

# LM95231 采用 SMBus 接口和 TruTherm™ 技术的精密双通道远程二极管温度传感器

## 1 特性

- 准确检测远程 IC 或二极管结的芯片温度
- 使用 TruTherm 技术进行精准的“热敏二极管”温度测量
- 具有模拟滤波的热敏二极管输入级
- 热敏二极管数字滤波
- 90nm 工艺 Pentium 4 处理器或 2N3904 非理想选择
- 远程二极管故障检测
- 板载本地温度检测
- 不带数字滤波的远程温度读数：
  - 0.125°C LSB
  - 10 位带符号或 11 位可编程分辨率
  - 11 位支持高于 127°C 的温度
- 带有数字滤波的远程温度读数：
  - 0.03125°C LSB (带有滤波)
  - 12 位带符号或 13 位可编程分辨率
  - 13 位支持高于 127°C 的温度
- 本地温度读数：
  - 0.25°C
  - 9 位带符号
- 状态寄存器支持
- 可编程转换速率使用户能够优化功耗
- 关断模式单次触发转换控制
- SMBus 2.0 兼容接口，支持超时
- 8 引脚超薄小外形尺寸 (VSSOP) 封装
- 主要规格：
  - 远程温度精度：±0.75°C (最大值)
  - 本地温度精度：±3.0°C (最大值)
  - 电源电压为 3.0V 至 3.6V
  - 电源电流 402 μA (典型值)

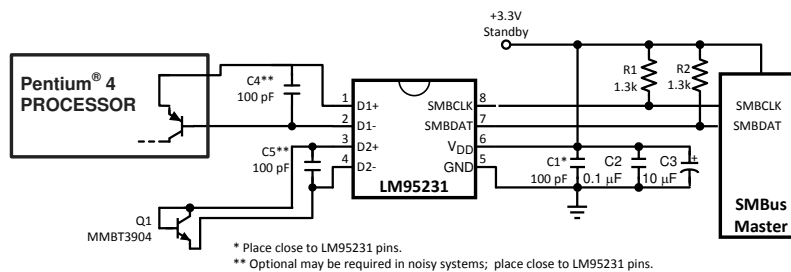
## 2 应用

- 处理器/计算机系统热管理
  - 例如笔记本电脑、台式机、工作站、服务器)
- 电子测试设备
- 办公电子设备

## 3 说明

LM95231 是一款采用德州仪器 (TI) TruTherm 技术的精密双通道远程二极管温度传感器 (RDTs)。LM95231 的 2 线制串行接口与 SMBus 2.0 兼容。LM95231 可以检测三个温度区域，并可测量其自身芯片以及两个二极管连接晶体管的温度。LM95231 包含数字滤波和高级输入级，该输入级包括模拟滤波和 TruTherm 技术，可减少处理器之间的非理想分布。二极管连接的晶体管可以是 Intel 和 AMD 处理器中的“热敏二极管”，也可以只是二极管连接的 MMBT3904 晶体管。TruTherm 技术可精确测量 90nm 及以下小几何尺寸工艺上的“热敏二极管”。LM95231 支持 90nm 工艺 Pentium 4 处理器或 2N3904 的用户可选热敏二极管非理想性。

在禁用数字滤波的情况下，用于远程温度读数的 LM95231 分辨率格式可编程为 11 位有符号或无符号格式。启用滤波功能时，分辨率会增加到 13 位有符号或无符号。在无符号模式下，LM95231 远程二极管读数可以解析高于 127°C 的温度。本地温度读数具有 9 位有符号分辨率。



## 内容

<b>1 特性</b> .....	1	7.5 远程二极管模型类型选择寄存器.....	20
<b>2 应用</b> .....	1	7.6 远程 TruTherm 模式控制.....	20
<b>3 说明</b> .....	1	7.7 本地和远程 MSB 与 LSB 温度寄存器.....	21
<b>4 引脚配置和功能</b> .....	3	7.8 制造商 ID 寄存器.....	22
<b>5 规格</b> .....	4	7.9 芯片修订代码寄存器.....	22
5.1 绝对最大额定值.....	4	<b>8 应用和实施</b> .....	23
5.2 运行额定值.....	4	8.1 应用信息.....	23
5.3 温度-数字转换器特性.....	5	8.2 典型应用.....	23
5.4 逻辑电气特性数字直流特性.....	7	<b>9 布局</b> .....	27
5.5 逻辑电气特性 SMBus 数字开关特性.....	7	9.1 尽可能降低噪声的 PCB 布局.....	27
5.6 典型性能特性.....	9	<b>10 器件和文档支持</b> .....	28
<b>6 详细说明</b> .....	10	10.1 文档支持.....	28
6.1 概述.....	10	10.2 接收文档更新通知.....	28
6.2 功能方框图.....	11	10.3 支持资源.....	28
6.3 特性说明.....	12	10.4 商标.....	28
<b>7 寄存器</b> .....	18	10.5 静电放电警告.....	28
7.1 LM95231 寄存器.....	18	10.6 术语表.....	28
7.2 状态寄存器.....	18	<b>11 修订历史记录</b> .....	29
7.3 配置寄存器.....	19	<b>12 机械、封装和可订购信息</b> .....	29
7.4 远程二极管滤波器控制寄存器.....	20		

## 4 引脚配置和功能

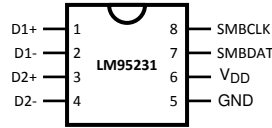


图 4-1. VSSOP-8 俯视图

表 4-1. 引脚说明

标签	引脚编号	功能	典型连接
D1+	1	二极管电流源	至二极管阳极。连接到远程分立二极管连接晶体管结，或连接到远程 IC 上二极管连接晶体管结，用于检测 IC 的芯片温度。D1+ 和 D1- 之间不需要电容器。可以在 D1+ 和 D1- 之间添加一个 100pF 电容器，这可以改善有噪声系统中的性能。
D1-	2	二极管返回电流吸收器	至二极管阴极。D1+ 和 D1- 之间不需要电容器。可以在 D1+ 和 D1- 之间添加一个 100pF 电容器，这可以改善有噪声系统中的性能。
D2+	3	二极管电流源	至二极管阳极。连接到远程分立二极管连接晶体管结，或连接到远程 IC 上二极管连接晶体管结，用于检测 IC 的芯片温度。D2+ 和 D2- 之间不需要电容器。可以在 D2+ 和 D2- 之间添加一个 100pF 电容器，这可以改善有噪声系统中的性能。
D2-	4	二极管返回电流吸收器	至二极管阴极。D2+ 和 D2- 之间不需要电容器。可以在 D2+ 和 D2- 之间添加一个 100pF 电容器，这可以改善有噪声系统中的性能。
GND	5	电源接地	系统低噪声接地
V <sub>DD</sub>	6	正电源电压输入	3.0V 至 3.6V 的直流电压。V <sub>DD</sub> 应使用与 100pF 并联的 0.1μF 电容器进行旁路。100pF 电容器应尽量靠近电源引脚放置。噪声应保持在 200mVp-p 以下，可能需要 10μF 电容器才能实现此目的。
SMBDAT	7	SMBus 双向数据线路，开漏输出	来自和连接到控制器；可能需要外部上拉电阻器
SMBCLK	8	SMBus 时钟输入	来自控制器；可能需要外部上拉电阻器

## 5 规格

### 5.1 绝对最大额定值

请参阅<sup>(1)</sup>

电源电压		
SMBDAT、SMBCLK 处的电压		-0.3V 至 6.0V - 0.5V 至 6.0V
其他引脚处的电压		-0.3V 至 (V <sub>DD</sub> + 0.3V)
所有引脚的输入电流 <sup>(2)</sup>		±5mA
封装输入电流 <sup>(2)</sup>		30mA
SMBDAT 输出灌电流		10mA
结温 <sup>(3)</sup>		125°C
存储温度		-65°C 至 +150°C
ESD 敏感性 <sup>(4)</sup>	人体放电模式	2000V
	机器模型	200V
焊接工艺必须符合德州仪器 (TI) 的回流温度曲线规格。请参阅 <a href="http://www.ti.com/packaging/">http://www.ti.com/packaging/</a> 。 <sup>(5)</sup>		

- 绝对最大额定值表示超过之后可能对器件造成损坏的限值。运行额定值表示器件可正常工作的条件，但不保证特定性能限制。有关保证的规格和测试条件，请参阅“电气特性”。保证的规格仅适用于所列出的测试条件。当器件未在列出的测试条件下运行时，某些性能特性可能会降级。不建议在超出最大运行额定值的情况下运行器件。
- 如果任何引脚处的输入电压 (V<sub>I</sub>) 超过电源 (V<sub>I</sub> < GND 或 V<sub>I</sub> > V<sub>DD</sub>)，则该引脚处的电流不应超过 5mA。图 5-1 和表 5-1 显示了 LM95231 引脚的寄生元件和/或 ESD 保护电路。请注意，不要对引脚上的寄生二极管 D1 进行正向偏置：D1+、D2+、D1-、D2-。如果超过 50mV，可能会破坏温度测量结果。
- 连接到具有 1 盎司金属箔的印刷电路板且无气流时的结至环境热阻：
  - VSSOP-8 = 210°C/W
- 人体放电模型，通过 1.5kΩ 电阻进行 100pF 放电。机器放电模型，直接对每个引脚进行 200pF 放电。
- 含铅 (Pb) 封装的回流温度曲线不同于不含铅的封装。

### 5.2 运行额定值

请参阅<sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>

工作温度范围 <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>	0°C 至 +125°C
电气特性温度范围	T <sub>MIN</sub> ≤ T <sub>A</sub> ≤ T <sub>MAX</sub>
LM95231BIMM、LM95231CIMM	0°C ≤ T <sub>A</sub> ≤ +85°C
电源电压范围 (V <sub>DD</sub> )	+3.0V 至 +3.6V

- 绝对最大额定值表示超过之后可能对器件造成损坏的限值。运行额定值表示器件可正常工作的条件，但不保证特定性能限制。有关保证的规格和测试条件，请参阅“电气特性”。保证的规格仅适用于所列出的测试条件。当器件未在列出的测试条件下运行时，某些性能特性可能会降级。不建议在超出最大运行额定值的情况下运行器件。
- 连接到具有 1 盎司金属箔的印刷电路板且无气流时的结至环境热阻：
  - VSSOP-8 = 210°C/W

### 5.3 温度-数字转换器特性

除非另有说明，否则这些规格适用于  $V_{DD} = +3.0V_{dc}$  至  $3.6V_{dc}$ 。粗体限值适用于  $T_A = T_J = T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ ；所有其他限值适用于  $T_A = T_J = +25^\circ C$ （除非另有说明）。 $T_J$  是 LM95231 的结温。 $T_D$  是远程热敏二极管的结温。

参数	测试条件		典型值 <sup>(1)</sup>	LM9523	LM9523	单位
				1 BIMM 限值 <sup>(2)</sup>	1 C1MM 限值 <sup>(2)</sup>	
使用本地二极管时的精度	$T_A = 0^\circ C$ 至 $+85^\circ C$ <sup>(3) (4)</sup>		$\pm 1$	<b><math>\pm 3</math></b>	<b><math>\pm 3</math></b>	$^\circ C$ (最大值)
使用远程二极管时的精度，请参阅 <sup>(5)</sup> ，以了解热敏二极管处理器类型。	$T_A = +20^\circ C$ 至 $+40^\circ C$ ； $T_D = +45^\circ C$ 至 $+85^\circ C$	Intel 90nm 热敏二极管		<b><math>\pm 0.75</math></b>		$^\circ C$ (最大值)
	$T_A = +20^\circ C$ 至 $+40^\circ C$ ； $T_D = +45^\circ C$ 至 $+85^\circ C$	MMBT3904 热敏二极管		<b><math>\pm 1.25</math></b>		$^\circ C$ (最大值)
	$T_A = +20^\circ C$ 至 $+40^\circ C$ ； $T_D = +45^\circ C$ 至 $+85^\circ C$	Intel 90nm 和 MMBT3904 热敏二极管			<b><math>\pm 1.25</math></b>	$^\circ C$ (最大值)
	$T_A = +0^\circ C$ 至 $+85^\circ C$ ； $T_D = +25^\circ C$ 至 $+140^\circ C$	Intel 90nm 和 MMBT3904 热敏二极管		<b><math>\pm 2.5</math></b>	<b><math>\pm 2.5</math></b>	$^\circ C$ (最大值)
滤波关闭时的远程二极管测量分辨率			10 位带符号/11			位
			0.125			$^\circ C$
数字滤波开启时的远程二极管测量分辨率			12 位带符号/13			位
			0.03125			$^\circ C$
本地二极管测量分辨率			9 位带符号			位
			0.25			$^\circ C$
最快设置下所有温度的转换时间	请参阅 <sup>(6)</sup> TruTherm 模式禁用		75.8	<b>83.9</b>	<b>83.9</b>	ms (最大值)
	TruTherm 模式启用		79.2	<b>87.7</b>	<b>87.7</b>	ms (最大值)
平均静态电流 <sup>(7)</sup>	SMBus 非活动，1Hz 转换速率		402	<b>545</b>	<b>545</b>	$\mu A$ (最大值)
	关断		272			$\mu A$
D- 源极电压			0.4			V
二极管源极电流比			16			
二极管源极电流	$(V_{D+} - V_{D-}) = +0.65V$ ； 高电平		176	<b>300</b>	<b>300</b>	$\mu A$ (最大值)
				<b>100</b>	<b>100</b>	$\mu A$ (最小值)
	低电平		11			$\mu A$
上电复位阈值	在 $V_{DD}$ 输入上测量，下降沿			<b>2.7</b> <b>1.8</b>	<b>2.7</b> <b>1.8</b>	V (最大值) V (最小值)

- (1) 典型值都是在  $T_A = 25^\circ C$  条件下的值，表示产品特性评定时最有可能达到的参数标准。不保证能够达到典型规格。
- (2) 这些限值特定于 AOQL（平均出厂质量水平）。
- (3) 本地温度精度不包括自发热的影响。自发热引起的温度上升是 LM95231 内部功耗与热阻的乘积。有关自发热计算中使用的热阻，请参阅“运行额定值”表中的注 2。
- (4) 连接到具有 1 盎司金属箔的印刷电路板且无气流时的结至环境热阻：  
— VSSOP-8 =  $210^\circ C/W$

- (5) 使用 90nm 工艺 Pentium 4 处理器的热敏二极管或 MMBT3904 型晶体管 ( 具体在远程二极管模型选择寄存器中选择 ) 时, 可确保 LM95231 的精度。
- (6) 此规格仅用于指示温度数据的更新频率。可以随时读取 LM95231, 而无需考虑转换状态 ( 并将生成最后一次转换结果 )。
- (7) 当 SMBus 处于活动状态时, 静态电流不会大幅增加。

## 5.4 逻辑电气特性数字直流特性

除非另外说明，否则这些技术规格适用于  $V_{DD} = +3.0V_{dc}$  至  $3.6V_{dc}$ 。粗体限值适用于  $T_A = T_J = T_{MIN}$  至  $T_{MAX}$ ；所有其他限值适用于  $T_A = T_J = +25^\circ C$ （除非另有说明）。

符号	参数	工作条件	典型值 <sup>(1)</sup>	限制 <sup>(2)</sup>	单位 (限制)
<b>SMBDAT、SMBCLK 输入</b>					
$V_{IN(1)}$	逻辑“1”输入电压			<b>2.1</b>	V (最小值)
$V_{IN(0)}$	逻辑“0”输入电压			<b>0.8</b>	V (最大值)
$V_{IN(HYST)}$	SMBDAT 和 SMBCLK 数字输入迟滞		400		mV
$I_{IN(1)}$	逻辑“1”输入电流	$V_{IN} = V_{DD}$	0.005	<b>±10</b>	μA (最大值)
$I_{IN(0)}$	逻辑“0”输入电流	$V_{IN} = 0V$	-0.005	<b>±10</b>	μA (最大值)
$C_{IN}$	输入电容		5		pF
<b>SMBDAT 输出</b>					
$I_{OH}$	高电平输出电流	$V_{OH} = V_{DD}$		<b>10</b>	μA (最大值)
$V_{OL}$	SMBus 低电平输出电压	$I_{OL} = 4mA$ $I_{OL} = 6mA$		<b>0.4</b> <b>0.6</b>	V (最大值)

(1) 典型值都是在  $T_A = 25^\circ C$  条件下的值，表示产品特性评定时最有可能达到的参数标准。不保证能够达到典型规格。

(2) 这些限值特定于 AOQL (平均出厂质量水平)。

## 5.5 逻辑电气特性 SMBus 数字开关特性

除非另有说明，否则这些规格适用于  $V_{DD} = +3.0V_{dc}$  至  $+3.6V_{dc}$ 、输出线路上的  $C_L$  (负载电容) =  $80pF$ 。粗体限值适用于  $T_A = T_J = T_{MIN}$  至  $T_{MAX}$ ；所有其他限值适用于  $T_A = T_J = +25^\circ C$ （除非另有说明）。

LM95231 的开关特性完全符合或超过已发布的 SMBus 规范 2.0 版。以下参数是与 LM95231 相关的 SMBCLK 和 SMBDAT 信号之间的时序关系。它们遵循 SMBus 总线规范，但这并非必需。

符号	参数	工作条件	典型值 <sup>(1)</sup>	限制 <sup>(2)</sup>	单位 (限制)
$f_{SMB}$	SMBus 时钟频率			<b>100</b> <b>10</b>	KHz (最大值) kHz (最小值)
$t_{LOW}$	SMBus 时钟低电平时间	从 $V_{IN(0)max}$ 到 $V_{IN(0)max}$		<b>4.7</b> <b>25</b>	μs (最小值) ms (最大值)
$t_{HIGH}$	SMBus 时钟高电平时间	从 $V_{IN(1)min}$ 到 $V_{IN(1)min}$		<b>4.0</b>	μs (最小值)
$t_{R,SMB}$	SMBus 上升时间	请参阅 <sup>(3)</sup>	1		μs (最大值)
$t_{F,SMB}$	SMBus 下降时间	请参阅 <sup>(4)</sup>	0.3		μs (最大值)
$t_{OF}$	输出下降时间	$C_L = 400pF$ , $I_O = 3mA$ <sup>(4)</sup>		<b>250</b>	ns (最大值)
$t_{TIMEOUT}$	串行接口复位时的 SMBDAT 和 SMBCLK 低电平时间 <sup>(5)</sup>			<b>25</b> <b>35</b>	ms (最小值) ms (最大值)
$t_{SU,DAT}$	数据输入到 SMBCLK 高电平的建立时间			<b>250</b>	ns (最小值)
$t_{HD,DAT}$	SMBCLK 低电平后数据输出稳定时间			<b>300</b> <b>1075</b>	ns (最小值) ns (最大值)
$t_{HD,STA}$	启动条件 SMBDAT 低电平至 SMBCLK 低电平 (启动条件在第一个时钟下降沿之前保持)			<b>100</b>	ns (最小值)
$t_{SU,STO}$	停止条件 SMBCLK 高电平至 SMBDAT 低电平 (停止条件设置)			<b>100</b>	ns (最小值)
$t_{SU,STA}$	SMBus 重复启动条件建立时间, SMBCLK 高电平至 SMBDAT 低电平			<b>0.6</b>	μs (最小值)
$t_{BUF}$	停止条件和启动条件之间的 SMBus 空闲时间			<b>1.3</b>	μs (最小值)

(1) 典型值都是在  $T_A = 25^\circ C$  条件下的值，表示产品特性评定时最有可能达到的参数标准。不保证能够达到典型规格。

(2) 这些限值特定于 AOQL (平均出厂质量水平)。

LM95231

ZHCSTZ5F - FEBRUARY 2005 - REVISED JANUARY 2024

- (3) 输出上升时间的测量范围为  $(V_{IN(0)max} + 0.15V)$  至  $(V_{IN(1)min} - 0.15V)$ 。
- (4) 输出下降时间的测量范围为  $(V_{IN(1)min} - 0.15V)$  至  $(V_{IN(1)min} + 0.15V)$ 。
- (5) 将 SMBDAT 和/或 SMBCLK 线路保持为低电平的时间间隔大于  $t_{TIMEOUT}$  将复位 LM95231 的 SMBus 状态机，从而将 SMBDAT 和 SMBCLK 引脚设置为高阻抗状态。

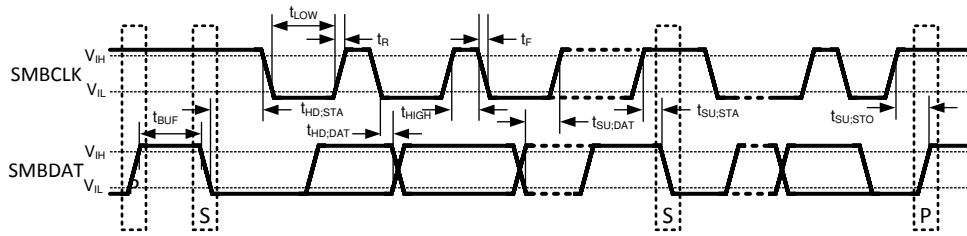


图 5-1. SMBus 通信

表 5-1. 寄生元件和 ESD 保护电路

引脚编号	电路	引脚 ESD 保护结构电路
1	A	<p>电路 A</p>
2	A	
3	A	
4	A	
5	B	<p>电路 B</p>
6	B	
7	C	
8	C	



### 5.6 典型性能特性

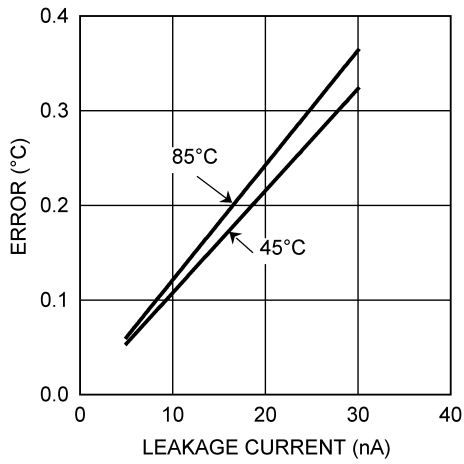


图 5-2. 热敏二极管电容器或 PCB 漏电流对远程二极管温度读数的影响

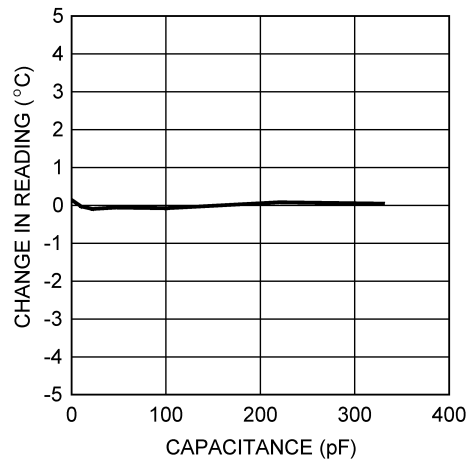


图 5-3. 远程温度读数对热敏二极管滤波电容的敏感度

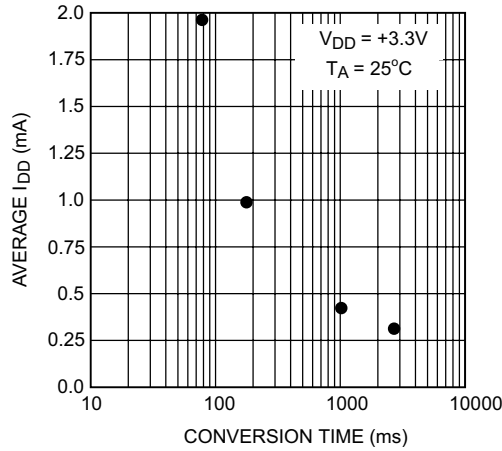


图 5-4. 转换速率对平均电源电流的影响

## 6 详细说明

### 6.1 概述

LM95231 是一款数字传感器，可使用  $\Sigma$ - $\Delta$  模数转换器检测 3 个热区的温度。它可以使用  $\Delta V_{be}$  温度检测方法测量其本地芯片温度和两个外部晶体管结的温度。LM95231 可以支持两种外部晶体管类型，即 90nm 工艺 Pentium 4 处理器热敏二极管或 2N3904 二极管连接晶体管。晶体管类型可由寄存器编程，初始化后不需要软件干预。LM95231 具有采用德州仪器 (TI) TruTherm 技术的先进输入级，可减少 90nm 工艺 Pentium 4 处理器中的非理想分布。热敏二极管输入级中包括内部模拟滤波，从而更大幅度地减少了对外部热敏二极管滤波电容器的需求。此外还添加了数字滤波器。得益于模拟输入级的这些抗噪性能改进以及数字滤波，与以前的热敏二极管传感器器件相比，此器件可使用更长的迹线轨迹或线缆连接到热敏二极管。

LM95231 的 2 线制串行接口与 SMBus 2.0 和 I2C 兼容。有关 I2C 总线和 SMBus 之间差异的详细说明，请参阅 SMBus 2.0 规范。

温度转换速率是可编程的，从而允许用户根据系统要求优化 LM95231 的电流消耗。当不需要温度数据时，可以将 LM95231 置于关断状态，以便更大幅度地降低功耗。在关断状态下，单次转换模式允许系统控制转换速率，从而实现最终的灵活性。

远程二极管温度分辨率是可变的，具体取决于是否激活了数字滤波器。当数字滤波器处于活动状态时，分辨率为 13 位，可编程为 13 位无符号分辨率或 12 位带符号分辨率，这两种分辨率的最低有效位 (LSb) 权重都是  $0.03125^{\circ}\text{C}$ 。当数字滤波器处于非活动状态时，分辨率为 11 位，可编程为 11 位无符号或 10 位带符号，这两种分辨率的最低有效位 (LSb) 权重都为  $0.125^{\circ}\text{C}$ 。无符号分辨率允许远程二极管检测高于  $127^{\circ}\text{C}$  的温度。本地温度分辨率不可编程，始终为 9 位带符号，并具有  $0.25^{\circ}\text{C}$  LSb。

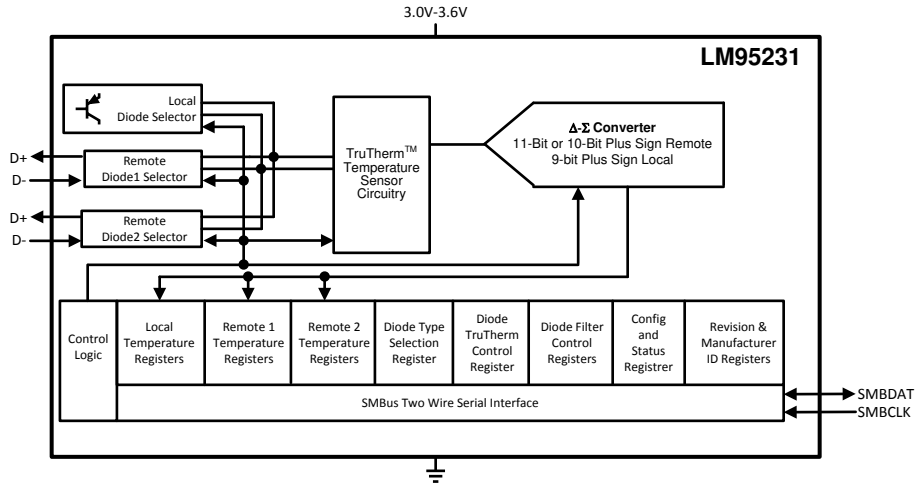
LM95231 远程二极管温度精度将针对 90nm 工艺 Pentium 4 处理器或 2N3904 晶体管进行调整，并且只有选择在适当的情况下使用其中一个二极管时，才能确保精度。在测量 90nm 工艺的 Pentium 4 处理器时，应启用 TruTherm 模式；在测量 2N3904 晶体管时，应禁用 TruTherm 模式。在连接 2N3904 晶体管的情况下启用 TruTherm 模式可能会产生意外的温度读数。

LM95231 中的二极管故障检测电路可以检测是否存在远程二极管：D+ 是否短接至  $V_{DD}$ 、D- 或地，或者 D+ 是否悬空。

LM95231 寄存器组具有 8 位数据结构，包括：

1. 最高有效字节 (MSB) 本地温度寄存器
2. 最低有效字节 (LSB) 本地温度寄存器
3. MSB 远程温度 1 寄存器
4. LSB 远程温度 1 寄存器
5. MSB 远程温度 2 寄存器
6. LSB 远程温度 2 寄存器
7. 状态寄存器：繁忙、二极管故障
8. 配置寄存器：分辨率控制、转换速率控制、待机控制
9. 远程二极管滤波器设置
10. 远程二极管模型选择
11. 远程二极管 TruTherm 模式控制
12. 单次触发寄存器
13. 制造商 ID
14. 修订 ID

## 6.2 功能方框图



## 6.3 特性说明

### 6.3.1 转换序列

在上电默认状态下，LM95231 最多需要 77.5ms 来转换本地温度、远程温度 1 和 2，并更新其所有寄存器。只有在转换过程中，状态寄存器 (02h) 中的繁忙位 (D7) 才会为高电平。这些转换会按轮询顺序进行处理。转换速率可以通过配置寄存器 (03h) 内的转换速率位进行修改。修改转换速率时，会在两次转换之间插入一个延迟，实际最大转换时间仍为 87.7ms。不同的转换速率将导致 LM95231 汲取不同的电源电流，如图 6-1 所示。

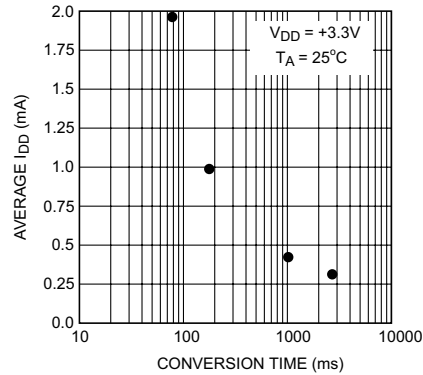


图 6-1. 转换速率对电源电流的影响

### 6.3.2 上电默认状态

LM95231 始终会在上电后进入这些已知默认状态。LM95231 会一直保持这些状态，直到第一次转换之后。

- 命令寄存器设置为 00h
- 本地温度设置为 0°C，直到第一次转换结束
- 远程二极管温度设置为 0°C，直到第一次转换结束
- 远程二极管数字滤波器开启。
- 远程二极管 1 模型设置为采用 90nm 工艺的 Pentium 4 处理器并启用 TruTherm 模式。远程二极管 2 模型设置为 2N3904 并禁用 TruTherm 模式。
- 状态寄存器取决于热敏二极管输入的状态
- 配置寄存器设置为 00h；连续转换，仅为远程 1 启用 TruTherm 模式时，典型时间 = 85.8ms

### 6.3.3 SMBus 接口

LM95231 作为 SMBus 上的从器件运行，因此 SMBCLK 线路是输入，SMBDAT 线路是双向线路。LM95231 从不驱动 SMBCLK 线路，也不支持时钟延展。根据 SMBus 规范，LM95231 具有 7 位从器件地址。A6 到 A0 的所有位均由内部编程，不能通过软件或硬件进行更改。SMBus 从器件地址取决于所订购的 LM95231 器件型号：

器件型号	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
LM95231BIMM、 LM95231CIMM	1	0	1	0	1	1	1
LM95231BIMM-1、 LM95231CIMM-1	0	0	1	1	0	0	1
LM95231BIMM-2、 LM95231CIMM-2	0	1	0	1	0	1	0

### 6.3.4 温度数据格式

温度数据只能从本地和远程温度寄存器中读取。

数字滤波器关闭时的远程温度数据由 11 位二进制补码字或无符号二进制字表示，其中 LSb (最低有效位) 等于 0.125°C。数据格式是 16 位左对齐字，并在两个 8 位寄存器中提供。未使用的位将始终报告“0”。

**表 6-1. 11 位二进制补码 ( 10 位带符号 )**

温度	数字输出	
	二进制	十六进制
+125°C	0111 1101 0000 0000	7D00h
+25°C	0001 1001 0000 0000	1900h
+1°C	0000 0001 0000 0000	0100h
+0.125°C	0000 0000 0010 0000	0020h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.125°C	1111 1111 1110 0000	FFE0h
-1°C	1111 1111 0000 0000	FF00h
-25°C	1110 0111 0000 0000	E700h
-55°C	1100 1001 0000 0000	C900h

**表 6-2. 11 位无符号二进制**

温度	数字输出	
	二进制	十六进制
+255.875°C	1111 1111 1110 0000	FFE0h
+255°C	1111 1111 0000 0000	FF00h
+201°C	1100 1001 0000 0000	C900h
+125°C	0111 1101 0000 0000	7D00h
+25°C	0001 1001 0000 0000	1900h
+1°C	0000 0001 0000 0000	0100h
+0.125°C	0000 0000 0010 0000	0020h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h

数字滤波器开启时的远程温度数据由 13 位二进制补码字或无符号二进制字表示，其中 LSb ( 最低有效位 ) 等于 0.03125°C (1/32°C)。数据格式是 16 位左对齐字，并在两个 8 位寄存器中提供。未使用的位将始终报告“0”。

**表 6-3. 13 位二进制补码 ( 12 位带符号 )**

温度	数字输出	
	二进制	十六进制
+125°C	0111 1101 0000 0000	7D00h
+25°C	0001 1001 0000 0000	1900h
+1°C	0000 0001 0000 0000	0100h
+0.03125°C	0000 0000 0000 1000	0008h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.03125°C	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-1°C	1111 1111 0000 0000	FF00h
-25°C	1110 0111 0000 0000	E700h
-55°C	1100 1001 0000 0000	C900h

**表 6-4. 13 位无符号二进制**

温度	数字输出	
	二进制	十六进制
+255.875°C	1111 1111 1110 0000	FFE0h
+255°C	1111 1111 0000 0000	FF00h
+201°C	1100 1001 0000 0000	C900h
+125°C	0111 1101 0000 0000	7D00h

表 6-4. 13 位无符号二进制 (续)

温度	数字输出	
	二进制	十六进制
+25°C	0001 1001 0000 0000	1900h
+1°C	0000 0001 0000 0000	0100h
+0.03125°C	0000 0000 0000 1000	0008h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h

本地温度数据由 10 位二进制补码字表示，其中 LSb (最低有效位) 等于 0.25°C。数据格式是 16 位左对齐字，并在两个 8 位寄存器中提供。未使用的位将始终报告“0”。高于 +127.875°C 的本地温度读数会被钳位到 +127.875°C，它们不会翻转为负温度读数。

温度	数字输出	
	二进制	十六进制
+125°C	0111 1101 0000 0000	7D00h
+25°C	0001 1001 0000 0000	1900h
+1°C	0000 0001 0000 0000	0100h
+0.25°C	0000 0000 0100 0000	0040h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.25°C	1111 1111 1100 0000	FFC0h
-1°C	1111 1111 0000 0000	FF00h
-25°C	1110 0111 0000 0000	E700h
-55°C	1100 1001 0000 0000	C900h

### 6.3.5 SMBDAT 开漏输出

SMBDAT 输出是开漏输出，没有内部上拉电阻。在某些外部源（通常是上拉电阻）提供上拉电流之前，不会在该引脚上观察到“高”电平。电阻值的选择取决于许多系统因素，但一般来说，上拉电阻应尽可能大，而不影响 SMBus 所需的数据速率。这将更大限度地减少由于 LM95231 内部发热而导致的任何内部温度读数误差。根据 LM95231 针对电源电压为 3.0V 时的高电平输出电流规范，为提供 2.1V 高电平，上拉电阻的最大电阻为 82kΩ (5%) 或 88.7kΩ (1%)。

### 6.3.6 二极管故障检测

LM95231 配备专为检测远程二极管故障状况而设计的运算电路。如果检测到 D+ 引脚短接至 GND、D- 或 V<sub>DD</sub>，或者 D+ 悬空，则在选择有符号格式时，远程温度读数为 -128.000°C，而选择无符号格式时，则为 +255.875。此外，会设置相应的状态寄存器位 RD1M 或 RD2M (D1 或 D0)。当 TruTherm 模式处于活动状态时，将不会检测到 D+ 与 D- 的二极管短路情况。在 TruTherm 模式处于活动状态时连接 2N3904 晶体管可能会导致检测到二极管故障。

### 6.3.7 与 LM95231 通信

LM95231 中的数据寄存器由命令寄存器选择。上电时，命令寄存器设置为“00”，即读取本地温度寄存器的位置。命令寄存器会锁存其最后设置为的位置。LM95231 中的每个数据寄存器均属于四种用户可访问性类型之一：

1. 只读
2. 只写入
3. 写入/读取同一地址
4. 写入/读取不同地址

对 LM95231 的写入将始终包括地址字节和命令字节。对任何寄存器的写入都需要一个数据字节。

读取 LM95231 可以通过以下两种方式之一进行：

1. 如果命令寄存器中锁存的位置正确（大多数情况下，命令寄存器预计会指向其中一个读取温度寄存器，因为这将是从 LM95231 读取最频繁的数据），则读取可以只包含一个地址字节，随后会检索数据字节。
2. 如果需要设置命令寄存器，则一个地址字节、命令字节、重复开始以及另一个地址字节将完成一次读取。

数据字节为最高有效位优先。读取结束时，LM95231 可以接受来自主器件的确认或无确认（无确认通常用作从器件的信号，指明主器件已读取其最后一个字节）。从先前的远程二极管温度测量值中检索所有 11 位时，主器件必须确保所有 11 位都来自同一温度转换。这可以通过首先读取 MSB 寄存器来实现。读取 MSB 后，LSB 将被锁定。LSB 将在读取后解锁。如果用户连续读取 MSB，则每次读取 MSB 时，与该温度相关的 LSB 都将锁定并覆盖先前锁定的 LSB 值。

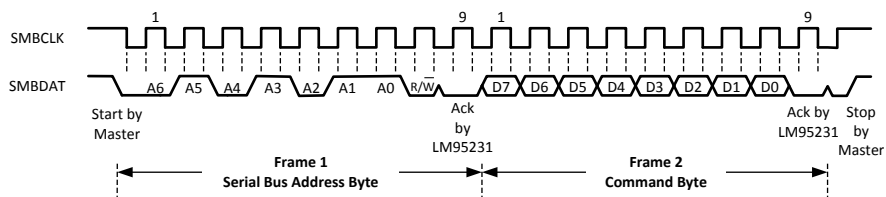


图 6-2. 通过串行总线写入内部命令寄存器

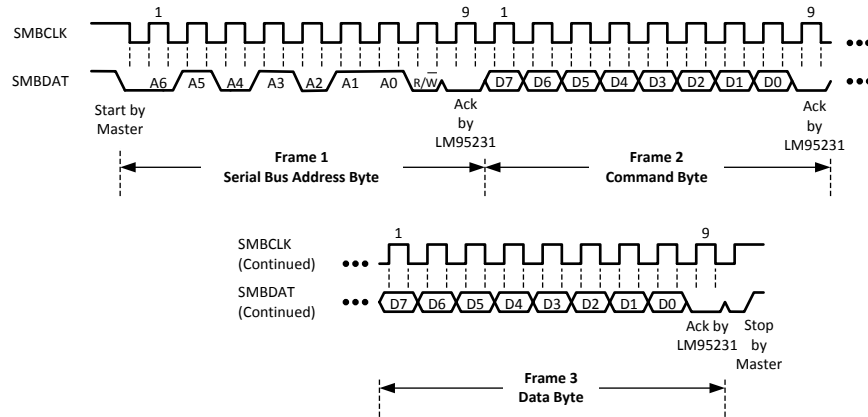


图 6-3. 通过串行总线写入内部命令寄存器后接一个数据字节

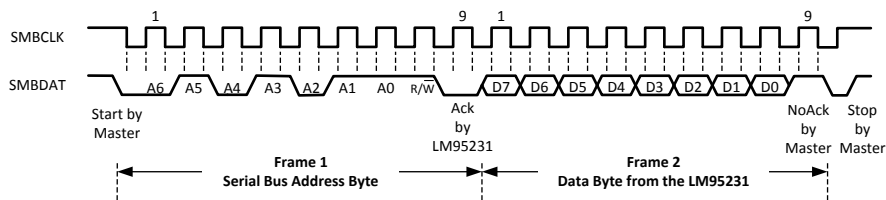
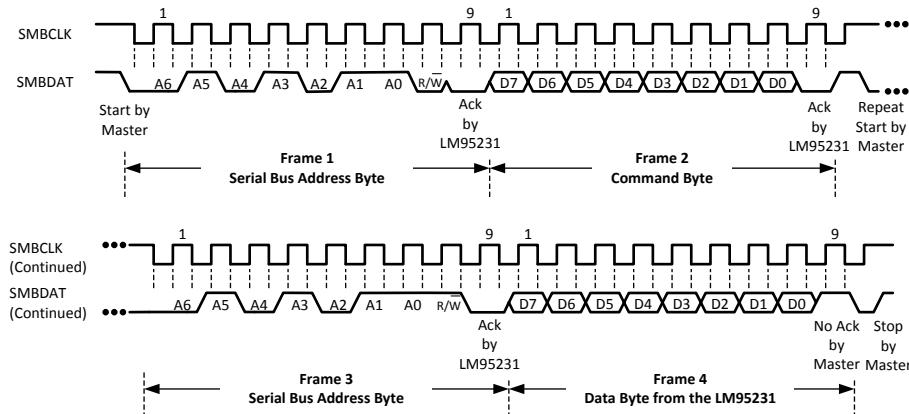


图 6-4. 通过串行总线从寄存器读取字节，其中内部命令寄存器预设为所需的值。



(d) 串行总线写入，后跟重复启动和立即读取

图 6-5. 针对数据访问的 SMBus 时序图

### 6.3.8 串行接口复位

如果在 LM95231 通过 SMBDAT 线路传输数据时 SMBus 主器件复位，则 LM95231 必须返回到通信协议中的已知状态。这可通过以下两种方式来实现：

1. 当 SMBDAT 为低电平时，如果 SMBDAT 或 SMBCLK 保持低电平的时间超过 35ms ( $t_{\text{TIMEOUT}}$ )，则 LM95231 SMBus 状态机会复位为 SMBus 空闲状态。请注意，根据 SMBus 规范 2.0，当 SMBCLK 或 SMBDAT 线路保持低电平并持续 25ms-35ms 时，所有器件都将超时。因此，为了确保总线上的所有器件都超时，SMBCLK 或 SMBDAT 线路必须保持低电平至少 35ms。
2. 当 SMBDAT 为高电平时，让主器件发起 SMBus 启动。LM95231 将在通信期间的任意时刻正确响应 SMBus 启动条件。启动后，LM95231 将收到一个 SMBus 地址字节。



### 6.3.9 单次转换

单次触发寄存器用于在器件处于待机模式时启动单次转换和比较周期，之后器件会返回待机模式。这不是数据寄存器，而是触发单次转换的写入操作。写入该地址的数据无关紧要，并且不会存储。始终会从该寄存器读取零。

## 7 寄存器

### 7.1 LM95231 寄存器

命令寄存器选择要读取或写入的寄存器。该寄存器的数据应在 SMBus 写入通信的命令字节期间发送。

P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1	P0
命令							

P0-P7：命令

表 7-1. 寄存器汇总

名称	命令 (十六进制)	上电默认值 (十六进制)	R/W	使用的位数	说明
状态寄存器	02h	-	RO	5	4 个状态位和 1 个繁忙位
配置寄存器	03h	00h	R/W	5	包括转换速率控制
远程二极管滤波器控制	06h	05h	R/W	2	控制热敏二极管滤波器设置
远程二极管模型类型选择	30h	01h	R/W	2	选择 90nm 工艺 Pentium 4 处理器或 2N3904 热敏二极管模型
远程二极管 TruTherm 模式控制	07h	01h		8	启用或禁用用于远程二极管测量的 TruTherm 技术
单次触发	0Fh	-	WO	-	如果芯片处于待机模式 (即 RUN/STOP 位 = 1)，则为所有 3 个通道激活一次转换。LM95231 会忽略主器件发送的数据。
本地温度 MSB	10h	-	RO	8	
远程温度 1 MSB	11h	-	RO	8	
远程温度 2 MSB	12h	-	RO	8	
本地温度 LSB	20h	-	RO	2	所有未使用的位都将报告零
远程温度 1 LSB	21h	-	RO	3/5	所有未使用的位都将报告零
远程温度 2 LSB	22h	-	RO	3/5	所有未使用的位都将报告零
制造商 ID	FEh	01h	RO		
修订 ID	FFh	A1h	RO		

### 7.2 状态寄存器

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Busy	保留			R2TME	R1TME	RD2M	RD1M
	0	0	0				

位	名称	说明
7	Busy	当设置为“1”时，该器件正在转换。
6-4	保留	读取时报告“0”。
3	远程 2 TruTherm 模式启用 (R2TME)	设置为“1”时表示远程二极管 2 的 TruTherm 模式已激活。启用后，TruTherm 模式最多需要一个转换周期才能完全激活。
2	远程 1 TruTherm 模式启用 (R2TME)	设置为“1”时表示远程二极管 1 的 TruTherm 模式已激活。启用后，TruTherm 模式最多需要一个转换周期才能完全激活。
1	远程二极管 2 缺失 (RD2M)	设置为“1”时，表示远程二极管 2 缺失。(即 D2+ 短接至 V <sub>DD</sub> 、地或 D2-，或 D2+ 悬空)。如果选择无符号格式，温度读数为 FFE0h，转换为 255.875°C；如果选择有符号格式，温度读数为 8000h，转换为 -128.000°C。请注意，在 TruTherm 模式处于活动状态时将 2N3904 晶体管连接到远程 2 输入也可能导致该位被设置。

位	名称	说明
0	远程二极管 1 缺失 (RD1M)	设置为“1”时，表示远程二极管 1 缺失。(即 D1+ 短接至 V <sub>DD</sub> 、地或 D1-，或 D1+ 悬空)。如果选择无符号格式，温度读数为 FFE0h，转换后为 255.875°C；如果选择有符号格式，温度读数为 8000h，转换后为 -128.000°C。请注意，在 TruTherm 模式处于活动状态时将 2N3904 晶体管连接到远程 1 输入也可能导致该位被设置。

### 7.3 配置寄存器

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	RUN/STOP	CR1	CR0	0	R2DF	R1DF	0

位	名称	说明
7	保留	读取时报告“0”。
6	RUN/STOP	逻辑 1 会禁用转换并将器件置于待机模式。通过写入单次触发寄存器可以激活转换。
5-4	转换速率 (CR1:CR0)	00：连续模式 75.8ms，13.2Hz (典型值)，当为两个远程通道都选择二极管模式；77.5ms，12.9Hz (典型值)，当为一个远程通道启用 TruTherm 模式时。 01：每 182ms 转换一次，5.5Hz (典型值) 10：每 1 秒转换一次，1Hz (典型值) 11：每 2.7 秒转换一次，0.37Hz (典型值) 注意：通常情况下，选择二极管模式时，远程二极管转换需要 30ms；选择 TruTherm 模式时，转换额外需要 1.7ms；本地转换需要 15.8ms。
3	保留	读取时报告“0”。
2	远程 2 数据格式 (R2DF)	逻辑 0：无符号温度格式 (0°C 至 +255.875°C) 逻辑 1：有符号温度格式 (-128°C 至 +127.875°C)
1	远程 1 数据格式 (R1DF)	逻辑 0：无符号温度格式 (0°C 至 +255.875°C) 逻辑 1：有符号温度格式 (-128°C 至 +127.875°C)
0	保留	读取时报告“0”。

上电时默认所有位均为“0”(零)

## 7.4 远程二极管滤波器控制寄存器

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	0	0	0	R2FE	0	R1FE

位	名称	说明
7-3	保留	读取时报告“0”。
2	远程 2 滤波器使能 (R2FE)	0：滤波器关闭 1：噪声滤波器开启
1	保留	读取时报告“0”。
0	远程 1 滤波器使能 (R1FE)	0：滤波器关闭 1：噪声滤波器开启

上电默认值为 05h。

## 7.5 远程二极管模型类型选择寄存器

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	0	0	0	R2MS	0	R1MS

位	名称	说明
7-3	保留	读取时报告“0”。
2	远程二极管 2 模型选择 (R2MS)	0：2N3904 模型 ( 确保 TruTherm 模式已禁用 ) 1：采用 90nm 工艺的 Pentium 4 处理器 ( 确保 TruTherm 模式已启用 ) 上电默认值为 0。
1	保留	读取时报告“0”。
0	远程二极管 1 模型选择 (R1MS)	0：2N3904 模型 ( 确保 TruTherm 模式已禁用 ) 1：采用 90nm 工艺的 Pentium 4 处理器 ( 确保 TruTherm 模式已启用 ) 上电默认值为 1。

上电默认值为 01h。

## 7.6 远程 TruTherm 模式控制

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
保留	R2M2	R2M1	R2M0	保留	R1M2	R1M1	R1M0

位	说明
7	保留
6-4	R2M2:R2M0
3	保留
2-0	R1M2:R1M0

说明
必须保留为 0。
000：远程 2 TruTherm 模式禁用；在测量 MMBT3904 晶体管时使用 001：远程 2 TruTherm 模式启用；在测量处理器时使用 111：远程 2 TruTherm 模式启用；测量处理器时使用 请注意，所有其他代码会提供未指定的结果，不应使用。
必须保留为 0。
000：远程 1 TruTherm 模式禁用；在测量 MMBT3904 晶体管时使用 001：远程 1 TruTherm 模式启用；在测量处理器时使用 111：远程 1 TruTherm 模式启用；测量处理器时使用 请注意，所有其他代码会提供未指定的结果，不应使用。

上电默认值为 01h。

## 7.7 本地和远程 MSB 与 LSB 温度寄存器

### 7.7.1 本地温度 MSB

(只读地址 10h) 9 位带符号格式：

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
值	SIGN	64	32	16	8	4	2	1

温度数据：LSb = 1°C。

### 7.7.2 本地温度 LSB

(只读地址 20h) 9 位带符号格式：

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
值	0.5	0.25	0	0	0	0	0	0

温度数据：LSb = 0.25°C。

### 7.7.3 远程温度 MSB

(只读地址 11h、12h) 10 位带符号格式：

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
值	SIGN	64	32	16	8	4	2	1

温度数据：LSb = 1°C。

(只读地址 11h、12h) 11 位无符号格式：

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
值	128	64	32	16	8	4	2	1

温度数据：LSb = 1°C。

### 7.7.4 远程温度 LSB

滤波器开启时 12 位带符号或 13 位无符号二进制格式：

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
值	0.5	0.25	0.125	0	0	0	0	0

温度数据：LSb = 0.125°C 或 1/8°C。

滤波器开启时 12 位带符号或 13 位无符号二进制格式：

位	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
值	0.5	0.25	0.125	0.0625	0.03125	0	0	0

温度数据：LSb = 0.03125°C 或 1/32°C。

为了实现数据同步，如果用户希望读取 MSB 和 LSB 寄存器，则应首先读取 MSB 寄存器。读取 MSB 后，LSB 将被锁定。LSB 将在读取后解锁。如果用户连续读取 MSB，则每次读取 MSB 时，与该温度相关的 LSB 都将锁定并覆盖先前锁定的 LSB 值。

## 7.8 制造商 ID 寄存器

( 读取地址 FEh ) 默认值为 01h。

## 7.9 芯片修订代码寄存器

( 读取地址 FFh ) 默认值为 A1h。每次德州仪器 (TI) 对芯片进行修订时，该寄存器都会递增 1。

## 8 应用和实施

### 备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 元件规范，TI 不担保其准确性和完整性。TI 的客户应负责确定各元件是否适用于其应用。客户应验证并测试其设计实现，以确认系统功能。

### 8.1 应用信息

LM95231 可以像其他集成电路温度传感器一样轻松应用，其远程二极管感应功能也支持新的使用方式。它可以焊接到印刷电路板上，并且由于最佳导热路径位于芯片和引脚之间，因此其温度实际上就是焊接到 LM95231 引脚的印刷电路板焊盘和布线的温度。这里假设环境空气温度几乎与印刷电路板的表面温度相同；如果空气温度远高于或远低于表面温度，LM95231 芯片的实际温度将介于表面温度与空气温度之间的中间温度。同样，主要的热传导路径是通过引线，因此电路板温度对芯片温度的影响远大于空气温度。

要测量 LM95231 芯片的外部温度，请使用远程二极管。该二极管可以位于目标 IC 的芯片上，从而能够独立于 LM95231 的温度来测量 IC 的温度。也可使用分立二极管来感测外部物体或环境空气的温度。请记住，分立二极管的温度将受到影响，并且通常主要受其引脚温度的影响。大多数硅二极管不适合此应用。建议使用 MMBT3904 晶体管基极发射极结并将集电极连接到基极。

LM95231 的 TruTherm 技术可以精确检测集成式热敏二极管，例如处理器上的热敏二极管。在关闭 TruTherm 技术后，LM95231 可以测量与二极管相连的晶体管，例如 MMBT3904。

LM95231 经过优化，可测量 90nm 工艺 Pentium 4 处理器或 MMBT3904 晶体管中集成的远程热敏二极管。使用远程二极管模型选择寄存器，可以将任何一对远程输入分配到 90nm 工艺的 Pentium 4 处理器或 MMBT3904。

### 8.2 典型应用

#### 8.2.1 二极管非理想性

##### 8.2.1.1 二极管非理想因子对精度的影响

当晶体管作为二极管连接时，变量  $V_{BE}$ 、 $T$  和  $I_F$  具有以下关系：

$$I_F = I_S \times \left[ e^{\left[ \frac{V_{BE}}{\eta \times V_t} \right]} - 1 \right] \quad (1)$$

其中

- $V_t = \frac{kT}{q}$
- $q = 1.6 \times 10^{-19}$  库仑（电子电荷）；
- $T$  = 以开尔文为单位的绝对温度
- $k = 1.38 \times 10^{-23}$  焦耳/K（玻尔兹曼常数）；
- $\eta$  是二极管制造工艺的非理想因子；
- $I_S$  = 饱和电流，与工艺相关；
- $I_F$  = 流经基极发射极结的正向电流
- $V_{BE}$  = 基极发射极压降

在活动区域，-1 项可以忽略不计，可以消除，从而得到以下公式：

$$I_F = I_S \left[ e^{\frac{V_{be}}{\eta V_t}} \right] \quad (2)$$

在方程 2 中， $\eta$  和  $I_S$  取决于制造特定二极管所用的工艺。通过严格控制两个电流的比率( $I_{F2}/I_{F1}$ ) 并测量产生的电压差，可以消除  $I_S$  项。求解正向电压差可得到以下关系：

$$\Delta V_{BE} = \eta \times \frac{K \times T}{q} \times \ln \left( \frac{I_{F2}}{I_{F1}} \right) \quad (3)$$

求解方程 3 可得出温度为：

$$T = \frac{\Delta V_{BE} \times q}{\eta \times k \times \ln \left( \frac{I_{F2}}{I_{F1}} \right)} \quad (4)$$

使用 MMBT3904 等二极管连接的晶体管时，方程 4 适用。当将该“二极管”公式应用于集成二极管时，例如将集电极连接到 GND 的处理器晶体管，如图 8-1 所示，将产生较宽的非理想分布。这种较宽的非理想性分布并不是因为真正的工艺变化引起的，而是由于方程 4 是一种近似计算这一事实。

TruTherm 技术使用晶体管公式方程 5，这是 FPGA 或处理器中热敏二极管拓扑结构的更准确表示。

$$T = \frac{\Delta V_{BE} \times q}{\eta \times k \times \ln \left( \frac{I_{C2}}{I_{C1}} \right)} \quad (5)$$

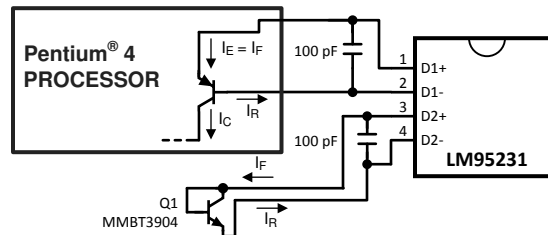


图 8-1. 热敏二极管电流路径

只有在测量图 8-1 处理器中所集成晶体管的温度时，才应启用 TruTherm 技术，因为方程 5 仅适用于此拓扑。

### 8.2.1.2 计算整体系统精度

LM95231 测得的电压还包括串联电阻的  $I_F R_S$  压降。非理想因子  $\eta$  是唯一一个未考虑的参数，具体取决于用于测量的二极管。由于  $\Delta V_{BE}$  与  $\eta$  和  $T$  均成正比，因此无法将  $\eta$  的变化与温度的变化区分开来。由于非理想因子不受温度传感器控制，因此它会直接增加传感器的不准确性。对于 90nm 工艺的 Pentium 4 处理器，当处理器二极管通过假定二极管公式方程 4 成立的电路来测量时，Intel 指定不同器件之间的变化  $\eta$  为 +1.19%/-0.27%。例如，假设温度传感器在 65°C (338 开尔文) 温度下的精度规格为  $\pm 0.75^\circ\text{C}$ ，并且处理器二极管具有 +1.19%/-0.27% 的非理想变化。所感测处理器温度的最终系统精度为：

$$T_{ACC} = \pm 0.75^\circ\text{C} + (338\text{K 的 } +1.19\%) = +4.76^\circ\text{C} \quad (6)$$

和

$$T_{ACC} = \pm 0.75^\circ\text{C} + (338\text{K 的 } -0.27\%) = -1.65^\circ\text{C} \quad (7)$$

TrueTherm 技术使用晶体管公式方程 5，从而产生非理想分布，这真正反映了非常小的工艺变化。对于 90nm 工艺上的 Pentium 4 处理器，晶体管公式的非理想分布为  $\pm 0.1\%$ 。使用 TruTherm 技术时的精度可提高到：

$$T_{ACC} = \pm 0.75^\circ\text{C} + (338\text{K 的 } \pm 0.1\%) = \pm 1.08^\circ\text{C} \quad (8)$$



接下来要讨论的误差项是由于热敏二极管和印刷电路板布线的串联电阻引起的。大多数处理器数据表中都指定了热敏二极管串联电阻。对于 90nm 工艺的 Pentium 4 处理器，该电阻的典型值为 3.33 Ω。LM95231 可适应 90nm 工艺 Pentium 4 处理器的典型串联电阻。未考虑的误差是 Pentium 的串联电阻分布，即 3.242 Ω 至 3.594 Ω 或 +0.264 Ω 至 -Ω 0.088 Ω。LM95231 串联电阻 (T<sub>ER</sub>) 引起的温度误差的计算公式很简单：

$$T_{ER} = R_{PCB} \times 0.62^{\circ}\text{C}/\Omega \tag{9}$$

在 R<sub>PCB</sub> 等于 +0.264 Ω 和 -0.088 Ω 的情况下，求解 [方程式 9](#) 会得到串联电阻分布导致的额外误差为 +0.16°C 至 -0.05°C。误差分布无法消除，因为这需要测量每个单独的热敏二极管器件。在大批量生产环境中，这非常困难且不切实际。

[方程式 9](#) 还可用于计算由印刷电路板上串联电阻引起的额外误差。由于 PCB 串联电阻的变化很小，因此该误差项大部分始终为正，只需从 LM95231 的输出读数中减去该误差项即可将其消除。

处理器系列	二极管公式 $\eta_D$ , 非理想性			串联 R
	min	典型值	max	
Pentium III CPUID 67h	1	1.0065	1.0125	
Pentium III CPUID 68h/PGA370Socket/ Celeron	1.0057	1.008	1.0125	
Pentium 4, 423 引脚	0.9933	1.0045	1.0368	
Pentium 4, 478 引脚	0.9933	1.0045	1.0368	
采用 0.13 微米工艺的 Pentium 4, 2GHz 至 3.06GHz	1.0011	1.0021	1.0030	3.64 Ω
采用 90nm 工艺的 Pentium 4	1.0083	1.011	1.023	3.33 Ω
Pentium M 处理器 (Centrino)	1.00151	1.00220	1.00289	3.06 Ω
MMBT3904		1.003		
AMD Athlon MP 型号 6	1.002	1.008	1.016	
AMD Athlon 64	1.008	1.008	1.096	
AMD Opteron	1.008	1.008	1.096	
AMD Sempron		1.00261		0.93Ω

### 8.2.1.3 补偿不同的非理想性

为了补偿由非理想性引入的误差，温度传感器针对特定处理器进行了校准。德州仪器 (TI) 的温度传感器始终根据给定处理器类型的典型非理想性和串联电阻进行了校准。LM95231 针对两个非理想因子和串联电阻值进行了校准，从而无需额外调整即可支持 MMBT3904 晶体管和 90nm 工艺的 Pentium 4 处理器。要获得更精确的测量结果，在采用 90nm 工艺的 Pentium 4 处理器上进行测量时，应打开 TruTherm 模式，以更大限度地减小非理想分布所引入的误差（请参阅节 8.2.1.1）。当将针对特定处理器类型进行校准的温度传感器与不同类型的处理器搭配使用时，会引入额外的误差。

通过使用软件校准，与不同处理器类型的非理想性相关的温度误差在所关注的特定温度范围内可能有所减少。典型的非理想性规格差异会导致传递函数的增益变化，因此目标温度范围的中心应当是目标温度以进行校准。以下公式可用于计算对与 LM95231 所支持不同的目标非理想性进行补偿所需的温度校正因数 ( $T_{CF}$ )。

$$T_{CF} = [(\eta_S - \eta_{Processor}) \div \eta_S] \times (T_{CR} + 273K) \quad (10)$$

其中

- $\eta_S$  = LM95231 精度规格非理想性
- $\eta_T$  = 目标热敏二极管典型非理想性
- $T_{CR}$  = 目标温度范围中间的温度 (°C)

方程式 10 的校正因数应直接添加到 LM95231 生成的温度读数中。例如，使用 LM95231 并选择 3904 模式时，若要测量典型非理想性为 1.008 的 AMD Athlon 处理器，对于 60°C 到 100°C 的温度范围，校正因数将计算为：

$$T_{CF} = [(1.003 - 1.008) \div 1.003] \times (80 + 273) = -1.75^\circ\text{C} \quad (11)$$

因此，应从 LM95231 的温度读数中减去 1.75°C，以补偿不同的典型非理想目标。

## 9 布局

### 9.1 尽可能降低噪声的 PCB 布局

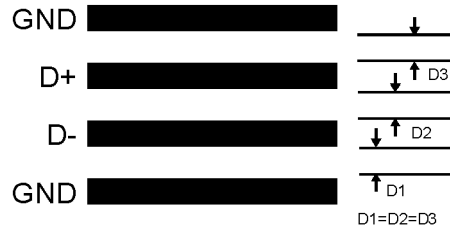


图 9-1. 理想二极管布线布局

在处理器主板等高噪声环境中，布局注意事项非常关键。远程温度二极管传感器和 LM95231 之间布线上产生的噪声可能会导致温度转换错误。请记住，LM95231 尝试测量的信号电平以微伏为单位。应遵循以下指导原则：

1.  $V_{DD}$  应使用与 100pF 并联的 0.1 $\mu$ F 电容器旁路。100pF 电容器应尽量靠近电源引脚放置。LM95231 附近需要放置一个大约 10 $\mu$ F 的大容量电容器。
2. 建议使用 100pF 二极管旁路电容器来滤除高频噪声，但可能不是必需的。确保到 100pF 电容器的布线是匹配的。将滤波电容器靠近 LM95231 引脚放置。
3. 理想情况下，LM95231 应置于距离处理器二极管引脚 10cm 的范围内，布线应尽可能平直、短且相同。1  $\Omega$  的布线电阻可能导致高达 0.62 $^{\circ}$ C 的误差。该误差可以通过使用简单的软件偏移补偿进行补偿。
4. 二极管布线的两侧（如果可能的话，上方和下方）应由 GND 保护环包围。该 GND 保护电路不应位于 D+ 和 D- 线路之间。如果噪声确实耦合到二极管线路，那么最好采用耦合共模。这相当于 D+ 和 D- 线路。
5. 避免靠近电源开关或滤波电感器放置二极管布线。
6. 避免靠近或平行于高速数字线路和总线放置二极管布线。二极管布线应与高速数字布线至少保持 2cm 的距离。
7. 如果需要跨越高速数字布线，二极管布线和高速数字布线应以 90 度角交叉。
8. 连接 LM95231 GND 引脚的理想位置是尽可能靠近与检测二极管关联的处理器 GND。
9. D+ 和 GND 之间以及 D+ 和 D- 之间的漏电流应尽可能小。13 纳安的漏电流可能会导致二极管温度读数出现高达 0.2 $^{\circ}$ C 的误差。保持印刷电路板尽可能清洁可以更大限度地减少漏电流。

如果耦合到数字线路的噪声大于 400mVp-p（典型迟滞）且下冲低于 GND 500mV，可能会阻止与 LM95231 成功进行 SMBus 通信。SMBus 不确认是最常见的现象，这会导致总线上出现不必要的流量。尽管 SMBus 的最大通信频率相当低（最大 100kHz），但仍需要注意确保总线上有多个器件且印刷电路板布线较长的系统内实现正确端接。LM95231 的 SMBCLK 输入中包含一个 3db 转角频率约为 40MHz 的 RC 低通滤波器。可以添加额外的电阻与 SMBDAT 和 SMBCLK 线路串联，进一步帮助滤除噪声和振铃。通过将数字布线远离开关电源区域，并确保包含高速数据通信的数字线路与 SMBDAT 和 SMBCLK 线路呈直角交叉，从而更大限度地减少噪声耦合。

## 10 器件和文档支持

TI 提供大量的开发工具。下面列出了用于评估器件性能、生成代码和开发解决方案的工具和软件。

### 10.1 文档支持

#### 10.2 接收文档更新通知

要接收文档更新通知，请导航至 [ti.com](https://www.ti.com) 上的器件产品文件夹。点击 [通知](#) 进行注册，即可每周接收产品信息更改摘要。有关更改的详细信息，请查看任何已修订文档中包含的修订历史记录。

#### 10.3 支持资源

[TI E2E™ 中文支持论坛](#) 是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的 [使用条款](#)。

#### 10.4 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

#### 10.5 静电放电警告



静电放电 (ESD) 会损坏这个集成电路。德州仪器 (TI) 建议通过适当的预防措施处理所有集成电路。如果不遵守正确的处理和安装程序，可能会损坏集成电路。

ESD 的损坏小至导致微小的性能降级，大至整个器件故障。精密的集成电路可能更容易受到损坏，这是因为非常细微的参数更改都可能会导致器件与其发布的规格不相符。

#### 10.6 术语表

[TI 术语表](#) 本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

## 11 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

---

<b>Changes from Revision E (March 2013) to Revision F (January 2024)</b>	<b>Page</b>
--	-------------

---

- 更新了格式以匹配新的 TI 布局和流程。整个文档中的表、图和交叉参考使用新的编号顺序..... 1
- 

---

<b>Changes from Revision D (August 2006) to Revision E (March 2013)</b>	<b>Page</b>
---	-------------

---

- 已将国家数据表的版面布局更改为 TI 格式..... 1
- 

## 12 机械、封装和可订购信息

下述页面包含机械、封装和订购信息。这些信息是指定器件可用的最新数据。数据如有变更，恕不另行通知，且不会对此文档进行修订。有关此数据表的浏览器版本，请查阅左侧的导航栏。

**PACKAGING INFORMATION**

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead finish/ Ball material (6)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4/5)	Samples
LM95231BIMM-1/NOPB	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	1000	RoHS & Green	SN	Level-1-260C-UNLIM	0 to 85	T25B	<a href="#">Samples</a>
LM95231CIMM-1/NOPB	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	1000	RoHS & Green	SN	Level-1-260C-UNLIM	0 to 85	T25C	<a href="#">Samples</a>
LM95231CIMM-2/NOPB	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	1000	RoHS & Green	SN	Level-1-260C-UNLIM	0 to 85	T26C	<a href="#">Samples</a>
LM95231CIMMX/NOPB	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	3500	RoHS & Green	SN	Level-1-260C-UNLIM	0 to 85	T23C	<a href="#">Samples</a>

(1) The marketing status values are defined as follows:

**ACTIVE:** Product device recommended for new designs.

**LIFEBUY:** TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

**NRND:** Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

**PREVIEW:** Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

**OBSOLETE:** TI has discontinued the production of the device.

(2) **RoHS:** TI defines "RoHS" to mean semiconductor products that are compliant with the current EU RoHS requirements for all 10 RoHS substances, including the requirement that RoHS substance do not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, "RoHS" products are suitable for use in specified lead-free processes. TI may reference these types of products as "Pb-Free".

**RoHS Exempt:** TI defines "RoHS Exempt" to mean products that contain lead but are compliant with EU RoHS pursuant to a specific EU RoHS exemption.

**Green:** TI defines "Green" to mean the content of Chlorine (Cl) and Bromine (Br) based flame retardants meet JS709B low halogen requirements of <=1000ppm threshold. Antimony trioxide based flame retardants must also meet the <=1000ppm threshold requirement.

(3) MSL, Peak Temp. - The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

(4) There may be additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category on the device.

(5) Multiple Device Markings will be inside parentheses. Only one Device Marking contained in parentheses and separated by a "-" will appear on a device. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire Device Marking for that device.

(6) Lead finish/Ball material - Orderable Devices may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead finish/Ball material values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

**Important Information and Disclaimer:**The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and

continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

**TAPE AND REEL INFORMATION**

**QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE**


\*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
LM95231BIMM-1/NOPB	VSSOP	DGK	8	1000	178.0	12.4	5.3	3.4	1.4	8.0	12.0	Q1
LM95231CIMM-1/NOPB	VSSOP	DGK	8	1000	178.0	12.4	5.3	3.4	1.4	8.0	12.0	Q1
LM95231CIMM-2/NOPB	VSSOP	DGK	8	1000	178.0	12.4	5.3	3.4	1.4	8.0	12.0	Q1
LM95231CIMMX/NOPB	VSSOP	DGK	8	3500	330.0	12.4	5.3	3.4	1.4	8.0	12.0	Q1



**TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS**


\*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
LM95231BIMM-1/NOPB	VSSOP	DGK	8	1000	208.0	191.0	35.0
LM95231CIMM-1/NOPB	VSSOP	DGK	8	1000	208.0	191.0	35.0
LM95231CIMM-2/NOPB	VSSOP	DGK	8	1000	208.0	191.0	35.0
LM95231CIMMX/NOPB	VSSOP	DGK	8	3500	367.0	367.0	35.0

DGK0008A



# PACKAGE OUTLINE

VSSOP - 1.1 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



4214862/A 04/2023

NOTES:

PowerPAD is a trademark of Texas Instruments.

1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. This dimension does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.15 mm per side.
4. This dimension does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0.25 mm per side.
5. Reference JEDEC registration MO-187.

# EXAMPLE BOARD LAYOUT

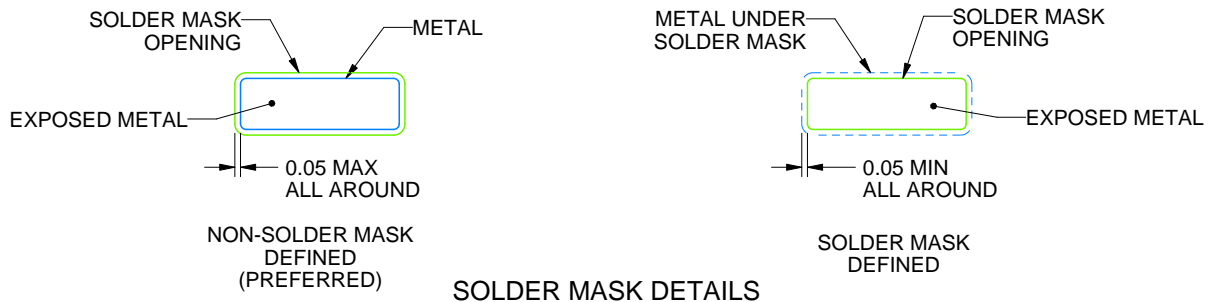
DGK0008A

™ VSSOP - 1.1 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



LAND PATTERN EXAMPLE  
EXPOSED METAL SHOWN  
SCALE: 15X



4214862/A 04/2023

NOTES: (continued)

6. Publication IPC-7351 may have alternate designs.
7. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.
8. Vias are optional depending on application, refer to device data sheet. If any vias are implemented, refer to their locations shown on this view. It is recommended that vias under paste be filled, plugged or tented.
9. Size of metal pad may vary due to creepage requirement.

# EXAMPLE STENCIL DESIGN

DGK0008A

<sup>TM</sup> VSSOP - 1.1 mm max height

SMALL OUTLINE PACKAGE



SOLDER PASTE EXAMPLE  
SCALE: 15X

4214862/A 04/2023

NOTES: (continued)

11. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.
12. Board assembly site may have different recommendations for stencil design.

## 重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司