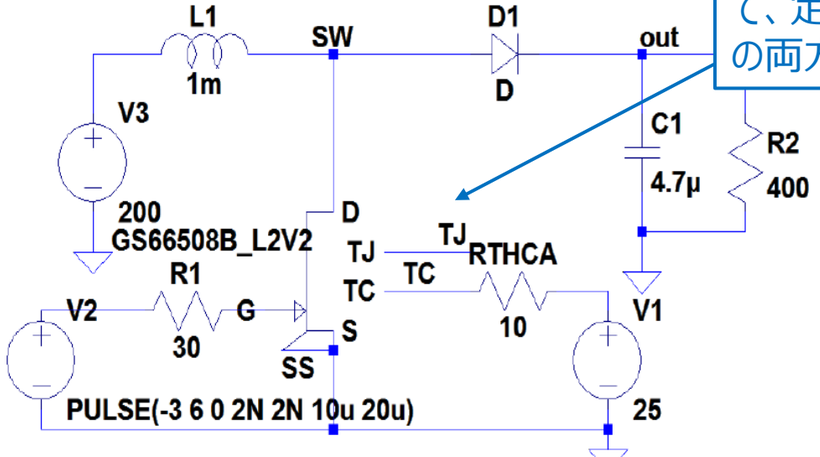
400V/30A Turn-on



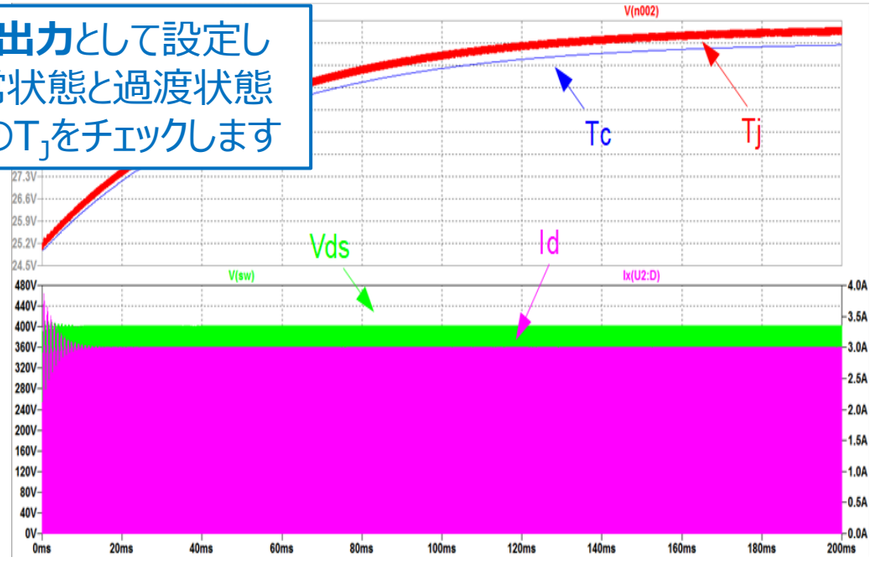
400V/30A Turn-off

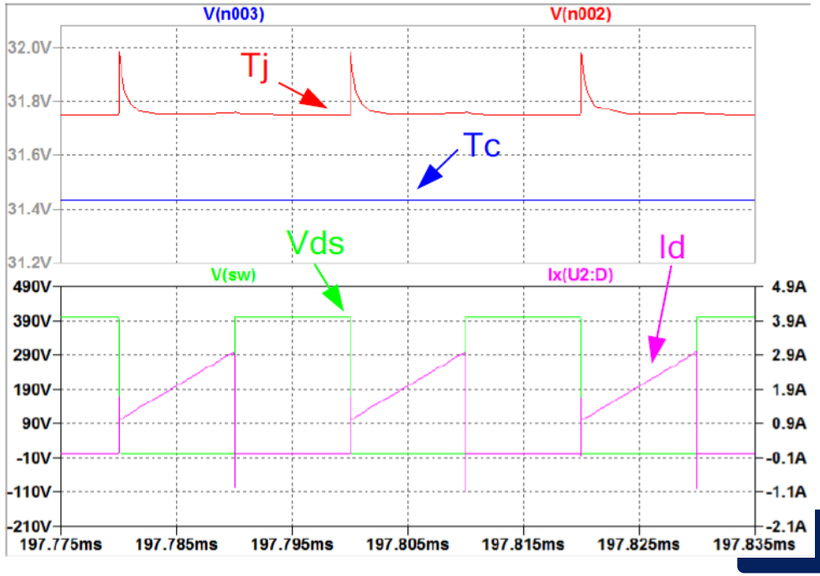


連続動作のコンバータシミュレーション



T_Jピンを**出力**として設定して、定常状態と過渡状態の両方のT_Jをチェックします

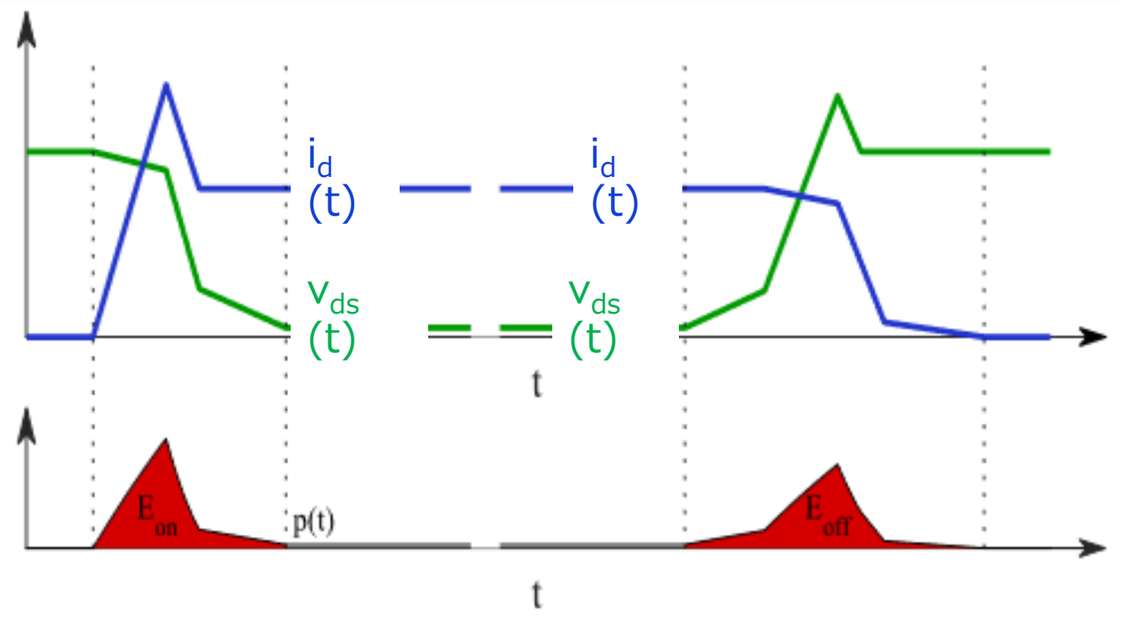




6.2. PLECS モデリング

デバイス-レベル シミュレーション
(LTspice と Pspice)

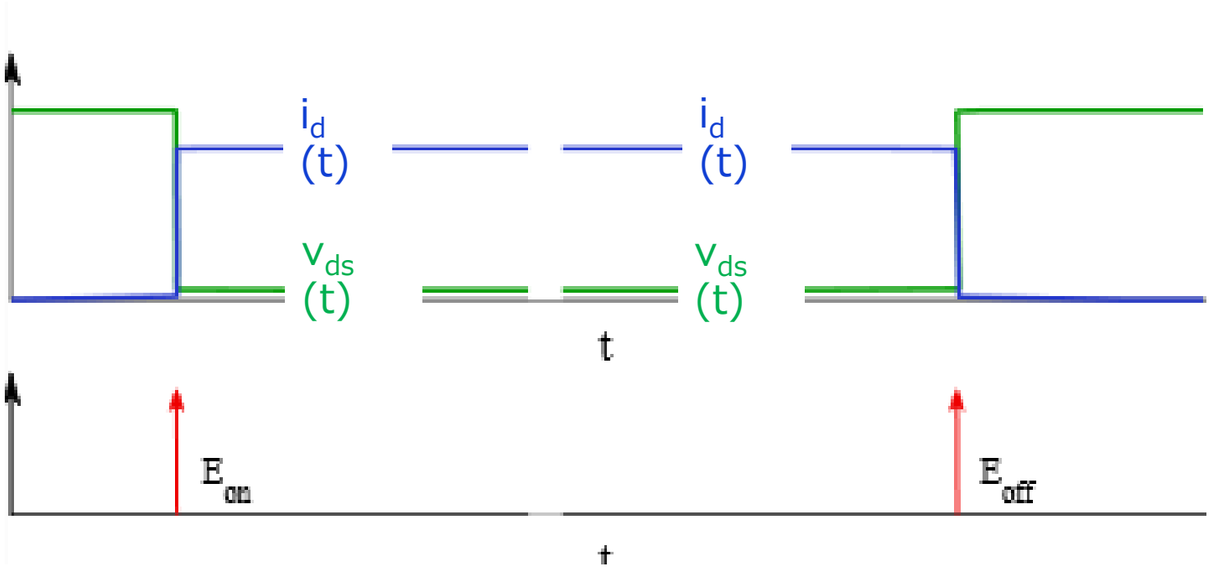
- デバイス特性（Qg、Coss / Ciss、IV / CV曲線、Eon / Eoff）
- シンプルなシステムシミュレーション（ダブルパルステスト、バック、ブーストなど）
- スイッチング性能への寄生効果を確認



Spiceにおける過渡的なスイッチイング損失

コンバータ/システム-レベル シミュレーション
(PLECS)

- スイッチング過渡現象を簡素化
- コンバータの動作波形を観察
- 複雑なデバイスベースのシステムレベルのシミュレーション/分析を処理可能

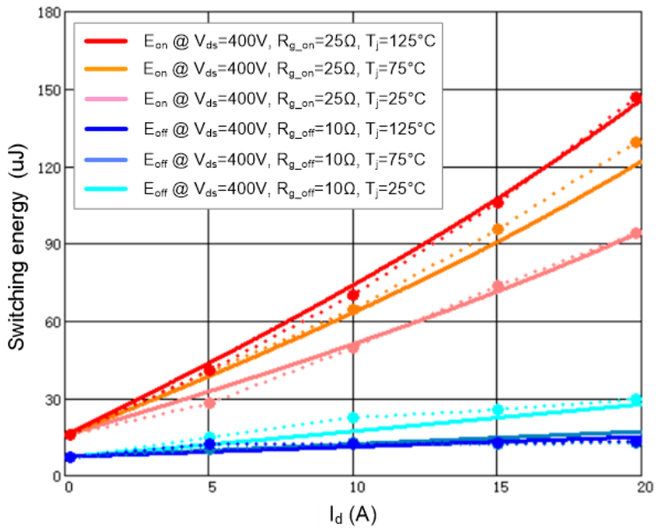


PLECSにおけるハードスイッチング損失

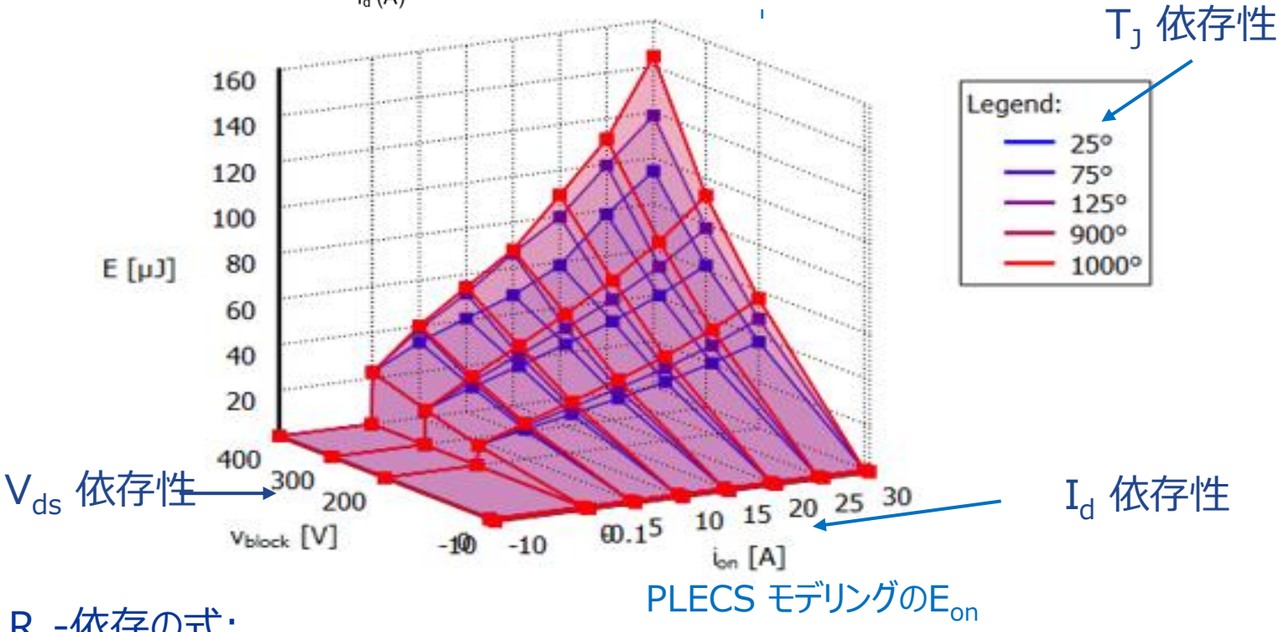
LTSPICE、PSPICE、およびPLECSモデルは、性能を最大にするためのシステム設計を支援します

6.2. PLECS モデリング

スイッチングロス モデリング



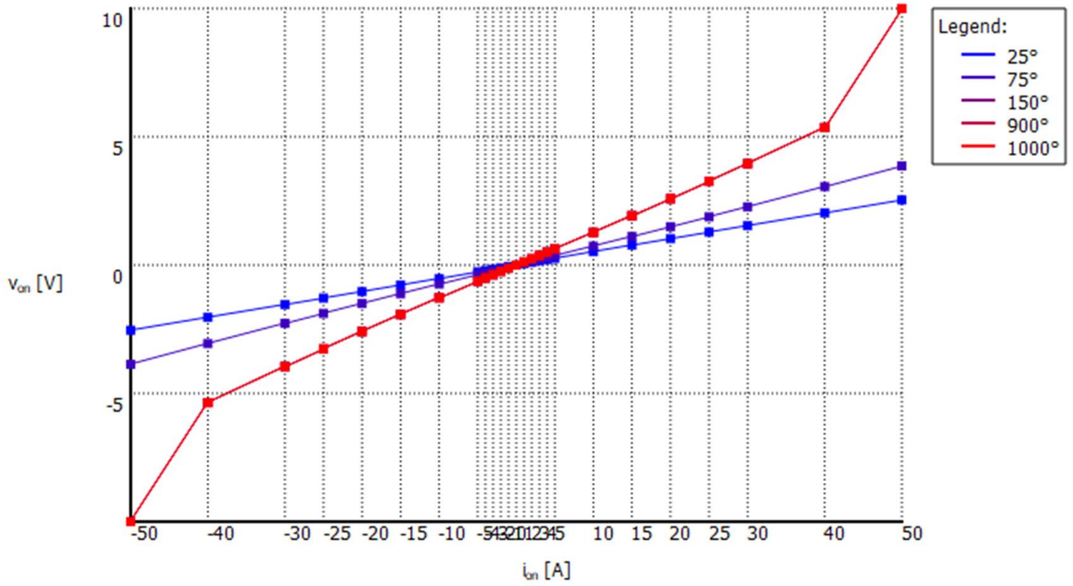
- E_{on} / E_{off}スケーリング方法は、GaN Systemsよって開発された
- E_{on} / E_{off}データは、様々なT_J、V_{ds}、およびR_gにスケーリング可能



R_g-依存の式:

$E_{on}(v,i,T,E,Rgon,Rgoff,vgsoff,g)$ = ((Rgon-10)*(v*i)/2*(1.68e-9+2.2e-9*(i/24.4)/(1.3+i/24.4))/(6-1.3-i/24.4)+E)*g

導通ロス モデリング



デッドタイムロスのモデリング:

$v_{on}(i,T,v,Rgon,Rgoff,vgsoff,g)$ = v-(i<0)*(1-g)*(1.3-vgsoff)

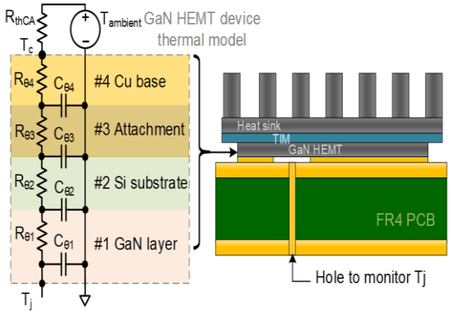
熱モデリング（ジャンクションからケース）

Manufacturer: GaN Systems

Part number: GS66508T

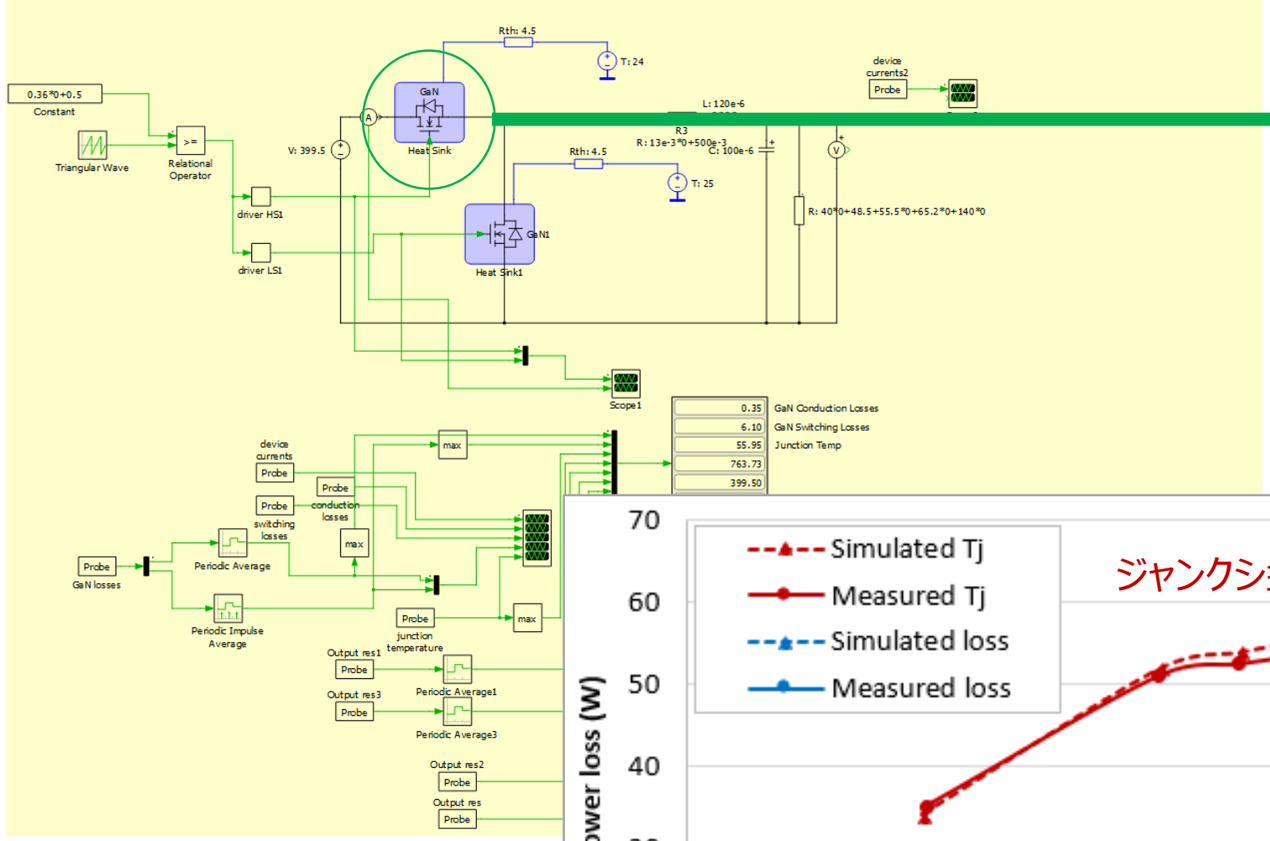
Turn-on loss | Turn-off loss | Conduction loss | Therm. impedance | Variables | Custom tables

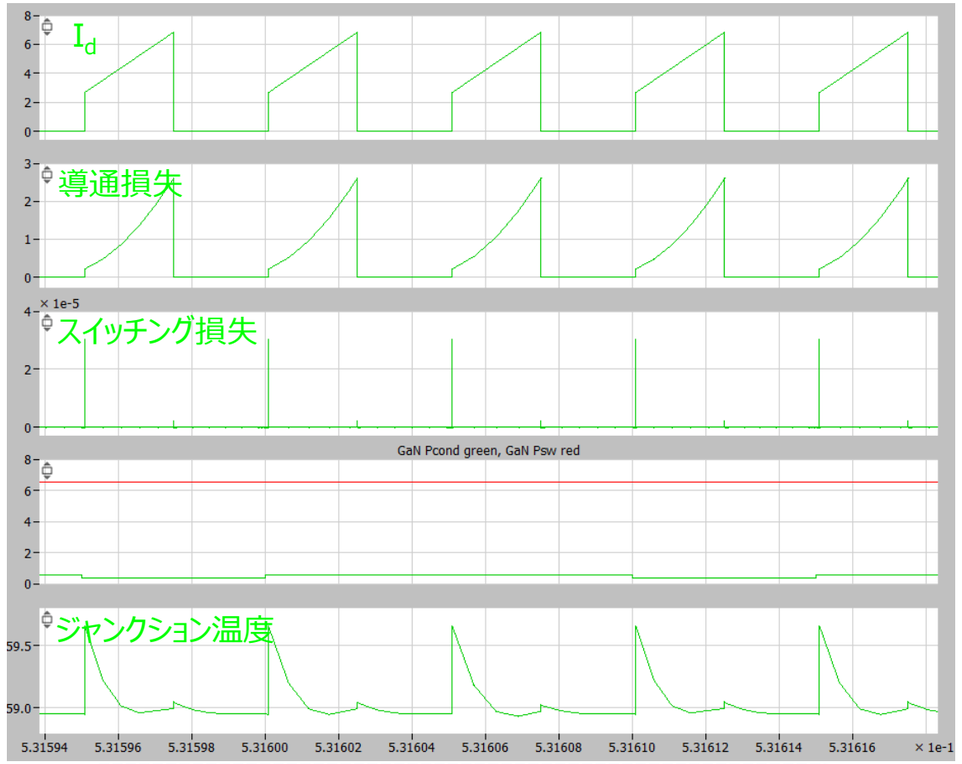
	1	2	3	4
R	0.011 K/W	0.231 K/W	0.237 K/W	0.021 K/W
C	4.25e-05 J/K	0.00296 J/K	0.000665 J/K	0.00101 J/K

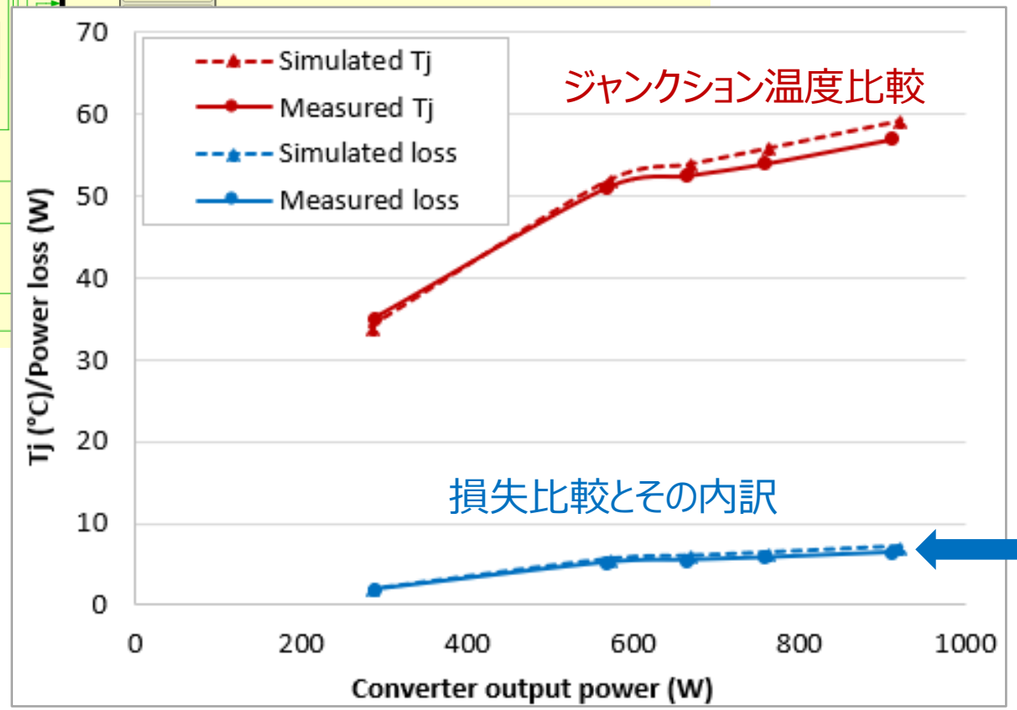


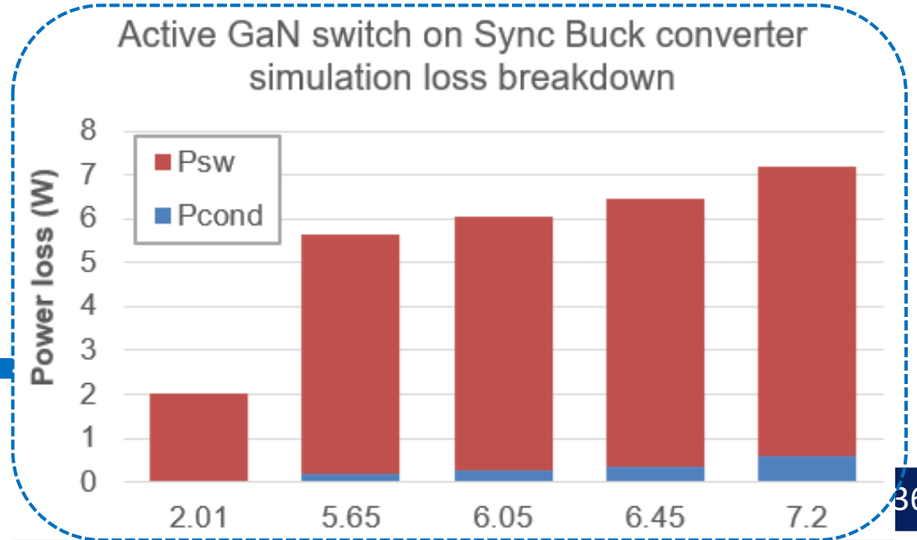
6.2. PLECS モデリング検証

降圧コンバーターの例で検証されたPLECSデバイスモデル









GS66508ベース

F_{sw}=200 kHz,

V_{in}=400 V,

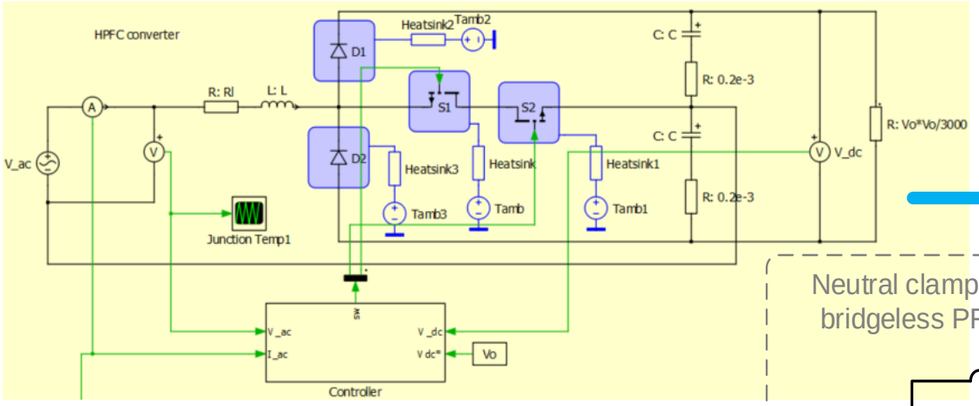
V_o=193 V

$R_{\theta CA}$=4.5 °C/W

6.2. PLECS モデリング – システム損失と熱解析

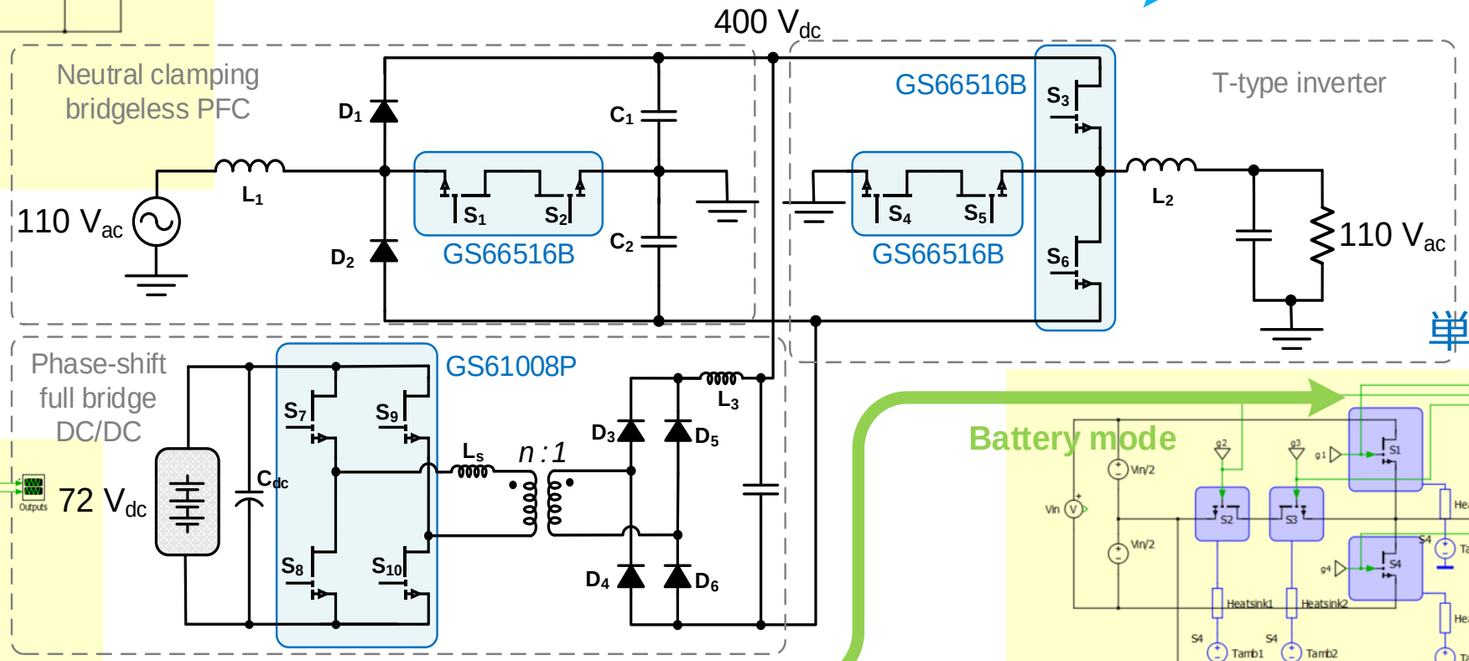
例: UPS システム

PLECSモデルはシステムレベルの分析に使用できます

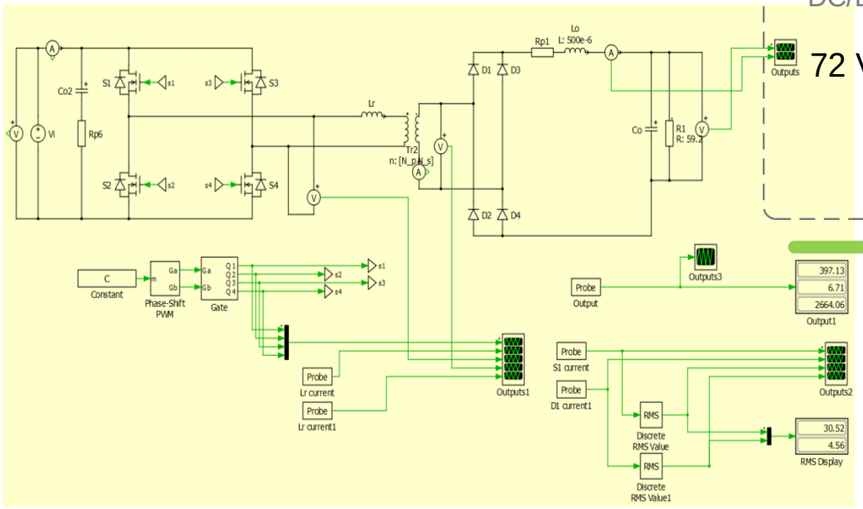


ブリッジレス PFC

Online mode

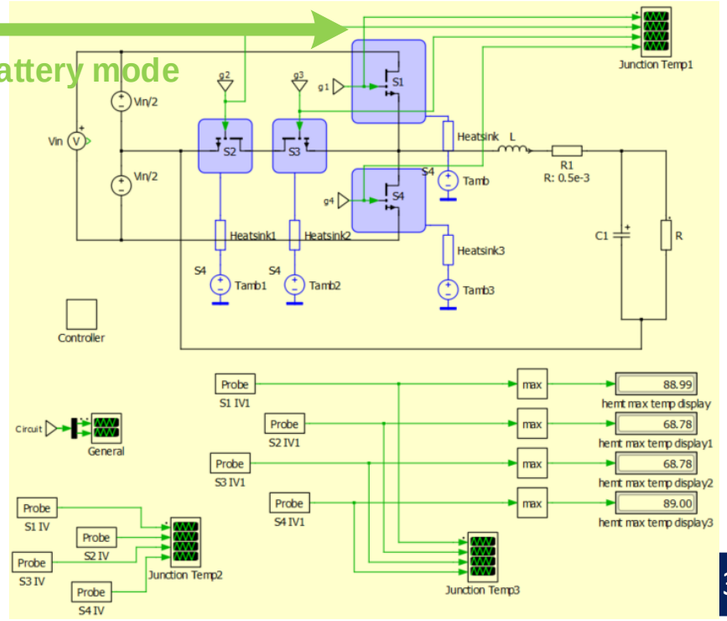


単相インバータ



絶縁DC/DC

Battery mode



6.2. PLECS モデリング – オンライン シミュレーション ツール

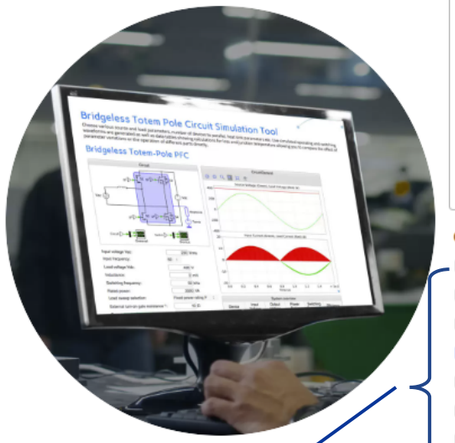
GaN Systemsは、PLECSモデルに基づくオンラインシミュレーションツールも提供しています

Welcome to the GaN Systems Circuit Simulation Tools

The Circuit Simulation Tool allows you to compare application conditions by implementing specific operating values. Choose various source and load parameters, number of devices to parallel, heat sink parameters etc. Live simulated operating and switching waveforms are generated as well as data tables showing calculations for loss and junction temperature allowing you to compare the effect of parameter variations or the operation of different parts directly.

You may also download the PLECS device model files for GaN Systems' transistors.

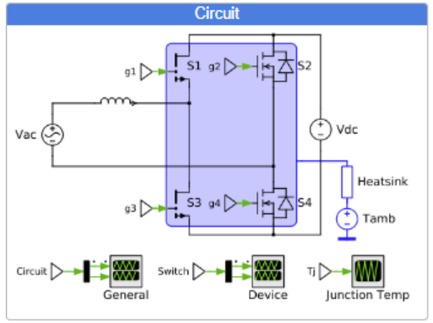
- BRIDGELESS TOTEM-POLE PFC
- SINGLE-PHASE, 2-LEVEL INVERTER
- SINGLE-PHASE, 3-LEVEL HALF-BRIDGE INVERTER
- SINGLE-PHASE T-TYPE 3-LEVEL INVERTER
- ISOLATED HALF-BRIDGE LLC CONVERTER
- ISOLATED PHASE-SHIFT FULL BRIDGE CONVERTER
- THREE-PHASE TRACTION INVERTER
- DUAL ACTIVE BRIDGE

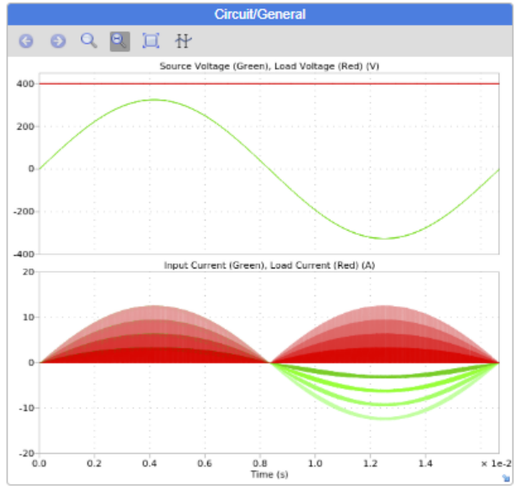


100Vと650Vの
GaN PLECS モデル

Bridgeless Totem Pole Circuit Simulation Tool

Choose various source and load parameters, number of devices to parallel, heat sink parameters etc. Live simulated operating and switching waveforms are generated as well as data tables showing calculations for loss and junction temperature allowing you to compare the effect of parameter variations or the operation of different parts directly. You may also download the PLECS device model files for GaN Systems' transistors.





GaN HEMT:

- ☐ GS66502B 650 V, 7.5 A, 200 mΩ
- ☐ GS66504B 650 V, 15 A, 100 mΩ
- ☐ GS66506T 650 V, 22.5 A, 67 mΩ
- ☑ GS66508B/T/P 650 V, 30 A, 50 mΩ
- ☐ GS66516B/T 650 V, 60 A, 25 mΩ
- ☐ GS-065-008-1 650 V, 8 A, 225 mΩ
- ☐ GS-065-011-1 650 V, 11 A, 150 mΩ
- ☐ GS61004B 100 V, 45 A, 15 mΩ
- ☐ GS61008P/T 100 V, 90 A, 7 mΩ

Input voltage Vac:	230	Vrms
Input frequency:	60	
Load voltage Vdc:	400	V
Inductance:	2	mH
Switching frequency:	50	kHz
Rated power:	2000	VA
Load sweep selection:	Sweep power rating P	

Scaling factor for power rating:

- ☑ 25%
- ☑ 50%
- ☑ 75%
- ☑ 100%

External turn-on gate resistance [1]:	10	Ω
External turn-off gate resistance [2]:	2	Ω
Turn-off gate-source voltage:	-2	V
Deadtime:	100	ns
Number of paralleled GaN transistors:	1	

System overview

GaN Device	MOSFET Rdson [3]	Input Voltage	Output Voltage	Power Rating	Switching Frequency	Efficiency
GS66508B/T/P	155 mΩ	230 V	400 V	488 W	50 kHz	99.48 %
GS66508B/T/P	128 mΩ	230 V	400 V	991 W	50 kHz	99.35 %
GS66508B/T/P	105 mΩ	230 V	400 V	1.492 kW	50 kHz	99.09 %
GS66508B/T/P	86 mΩ	230 V	400 V	1.992 kW	50 kHz	98.70 %

GaN transistor thermal overview

Device	Switching	Conduction	Combined Losses [4]	Junction Temperature
GS66508B/T/P	1.35 W	0.32 W	2.53 W	32 °C
GS66508B/T/P	1.62 W	1.22 W	6.46 W	40 °C
GS66508B/T/P	1.91 W	2.89 W	13.56 W	53 °C
GS66508B/T/P	2.33 W	5.81 W	25.89 W	76 °C

すべてのGaN Systemsのデバイスモデルと8つのトポロジがオンラインで利用可能
https://gansystems.com/design-center/circuit-simulation-tools/

まとめ

結論

- 優れた熱設計により、GaNトランジスタとシステム性能が向上します.
- GaNベースのシステムの電気設計と熱設計を最大化すると、ソフトスイッチングからハードスイッチングまでアプリケーションのパフォーマンスが向上し、数Wから数ｋWまで効率的に動作します.

このアプリケーションノートで提供される主な設計のヒント

- トップ放熱熱設計：TIMおよびヒートシンクの取り付け
- ボトム放熱設計：PCB設計とはんだボイド
- 並列化オプションを含むデバイスの選択
- 電力損失の計算と熱設計を支援するモデリングツール

参考文献

詳細については…

1. GaN Systems, GN001 Application Note: An Introduction to GaN E-HEMTs. [Online]. Available: https://gansystems.com/wp-content/uploads/2020/04/GN001_An-Introduction-to-GaN-E-HEMTs_200416.pdf
2. GaN Systems, GN007 Application Note: Modeling Thermal Behavior of GaNPX® packages Using RC Thermal SPICE Models. [Online]. Available: https://gansystems.com/wp-content/uploads/2018/02/GN007-%E2%80%93-Modelling-Thermal-Behavior-of-GaNPX-packages-Using-RC-Thermal-SPICE-Models-Rev-180216.pdf
3. GaN Systems, GN008 Application Note: GaN Switching Loss Simulation Using LTSpice. [Online]. Available: https://gansystems.com/wp-content/uploads/2018/05/GN008-GaN_Switching_Loss_Simulation_LTspice_20180523.pdf
4. GaN Systems, High Power IMS 2 Evaluation Platform Technical Manual. [Online]. Available: https://gansystems.com/wp-content/uploads/2020/05/GSP665x-EVBIMS2_Technical-Manual_Rev_200514.pdf
5. GaN Systems, LTspice Model User Guide. [Online]. Available: https://gansystems.com/wp-content/uploads/2018/05/LTspice-Model-User-Guide.pdf
6. J. Lu, R. Hou and D. Chen, "Loss Distribution among Paralleled GaN HEMTs," in Proc. *2018 IEEE ECCE*, Portland, OR, 2018.
7. R. Hou, J. Lu, and D. Chen, “Parasitic capacitance E_{qoss} loss mechanism, calculation, and measurement in hard-switching for GaN HEMTs,” in *Proc. 2018 IEEE APEC*, San Antonio, TX, 2018.
8. J. L. Lu, R. Hou and D. Chen, "Opportunities and design considerations of GaN HEMTs in ZVS applications," in Proc. *2018 IEEE APEC*, San Antonio, TX, 2018.
9. R. Hou, J. Xu, and D. Chen, “Multivariable turn-on/turn-off switching loss scaling approach for high-voltage GaN HEMTs in a hard-switching half-bridge configuration,” in *Proc. 2017 IEEE WiPDA*, Albuquerque, NM, 2017.
10. R. Hou, Y. Shen, H. Zhao, H. Hu, J. Lu and T. Long, "Power Loss Characterization and Modeling for GaN-Based Hard-Switching Half-Bridges Considering Dynamic On-State Resistance," in *IEEE Transactions on Transportation Electrification,* Jun. 2020.

パワーエレクトロニクスに革命を起こす

GaN Systems

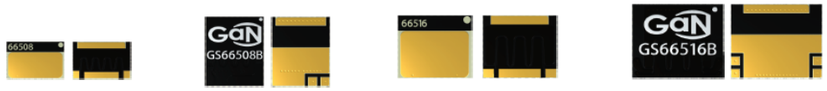
最も幅広い製品ライン

650 V

GS66502B
7.5 A, 200 mΩ
6.6 x 5.0 mm

GS66504B
15 A, 100 mΩ
6.6 x 5.0 mm

GS66506T
22.5 A, 67 mΩ
5.6 x 4.5 mm



GS66508T
30 A, 50 mΩ
7.0 x 4.5 mm

GS66508B
30 A, 50 mΩ
8.4 x 7.0 mm

GS66516T
60 A, 25 mΩ
9.0 x 7.6 mm

GS66516B
60 A, 25 mΩ
11.0 x 9.0 mm

GS-065-060-5-T-A
60 A, 25 mΩ
9.0 x 7.6 mm

GS-065-060-5-B-A
60 A, 25 mΩ
11.0 x 9.0 mm

GS-065-150-1-D2
150 A, 10 mΩ
12.7 x 5.6 mm

5.0 x 6.0 mm

GS-065-004-1-L 4 A, 450 mΩ
GS-065-008-1-L 8 A, 225 mΩ
GS-065-011-1-L 11 A, 150 mΩ

8.0 x 8.0 mm

GS-065-011-2-L 11 A, 150 mΩ
GS-065-030-2-L 30 A, 50 mΩ

100 V

GS61004B
38 A, 16 mΩ
4.6 x 4.4 mm

GS61008P
90 A, 7 mΩ
7.6 x 4.6 mm

GS61008T
90 A, 7 mΩ
7.0 x 4.0 mm

多くの評価キットとリファレンスデザイン

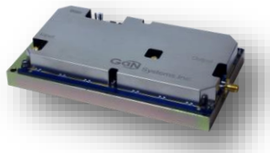
30W PD QR Charger

65W PD QR & ACF Chargers

100W PFC QR AC/DC Charger

250W PFC/LLC AC/DC Adapter

50W Wireless Power Amplifier



100W Wireless Power Amplifier

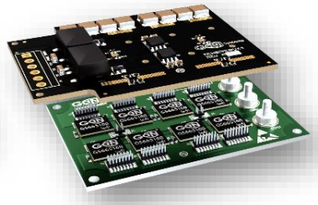
300W Wireless Power Amplifier

1kW Wireless Power Amplifier

3kW Bridgeless Totem Pole PFC

3kW LLC Resonant Converter

6kW Full Bridge, Dual Half Bridge



14kW IMS Half Bridge

Tomorrow’s power today™

Product and application support at

gansystems.com