

GigaDevice Semiconductor Inc.

GD32 MCU 温度特性管理手册

应用笔记

AN060

目录

目录.....	2
图索引.....	3
表索引.....	4
1. 前言.....	5
2. 热阻.....	6
2.1. 定义.....	6
2.2. 热阻以及热特性参数.....	6
2.3. 热阻及热特性参数测量方法.....	8
2.4. θ 参数与 ψ 参数区别.....	12
3. 影响热阻大小的因素.....	14
4. 选择正确散热方法.....	15
5. 实例测量.....	16
6. 版本历史.....	19

图索引

图 2-1. LQFP 封装芯片热阻示意图.....	6
图 2-2. GD32 datasheet 中标注最大耗散功率.....	8
图 2-3. θ_{JA} 实验室测量步骤.....	8
图 2-4. θ_{JB} 实验室测量步骤.....	9
图 2-5. θ_{JB} 实验室测量环境.....	9
图 2-6. θ_{JC} 实验室测量步骤.....	10
图 2-7. θ_{JC} 实验室测量环境.....	10
图 2-8. Ψ_{JT} 实验室测量步骤.....	11
图 2-9. 测量 θ_{JA} 、 Ψ_{JB} 以及 Ψ_{JT} 时热传导路径.....	12
图 2-10. 测量 θ_{JC} 时热传导路径.....	12
图 2-11. 测量 θ_{JB} 时热传导路径.....	13
图 4-1. GD32F303xx 系列在不同工作温度下的功耗.....	15
图 5-1. GD32E103V-EVAL 板实物图.....	16
图 5-2. GD32F450V-START 板实物图.....	16
图 5-3. GD32E103VBT6 耗散功率与温升曲线（在 GD32E103V-EVAL 板上）.....	17
图 5-4. GD32F450VKT6 耗散功率与温升曲线（在 GD32F450V-START 板上）.....	18

表索引

表 2-1. GD32F303xx 系列热阻参数.....	11
表 3-1. QFN(4X4-0.65)不同风速温度下热阻仿真结果 ($P_D=0.24W$)	14
表 5-1. GD32E103VBT6 耗散功率与温升 (在 GD32E103V-EVAL 板上)	17
表 5-2. GD32F450VKT6 耗散功率与温升 (在 GD32F450V-START 板上)	17
表 6-1. 历史版本.....	19

1. 前言

本文是专门为基于 GD32 MCU 开发的工程设计人员提供，主要介绍了热阻的定义、参数、测量方法、影响因素、散热方法等。随着半导体技术的发展，芯片内部电路集成度越来越高，随之而来的就是芯片的发热密度提升。随着芯片的结温(Junction Temperature) (T_J) 的上升，器件的寿命就会下降，故障率也会随之增加。因此，我们会规定芯片的最大允许结温，芯片必须工作在最大允许结温以下，才能保证其性能和寿命。热阻值正是用来评估器件散热性能的参数，正确了解其物理意义以及使用方法对工程设计人员有很大的帮助。

2. 热阻

2.1. 定义

当有热量在物体上传输时，在物体两端温度差与热源的功率之间的比值即为热阻。可以理解为热量在热传递路径上遇到的阻力，反映介质或介质间的传热能力的大小，也就是单位耗散功率引起结温升高的度数，单位为 K/W 或 °C/W。

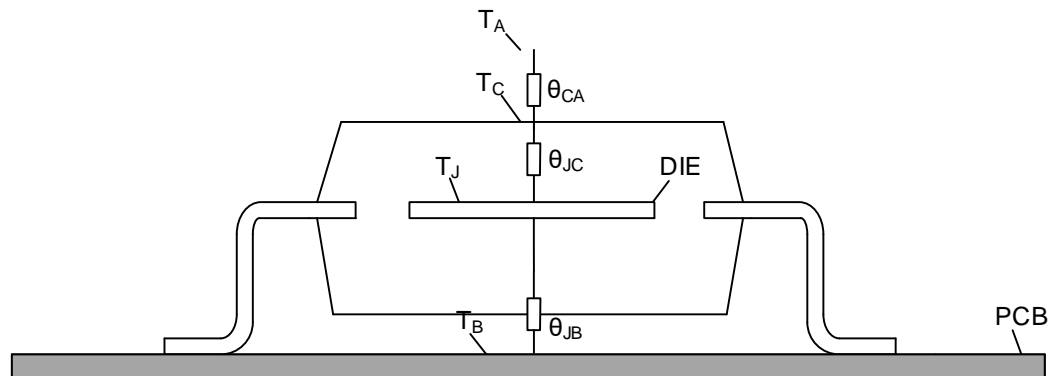
以集成电路为例，热阻是衡量封装将管芯产生的热量传导至电路板或周围环境能力的一个标准和尺度。定义如下：

$$\theta_{JX} = \frac{T_J - T_X}{P} \quad (2-1)$$

热阻值一般常用 θ 表示，其中 T_J 为芯片 Die 表面的温度（结温）， T_X 为热传导到某目标点位置的温度， P 为输入的耗散功率。电子设计中，如果电流流过电阻就会产生压差，同理，如果热量流经热阻就会产生温差。热阻大表示热不容易传导，因此导致器件的温升就比较高，由热阻可以判断器件的散热性能。

2.2. 热阻以及热特性参数

图 2-1. LQFP 封装芯片热阻示意图



T_A : 外部环境温度；

T_C : 芯片封装表面温度；

T_J : 芯片结温；

T_B : PCB 温度；

θ_{CA} : 芯片表面到环境的热阻；

θ_{JC} : 芯片 Die 到芯片表面热阻；

θ_{JB} : 芯片 Die 到 PCB 的热阻。

θ_{JA} : 芯片 Die 表面到周围环境的热阻，它是在特定测试条件下 IC 封装散热性能的度量，表示热量从芯片 Die 散发到环境中的难易程度， θ_{JA} 会受到 PCB 设计、芯片或基板尺寸、内部封装几何形状、高度、外部环境温度等的影响，由于实际应用中很难达到测量 θ_{JA} 时的条件，因此在实际应用中使用 θ_{JA} 计算结温是不可取的，会导致较大的误差。但 θ_{JA} 可以用于比较封装的散热性能，用于定性的比较，器件 θ_{JA} 的值越小，代表该器件散热性能越好。从[图 2-1. LQFP 封装芯片热阻示意图](#)可以看出： $\theta_{JA} = \theta_{JC} + \theta_{CA}$ 。

θ_{JB} : 从芯片 Die 表面到电路板的热阻， θ_{JB} 包括来自两个方面的热阻：从芯片 Die 表面到封装底部参考点的热阻，以及从封装底部到电路板的热阻。

θ_{JC} : 芯片 Die 表面到封装外壳的热阻，表示芯片 Die 到芯片封装底部或顶部的散热能力， θ_{JC} 大小主要取决于芯片封装，可用于评估芯片封装的散热性能（较低的值表示较好的性能），在实际应用中使用散热片时，可使用 θ_{JC} 计算芯片 Die 温度。

ψ_{JT} : 芯片 Die 表面到封装顶部的热特性参数。因 ψ_{JT} 的测量更符合实际应用情况，因此实际使用中可以使用 ψ_{JT} 计算芯片结温，计算公式如下：

$$T_J = \psi_{JT} \times P_D + T_C \quad (2-2)$$

ψ_{JB} : 芯片 Die 表面到电路板的热特性参数。由于器件产生的大部分热量通过 PCB 散发，因此 ψ_{JB} 的大小接近 θ_{JB} 。

外壳温度: 外壳温度是指用作芯片载体的封装顶部的温度。可以使用直径较小的热电偶（J 或者 K 型）放置在封装顶部的中心的导热环氧树脂上。

如果封装外壳对环境的热阻远高于芯片 Die 对外壳的热阻（至少高出一个数量级），当大部分芯片消耗的功率通过 PCB 散发时，如果可以接受一定的不确定性，则结温可以与外壳温度合并，即外壳温度可视为结温。

电路板温度: 使用 JESD51-8 在板的上表面定义的位置和热电偶附着的方法测量板的温度。由于 T 型热电偶容易焊接，T 型是首选，也可以使用 J 型或 K 型。在评估器件热性能时，板温度和封装结到板的热阻是非常关键的参数。

在稳定的空气条件下，设备产生的大部分热量通过电路板散发。通过电路板散发的热量可能比通过封装顶部散发的热量高 20 倍。例如，对于 JEDEC 高导电性测试板，在稳定的空气条件下，95% 的器件热量通过该板耗散，只有 5% 通过封装耗散。因实际应用中很难达到测试时的条件，因此不可使用 θ_{JA} 估算实际应用中的器件结温。

耗散功率: 耗散功率的定义为：某时刻电网元件或全网有功输入总功率与有功输出总功率的差值，也可以理解为元件工作过程中消耗散发掉的能量。

我们会在 GD32 datasheet 中提供最大耗散功率，在实际运行时，芯片功耗超过最大耗散功率可能会导致芯片结温过高，可能会因此导致芯片损坏。

图 2-2. GD32 datasheet 中标注最大耗散功率

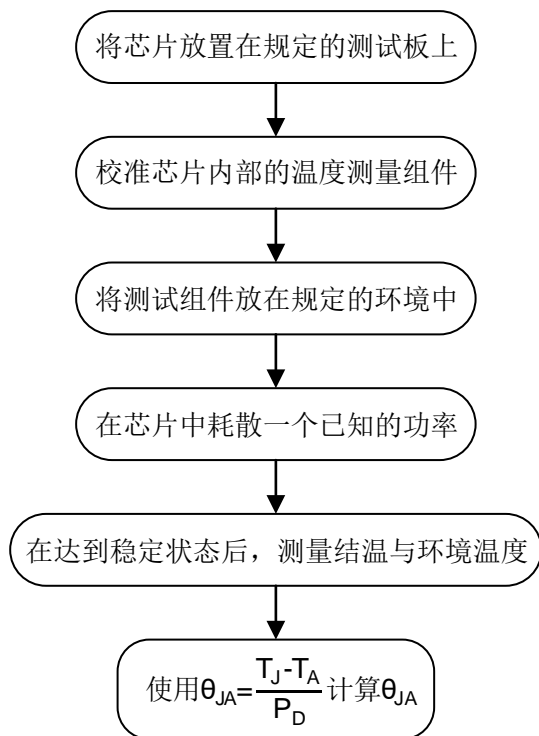
P _D	Power dissipation at T _A = 85°C of LQFP48	—	574	mW
	Power dissipation at T _A = 85°C of LQFP32	—	724	
	Power dissipation at T _A = 85°C of QFN32	—	939	
	Power dissipation at T _A = 85°C of QFN28	—	845	
	Power dissipation at T _A = 85°C of TSSOP20	—	595	
	Power dissipation at T _A = 85°C of LGA20	—	416	

2.3. 热阻及热特性参数测量方法

测量热阻的方法分为实测与仿真两种，下面将一一介绍：

实验室测量 θ_{JA} 的步骤如 [图 2-3. \$\theta_{JA}\$ 实验室测量步骤](#) 所示：

图 2-3. θ_{JA} 实验室测量步骤



以上步骤均总结于 JESD51 标准，若需要了解更加详细准确的步骤，请查看 JESD51 标准。

实验室测量 θ_{JB} 的主要方法如 [图 2-4. \$\theta_{JB}\$ 实验室测量步骤](#) 所示：

图 2-4. θ_{JB} 实验室测量步骤

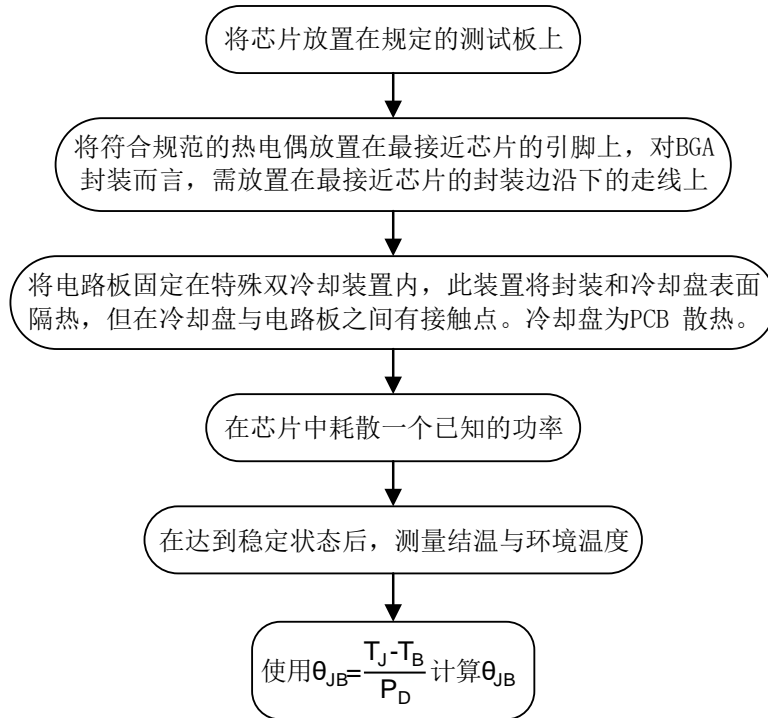
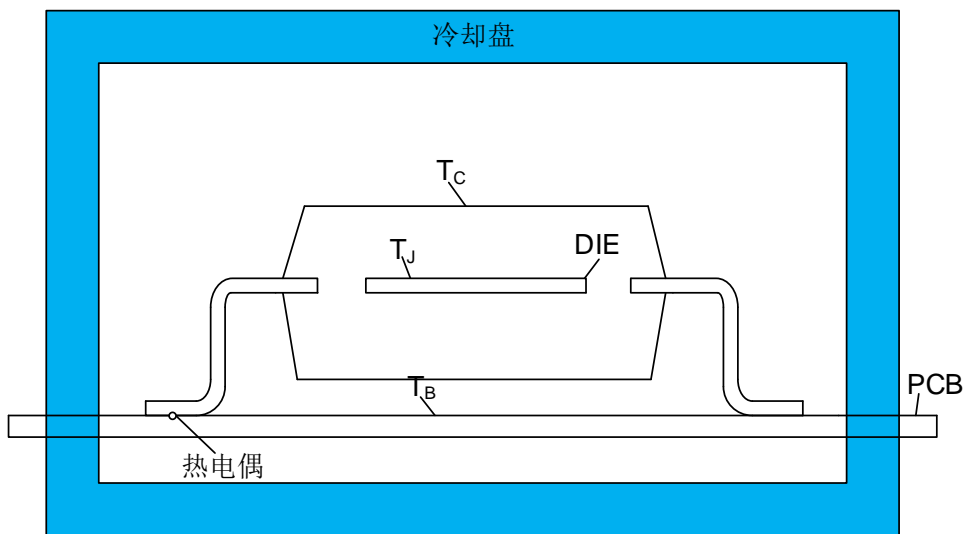


图 2-5. θ_{JB} 实验室测量环境



以上步骤均总结于 JESD51 标准，若需要了解更加详细准确的步骤，请查看 JESD51 标准。

目前行业通用的实验室测量 θ_{JC} 做法总结起来，此过程如 [图2-6. \$\theta_{JC}\$ 实验室测量步骤](#) 所示：

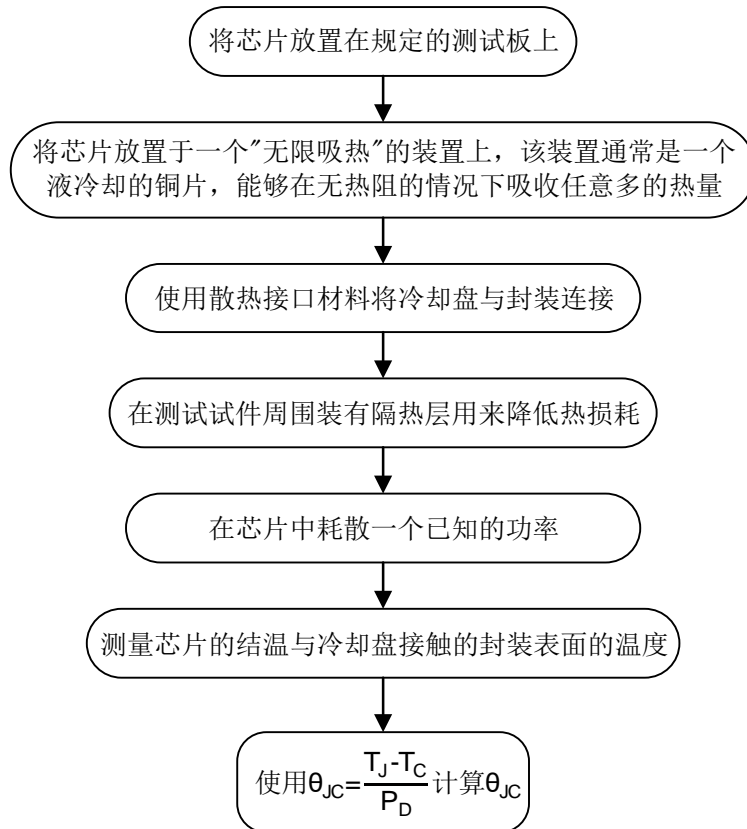
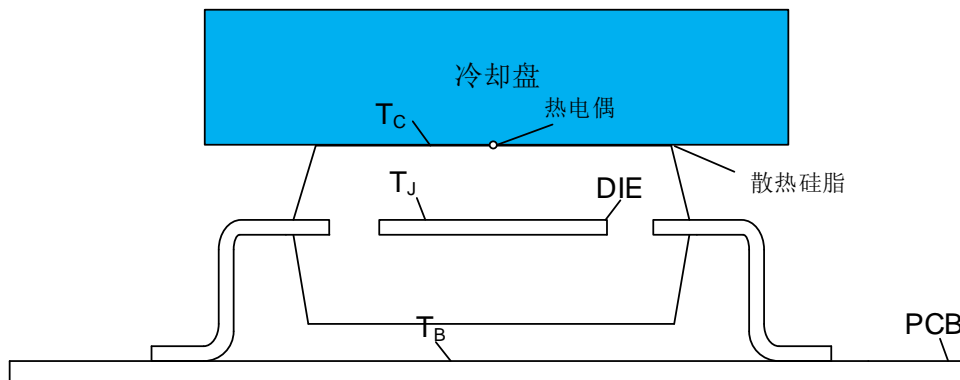
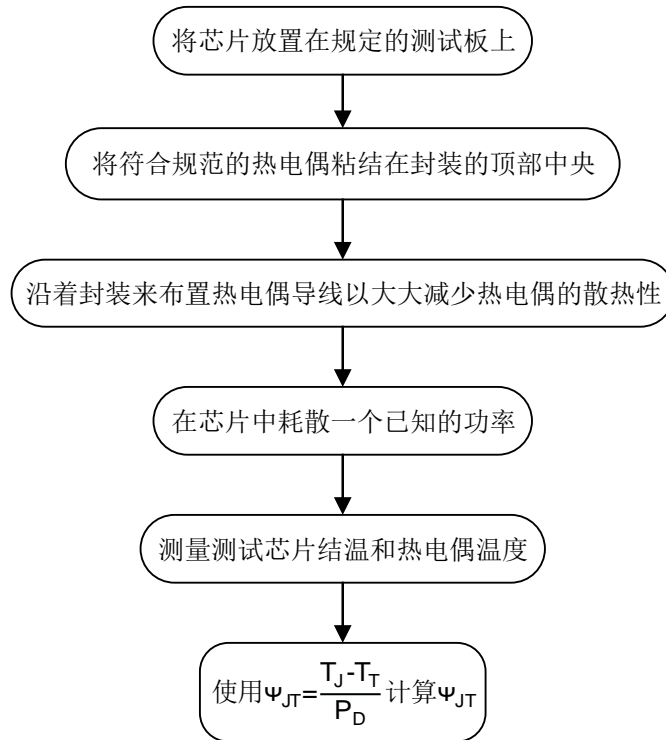
图 2-6. θ_{JC} 实验室测量步骤图 2-7. θ_{JC} 实验室测量环境

图 2-8. Ψ_{JT} 实验室测量步骤



Ψ_{JB} 测量步骤与 Ψ_{JT} 类似，因此不再赘述。

由上述热阻的实测方法可以看出，采用实际测量热阻的方式对实验环境以及实验设备的要求极为苛刻，因此大多数半导体厂商都是使用仿真软件来测量热阻，这些仿真软件中含有复杂的热力学模型，可以获取较为精确的热阻参数。GD32 datasheet 中芯片热阻值均是通过仿真软件计算得来，如[表 2-1. GD32F303xx 系列热阻参数](#)所示为 GD32F303xx 系列的热阻参数。

表 2-1. GD32F303xx 系列热阻参数

Symbol	Condition	Package	Value	Unit
θ_{JA}	Natural convection, 2S2P PCB	LQFP144	48.76	°C/W
		LQFP100	47.19	
		LQFP64	61.80	
		LQFP48	64.40	
θ_{JB}	Cold plate, 2S2P PCB	LQFP144	35.00	°C/W
		LQFP100	27.43	
		LQFP64	42.83	
		LQFP48	42.32	
θ_{JC}	Cold plate, 2S2P PCB	LQFP144	12.03	°C/W
		LQFP100	8.57	
		LQFP64	21.98	
		LQFP48	22.47	
Ψ_{JB}	Natural convection, 2S2P PCB	LQFP144	35.32	°C/W
		LQFP100	31.42	

Symbol	Condition	Package	Value	Unit
		LQFP64	43.05	
		LQFP48	42.42	
Ψ_{JT}	Natural convection, 2S2P PCB	LQFP144	1.86	°C/W
		LQFP100	1.00	
		LQFP64	1.58	
		LQFP48	1.74	

2.4. θ 参数与 Ψ 参数区别

下面各图为测量热参数时的热传导路径:

图 2-9. 测量 θ_{JA} 、 Ψ_{JB} 以及 Ψ_{JT} 时热传导路径

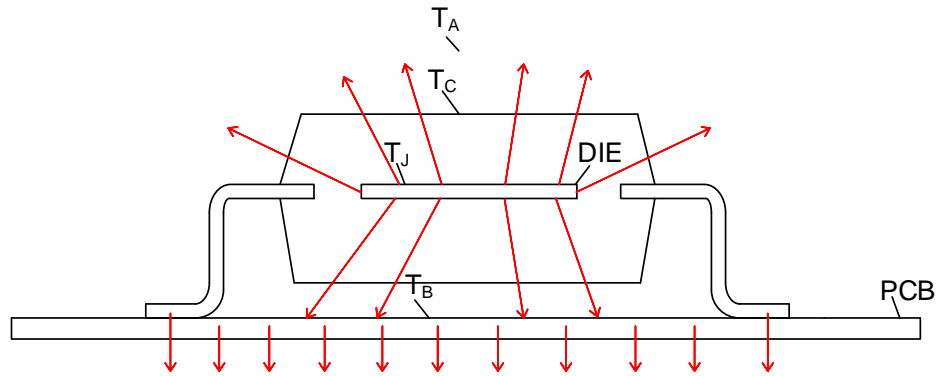


图 2-10. 测量 θ_{JC} 时热传导路径

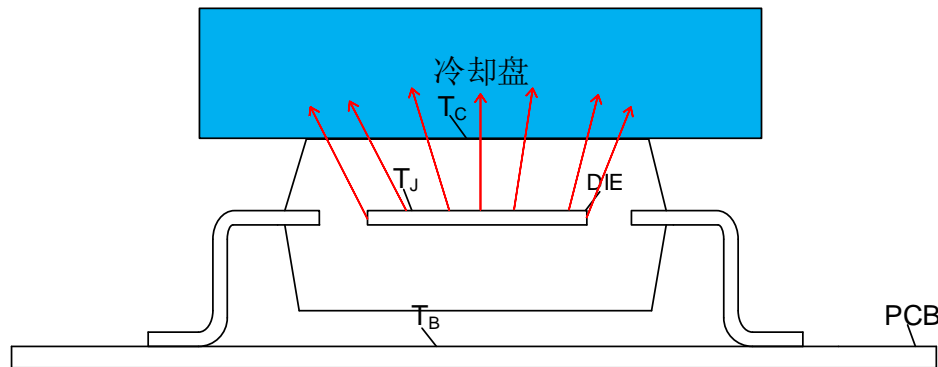
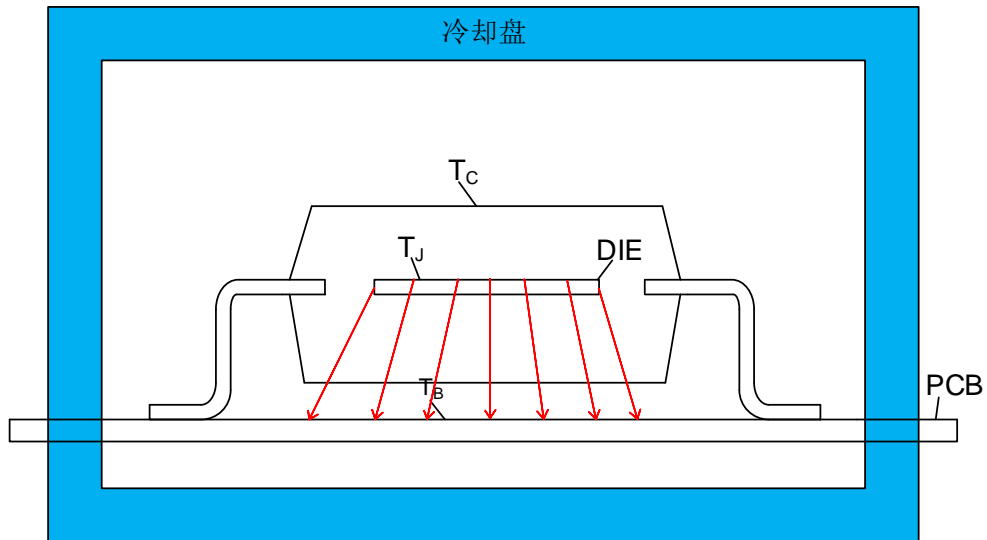


图 2-11. 测量 θ_{JB} 时热传导路径

从上图以及 ψ 与 θ 的定义可以看出，虽然 ψ 与 θ 参数看起来类似，但 ψ 是指在大部分的热量传递的状况下，而 θ 是指全部的热量传递，因此 ψ 参数并非真正的热阻，而是热特性参数。在实际的电子系统散热时，热会由封装的上下甚至周围传出，而不一定会由单一方向传递，因此 ψ 之定义比较符合实际系统的应用场景。

例如 θ_{JB} 测量时会使热量几乎全部从芯片表面向 PCB 板传递，而 ψ_{JB} 测量时只会有大部分热量从芯片表面向 PCB 板传递，也有热量从其他方向散发，因此 ψ_{JB} 测量更符合实际使用情况。

3. 影响热阻大小的因素

测试板：在 JEDEC 规定的热阻测量方法中，测试板类似于一块散热片，以 θ_{JA} 为例，在测试 θ_{JA} 时，绝大部分热量通过测试板散发，测试板上的走线、铺铜、过孔的改变对热阻大小有着巨大影响，JEDEC 规定了两种测试板类型：1S（单信号层）、2S2P（双信号层双电源层）；GD32 的热阻仿真测量均基于 2S2P 测试板。

内部芯片与封装的尺寸：随着内部芯片尺寸的增加，可以将热量散发到更大的面积上，提高热量的耗散速度，热阻也会随之降低；外部封装的改变会导致散热面积与散热路径的改变，也会导致热阻的改变，外部封装变薄变小会导致热阻增大。

外部环境：在测量热阻时，外部环境的改变（如温度、风速、海拔等）也会导致热阻的改变，海拔的变化会导致空气压力的变化，进而导致芯片散热能力的变化，一般来说在海拔较高地区运行的器件会比在海平面上运行的器件散热速度更慢；风速的增加会提升芯片的散热速度，如 [表 3-1. QFN\(4X4-0.65\)不同风速温度下热阻仿真结果 \(PD=0.24W\)](#) 所示，在流动空气的测试环境中，测量出的芯片热阻会显著降低。

表 3-1. QFN(4X4-0.65)不同风速温度下热阻仿真结果 (PD=0.24W)

Environment	Junction Temp.(°C)	Board Temp.(°C)	Case Temp_ Top.(°C)	Ambient Temp.(°C)	$\psi_{JB}(^{\circ}\text{C}/\text{W})$	$\Psi_{JB}(^{\circ}\text{C}/\text{W})$	$\theta_{JA}(^{\circ}\text{C}/\text{W})$
Still Air	97.295	93.068	97.015	85	17.61	1.17	51.23
Force Air 1m/s	95.86	91.713	95.254	85	17.28	2.53	45.25
Force Air 2m/s	95.367	91.276	94.559	85	17.05	3.37	43.2
Still Air	38.075	33.89	37.801	25	17.44	1.14	54.48
Force Air 1m/s	35.914	31.822	35.314	25	17.05	2.5	45.48
Force Air 2m/s	35.421	31.371	34.617	25	16.88	3.35	43.42

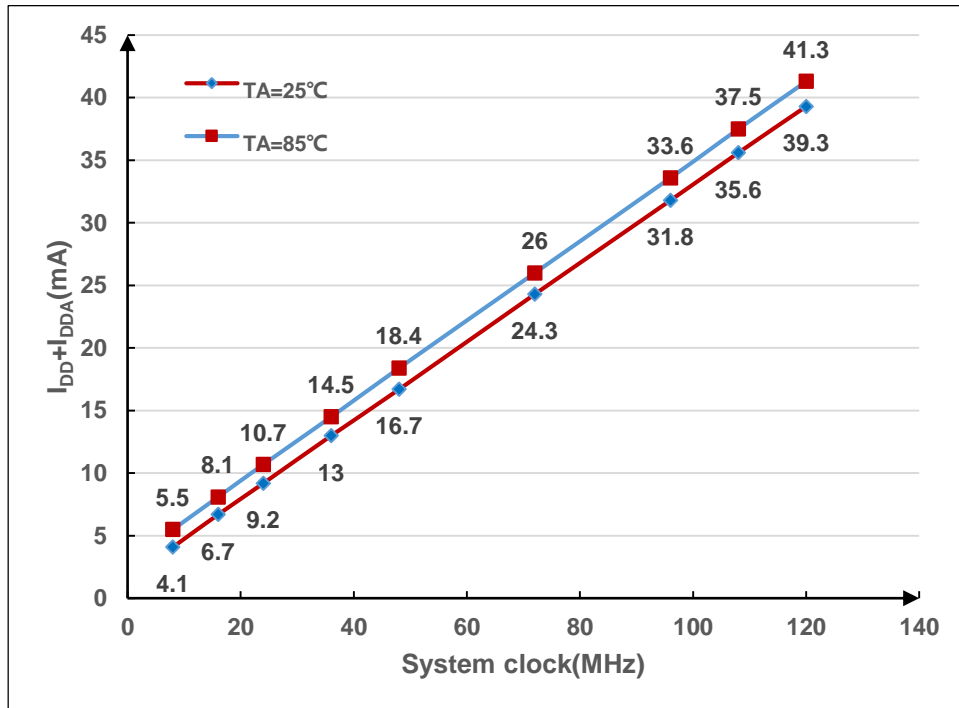
对热阻大小影响程度的排序为：PCB 设计>芯片尺寸>芯片内部封装的形状>芯片的高度>外部环境温度>耗散功率。

因为芯片的热阻与很多外部因素有关，因此大多数情况下，无法使用芯片的热阻来估算结温，只能用于定性的比较，即通过对近似产品的热阻大小的衡量，判断哪种产品的散热性能更好。

4. 选择正确散热方法

一般来说，芯片工作在较高的温度下，功耗将会提升且可靠性会降低，如[图 4-1. GD32F303xx 系列在不同工作温度下的功耗](#)所示，在高温下，该芯片功耗有着明显提升，为了芯片更好的工作，保证芯片可靠性，需要选择正确的芯片散热方法。

图 4-1. GD32F303xx 系列在不同工作温度下的功耗



选择合适的芯片封装：在选择芯片封装时，除了出于价格、布板、安装的考虑外，也应将封装的散热性能考虑在内，尤其是将芯片使用在大功耗的场合，可以选择热阻值较小的芯片封装，选择带有散热焊盘的封装也能有效解决散热问题。

外加装置散热：为芯片添加散热片、增加风扇散热都是很好的散热方式。

合理布板散热：在不添加外部装置为芯片散热的情况下，芯片中产生的 70% 以上的热量都是通过 PCB 散发，因此良好的布板布局对于芯片散热有着至关重要的影响。对于需要散热的芯片，在其下的 PCB 大面积铺铜以及打散热过孔可有效散热，增加铺铜厚度也可增加散热效率，同时，将散热量较大的芯片分开布局也可增加散热效率。

5. 实例测量

为更好的展示耗散功率与芯片温升的关系，分别对两款芯片（GD32E103VBT6、GD32F450VKT6）进行了实际量测。

实验环境：在 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 环境温度下，分别使用 GD32E103V-EVAL 电路板以及 GD32F450V-START 电路板进行测量，两块电路板均使用 5V 电压供电，将热电偶粘连在芯片的上表面中心测量温度 T_c ，由于芯片结温 T_j 与 T_c 相差较小，可以近似认为 $T_j = T_c$ ，并分别测量电路板与芯片的耗散功率。其中 GD32E103V-EVAL 电路板为双层 PCB，实物图如 [图 5-1. GD32E103V-EVAL 板实物图](#) 所示，GD32F450V-START 电路板为四层 PCB（双信号层双电源层），实物图如 [图 5-2. GD32F450V-START 板实物图](#) 所示。测试结果如下：

图 5-1. GD32E103V-EVAL 板实物图

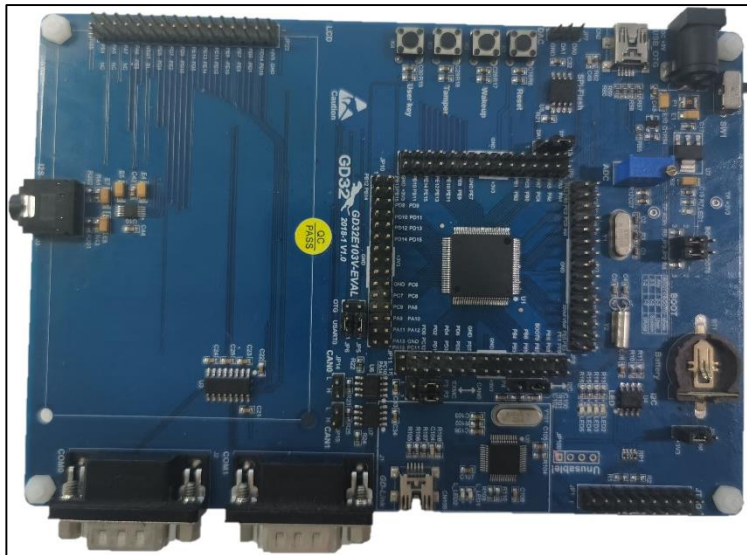


图 5-2. GD32F450V-START 板实物图

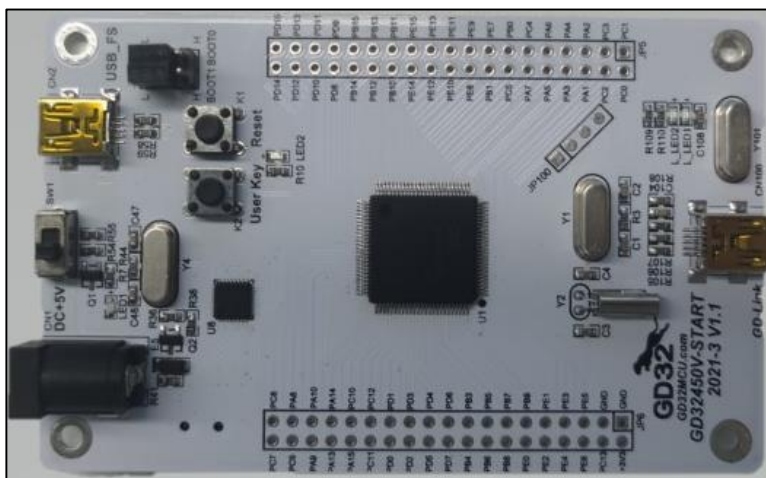


表 5-1. GD32E103VBT6 耗散功率与温升 (在 GD32E103V-EVAL 板上)

T _A (°C)	T _C (°C)	GD32E103V-EVAL(supplied with 5 V)		GD32E103VBT6 (supplied with 3.3 V)	
		Current consumption (mA)	Power consumption (mW)	Current consumption (mA)	Power consumption (mW)
25	30.45	81	405	30	99
25	30.11	76	380	24.23	79.959
25	27.42	71	355	19.84	65.472
25	28.59	66	330	14.8	48.84
25	27.22	58	290	7.41	24.45

图 5-3. GD32E103VBT6 耗散功率与温升曲线 (在 GD32E103V-EVAL 板上)

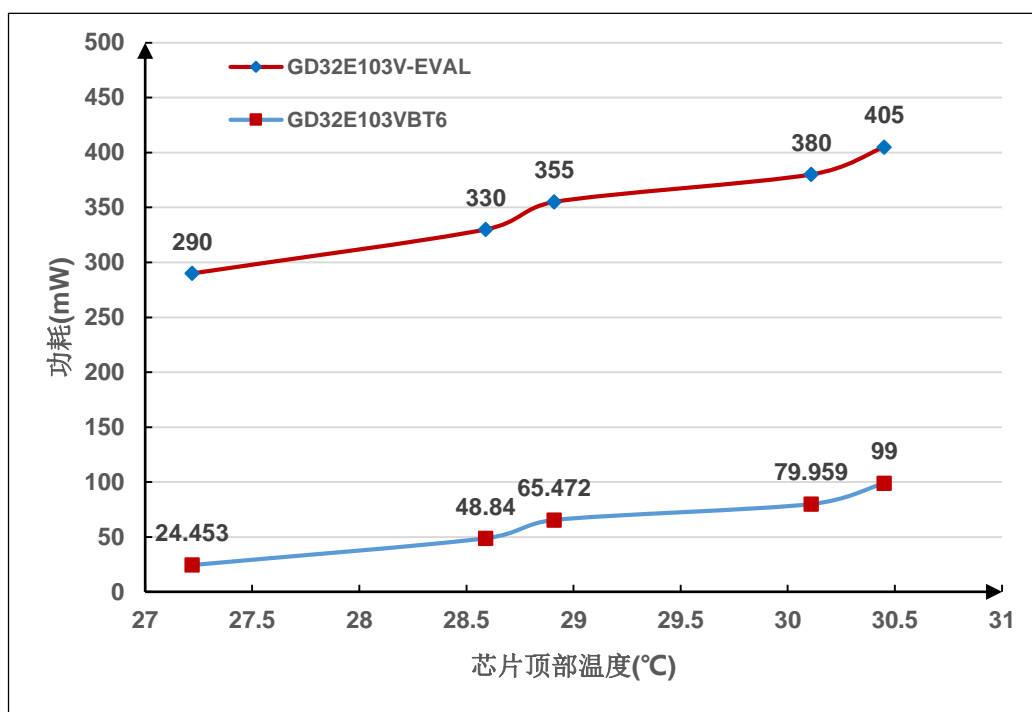
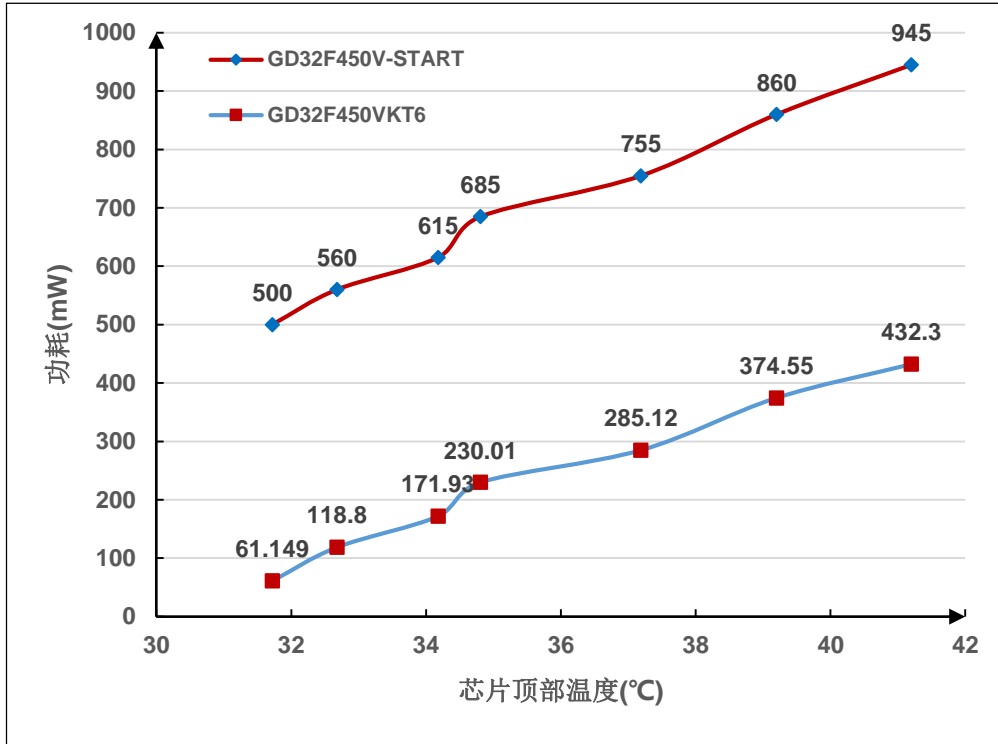


表 5-2. GD32F450VKT6 耗散功率与温升 (在 GD32F450V-START 板上)

T _A (°C)	T _C (°C)	GD32F450V-START(supplied with 5 V)		GD32F450VKT6 (supplied with 3.3 V)	
		Current consumption (mA)	Power consumption (mW)	Current consumption (mA)	Power consumption (mW)
25	41.2	189	945	131	432.3
25	39.44	172	860	113.5	374.55
25	37.19	151	755	86.4	285.12
25	34.81	137	685	69.7	230.01
25	34.18	123	615	52.1	171.93
25	32.68	112	560	36	118.8

T _A (°C)	T _C (°C)	GD32F450V-START(supplied with 5 V)		GD32F450VKT6 (supplied with 3.3 V)	
		Current consumption (mA)	Power consumption (mW)	Current consumption (mA)	Power consumption (mW)
25	31.72	100	500	18.53	61.149

图 5-4. GD32F450VKT6 耗散功率与温升曲线（在 GD32F450V-START 板上）



6. 版本历史

表 6-1.版本历史

版本号.	说明	日期
1.0	首次发布	2022年6月10日

Important Notice

This document is the property of GigaDevice Semiconductor Inc. and its subsidiaries (the "Company"). This document, including any product of the Company described in this document (the "Product"), is owned by the Company under the intellectual property laws and treaties of the People's Republic of China and other jurisdictions worldwide. The Company reserves all rights under such laws and treaties and does not grant any license under its patents, copyrights, trademarks, or other intellectual property rights. The names and brands of third party referred thereto (if any) are the property of their respective owner and referred to for identification purposes only.

The Company makes no warranty of any kind, express or implied, with regard to this document or any Product, including, but not limited to, the implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose. The Company does not assume any liability arising out of the application or use of any Product described in this document. Any information provided in this document is provided only for reference purposes. It is the responsibility of the user of this document to properly design, program, and test the functionality and safety of any application made of this information and any resulting product. Except for customized products which has been expressly identified in the applicable agreement, the Products are designed, developed, and/or manufactured for ordinary business, industrial, personal, and/or household applications only. The Products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems designed or intended for the operation of weapons, weapons systems, nuclear installations, atomic energy control instruments, combustion control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, life-support devices or systems, other medical devices or systems (including resuscitation equipment and surgical implants), pollution control or hazardous substances management, or other uses where the failure of the device or Product could cause personal injury, death, property or environmental damage ("Unintended Uses"). Customers shall take any and all actions to ensure using and selling the Products in accordance with the applicable laws and regulations. The Company is not liable, in whole or in part, and customers shall and hereby do release the Company as well as its suppliers and/or distributors from any claim, damage, or other liability arising from or related to all Unintended Uses of the Products. Customers shall indemnify and hold the Company as well as its suppliers and/or distributors harmless from and against all claims, costs, damages, and other liabilities, including claims for personal injury or death, arising from or related to any Unintended Uses of the Products.

Information in this document is provided solely in connection with the Products. The Company reserves the right to make changes, corrections, modifications or improvements to this document and Products and services described herein at any time, without notice.