

MPU-9250

产品中文说明书

1.0 版

目录

1. 产品信息.....	4
1.1 版本历史.....	4
1.2 文档说明.....	5
1.3 产品概述.....	5
1.4 应用领域.....	5
2 特性	6
2.1 陀螺仪特性.....	6
2.2 加速度特性.....	6
2.3 电子罗盘特性.....	6
2.4 其他特性.....	7
2.5 应用建议.....	7
3 电气特性.....	8
3.1 陀螺仪参数.....	8
3.2 加速度参数.....	9
3.3 磁力计参数.....	10
3.4 电气特性.....	11
3.4.1 D.C.电气特性	11
3.4.2 A.C.电气特性	12
3.4.3 其他特性.....	14
3.5 I2C 时序特性	15
3.6 SPI 时序特性.....	16
4 使用说明.....	19
4.1 引脚功能说明.....	19
4.2 典型电路.....	20
4.3 周围电路元器件清单.....	20
4.4 内部框图.....	21
4.5 概述	22
4.6 16 位 ADC 三轴陀螺仪信号输出及调理.....	22
4.7 16 位 ADC 三轴加速度信号输出及调理.....	22
4.8 16 位 ADC 三轴磁力计信号输出及调理.....	22
4.9 运动数字处理引擎 (DMP)	23
4.10 主 I2C 及 SPI 通信.....	23
4.11 辅助 I2C 芯片通讯	23
4.12 自检模式.....	24
4.13 MPU-250 I2C 通信解决方案	25
4.14 MPU-9250 SPI 通信解决方案.....	26
4.15 时钟方案.....	26
4.16 数据寄存器.....	27
4.17 FIFO 数据缓存区	27
4.18 中断功能.....	27

4.19	温度数字输出.....	28
4.20	稳压偏置.....	28
4.21	电荷泵.....	28
4.22	标准供能方案.....	28
4.23	电源和复位规则.....	28
5	硬件新技术.....	29
6	可编程中断.....	30
6.1	运动唤醒中断.....	30
7	数字接口.....	32
7.1	I2C 和 SPI 接口.....	32
7.2	I2C 通信	32
7.3	I2C 通信协议	32
7.4	I2C 符号说明	34
7.5	SPI 通讯协议.....	35
8	串行接口.....	36
8.1	I2C 使用方案	36
9	封装	37
9.1	轴定位.....	37
10	封装号	39
11	产品测试.....	40
11.1	质量测试标准.....	40
11.2	测试方案.....	40
12	参考说明.....	41

1. 产品信息

1.1 版本历史

时间	版本	描述
12/23/14	1.0	首款 9 轴中文资料 V1.0 版, 翻译 V1.0 版 MPU9250 英文资料, 造福广大 9 轴中文开发及爱好者

？ 翻译者的话

本次的翻译为 V1.0 翻译第一版, 可能某些地方翻译不是很准确。

如果您有疑议, 请发意见或建议至 terminaterfxy@hotmail.com

或者在新浪微博私信 [出迷者](#)。本人将做不定期的更新。如果有新

版本放出, 将通过微博通知, 其他方式赎不通知。感谢支持。

说明: 与此文档配套的还有 MPU-9250 寄存器手册中文版。

1.2 文档说明

本说明书只提供基础的产品设计及规格设计的信息。本芯片采用 QFN 封装, 封装大小只有 3X1mm。

若产品规格发生改变, 恕不另行通知。最终效果取决于产品特性。若想查看寄存器, 请查阅寄存器文档。

1.3 产品概述

MPU9250 是一个 QFN 封装的复合芯片 (MCM), 它由 2 部分组成。一组是 3 轴加速度还有 3 轴陀螺仪, 另一组则是 AKM 公司的 AK8963 3 轴磁力计。所以, MPU9250 是一款 9 轴运动跟踪装置, 他在小小的 3X3X1mm 的封装中融合了 3 轴加速度, 3 轴陀螺仪以及数字运动处理器 (DMP) 并且兼容 MPU6515。其完美的 I2C 方案, 可直接输出 9 轴的全部数据。一体化的设计, 运动性的融合, 时钟校准功能, 让开发者避开了繁琐复杂的芯片选择和外设成本, 保证最佳的性能。本芯片也为兼容其它传感器开放了辅助 I2C 接口, 比如连接压力传感器。

MPU9250 的具有三个 16 位加速度 AD 输出, 三个 16 位陀螺仪 AD 输出, 三个 6 位磁力计 AD 输出。精密的慢速和快速运动跟踪, 提供给客户全量程的可编程陀螺仪参数选择 (± 250 , ± 500 , ± 1000 , and ± 2000 °/秒 (dps)), 可编程的加速度参数选择 $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, $\pm 16g$, 以及最大磁力计可达到 $\pm 4800\mu T$ 。

其他业界领先的功能还有可编程的数字滤波器, 40–85°C 时带高精度的 1% 的时钟漂移, 嵌入了温度传感器, 并且带有可编程中断。该装置提供 I2C 和 SPI 的接口, 2.4–3.6V 的供电电压, 还有单独的数字 I/O 口, 支持 1.71V 到 VDD。

通信采用 400KHz 的 I2C 和 1MHz 的 SPI, 若需要更快的速度, 可以用 SPI 在 20MHz 的模式下直接读取传感器和中断寄存器。

采用 CMOS-MEMS 的制作平台, 让传感器以低成本的高性能集成在一个 3x3x1mm 的芯片内, 并且能承受住 10,000g 的震动冲击。

1.4 应用领域

无需触碰操作的技术

手势控制

体感游戏控制器

位置查找服务

手机等便携式游戏设备

PS4 或 XBOX 等游戏手柄控制器

3D 电视遥控器或机顶盒, 3D 鼠标

可穿戴的健康智能设备

2 特性

2.1 陀螺仪特性

三轴陀螺仪的特性:

用户可编量程 (± 250 , ± 500 , ± 1000 度/秒) 三轴 (x, y, z) 16 位 ADC 角速度数字输出

可编程数字低通滤波

陀螺仪工作电流: 3.2mA

休眠模式电流: 8uA

出厂灵敏度校准

自我检测

2.2 加速度特性

三轴加速度计的特性:

用户可编量程 ($\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, $\pm 16g$) 三轴 16 位 ADC 加速度数字输出

加速度计正常工作电流: 450uA

低功耗模式电流: 0.98Hz---8.4uA 31.25Hz----19.8uA

休眠模式电流: 8uA

用户可编程中断

运动中断唤醒功能

自我检测

2.3 电子罗盘特性

磁场计的特性:

3 轴单片霍尔传感器

大量程低功耗高精度

14 位 (0.6uT/LSB) 和 16 位 (15uT/LSB) 的分辨率输出

最大 $\pm 4800\mu T$ 的测量范围

磁力计的正常电流: 280uA—8Hz

内部自我检测功能

2.4 其他特性

MPU250 包含以下的额外特性:

辅助 I2C 总线可读外部其他传感器 (比如读取气压传感器)

9 轴和 DMP 开始工作时耗电 3.5mA

VDD 供电电压范围 2.4-3.6V

VDDIO 为辅助 I2C 设备提供参考电压

目前最薄最小 QFN 设备: 3x3x1mm

最小的 9 轴交叉轴传感器

512 字节的 FIFO 数据缓冲区

数字温度传感器

可编程的数字滤波器

10, 000g 防震

全寄存器 I2C 通信最快达到 400KHz

全寄存器 SPI 通讯达到 1MHz

20MHz 的 SPI 读取速度并带中断寄存器

MEMS 结构晶圆级密封

符合 RoHS 绿色环保要求

2.5 应用建议

内部自带的运动处理器可以做运动处理。可编程中断可以用来做低功耗的手势识别。

可以单独开启低功耗 DMP 记步器而让主机休眠。

3 电气特性

3.1 陀螺仪参数

典型工作电路请参阅 4.2 章节, VDD =2.5V, VDDIO=2.5V, TA=25℃, 除非另外说明。

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
全部量程	FS_SEL=0		±250		°/s
	FS_SEL=1		±500		°/s
	FS_SEL=2		±1000		°/s
	FS_SEL=3		±2000		°/s
陀螺仪字长			16		Bits
灵敏度	FS_SEL=0		131		LSB/(°/s)
	FS_SEL=1		65.5		LSB/(°/s)
	FS_SEL=2		32.8		LSB/(°/s)
	FS_SEL=3		16.4		LSB/(°/s)
灵敏度测试温度	25℃		±3		%
灵敏度适用温度范围	-40℃--- +85℃		±4		%
非线性	25℃时最接近直线		±0.1		%
交叉轴灵敏度			±2		%
ZEO 差	25℃		±5		°/s
ZEO 温度变化范围	-40℃ 到+85℃		±30		°/s
RMS 噪声	DLPFCFG=2 (92 Hz)		0.1		°/s-rms
噪声密度			0.01		°/s/√Hz
陀螺仪采样频率		25	27	29	KHz
低通滤波响应	可编程范围	5		250	Hz
陀螺仪启动时间	睡眠模式		35		ms
输出速率	可编程, 正常模式	4		8000	Hz

表 1 陀螺仪规格

3.2 加速度参数

典型工作电路请参阅 4.2 章节, VDD = 2.5V, VDDIO = 2.5V, TA = 25°C, 除非另外说明。

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
全部量程	AFS_SEL=0		±2		g
	AFS_SEL=1		±4		g
	AFS_SEL=2		±8		g
	AFS_SEL=3		±16		g
陀螺仪字长			16		Bits
灵敏度	AFS_SEL=0		16,384		LSB/g
	AFS_SEL=1		8,192		LSB/g
	AFS_SEL=2		4,096		LSB/g
	AFS_SEL=3		2,048		LSB/g
灵敏度测试温度	25°C		±3		%
灵敏度适用温度范围	-40°C --- +85°C		±0.026		%/°C
非线性	25°C 时最接近直线		±0.5		%
交叉轴灵敏度			±2		%
ZEO 差	25°C		±60		°/s
ZEO 温度变化范围	-40°C 到 +85°C		±80		°/s
RMS 噪声	DLPFCFG=2 (94 Hz)		±1.5		°/s-rms
噪声密度			0.01		°/s/√Hz
低通滤波响应	可编程范围	5		250	Hz
灵敏度智能调节			4		mg/LSB
加速度仪启动时间	睡眠模式		20		ms
	冷启动, 1msVdd 起跳		30		ms
输出速率	低功耗 (循环)	0.24		500	Hz
	循环, 过载		±15		%
	低噪	4		4000	Hz

表 2 加速度规格

3.3 磁力计参数

典型工作电路请参阅 4.2 章节, VDD =2.5V, VDDIO=2.5V, TA=25℃, 除非另外说明。

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
磁力计					
测量范围			±4800		uT
ADC 字长			14		Bits
灵敏度值			0.6		uT/LSB
零点输出					
初始偏差			±500		LSB

3.4 电气特性

3.4.1 D.C.电气特性

典型工作电路请参阅 4.2 章节, VDD =2.5V, VDDIO=2.5V, TA=25℃, 除非另外说明。

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位	说明
电源电压						
VDD		2.4	2.5	3.6	V	
VDDIO		1.71	1.8	VDD	V	
电源电流						
正常模式	9 轴, 1kHz 陀螺仪, 4kHz 加速度, 8Hz 磁力速率		3.7		mA	
	6 轴, 1kHz 陀螺仪, 4kHz 加速度		3.4		mA	
	3 轴加速度, 1kHz ODR		3.2		mA	
	6 轴(加速度+磁力计), 加速度和磁力更新速率 8kHz		730		uA	
	3 轴加速度, 4kHz ODR		450		uA	
	3 轴磁力计, 8Hz 更新速率		280		uA	
加速度计 低功耗模式 (其余功能不可用)	0.98Hz 的更新速率		8.4		uA	
	31.25Hz 更新速率		19.8		uA	
空闲状态			8		uA	
温度范围						
温度范围	超出范围参数不再适用	-40		85	℃	

表 3 D. C. 电气特性

说明:

- 低功耗模式支持的输出速率: 0.24, 0.49, 0.98, 1.95, 3.91, 7.81, 15.63, 31.25, 62.50, 125, 250, 500Hz. 电

流消耗计算方式:

$$\text{电流 (uA)} = \text{休眠模式电流} + \text{更新速率} \times 0.376$$

3.4.2 A.C.电气特性

典型工作电路请参阅 4.2 章节, VDD =2.5V, VDDIO=2.5V, TA=25℃, 除非另外说明。

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
起跳时间	直接起跳,速率是最终值的 10%-90%	0.1		100	ms
使用温度范围	周围环境	-40		85	℃
灵敏度			333.87		LSB/℃
偏移	21℃		0		LSB
起跳时间 (T _{RAMP})	有效功率-复位	0.01	20	100	ms
寄存器读启动时间	上电-上升沿		11	100	ms
I2C 地址	AD0=0 AD0=1		1101000 1101001		
V _{IH} 高电平输入		0.7*VDDIO			V
V _{IL} 低电平输入				0.3*VDDIO	V
C _i 输入电容			<10		pF
V _{OH} 高电平输出	R _{LOAD} =1MΩ;	0.9*VDDIO			V
V _{OL1} 低电平输出	R _{LOAD} =1MΩ;			0.1*VDDIO	V
V _{OLINT1} 中断低电平输出	OPEN=1,0.3mA 灌电流			0.1	V
漏极输出电流	OPEN=1		100		nA
t _{INT} 中断脉宽时间	LATCH_INT_EN=0			10	μs
V _{IL} 低电平输入		-0.5V		0.3*VDDIO	V
V _{IH} 高电平输入		0.7*VDDIO		VDDIO+0.5V	V
V _{hys} 迟滞电压			0.1*VDDIO		V
V _{OL} 低电平输出电压	3mA 灌电流	0		0.4	V
I _{OL} 低电平输出电流	V _{OL} =0.4V V _{OL} =0.6V		3 6		mA mA
V _{hys} 漏极电流输出			100		nA
V _{OL1} 低电平电压输出	VDDIO > 2V; 1mA 灌电流	0		0.4	V
V _{OL3} 低电平电压输出	VDDIO > 2V; 1mA 灌电流	0		0.2*VDDIO	V
I _{OL} 低电平电流输出	V _{OL} = 0.4V V _{OL} = 0.6V		3 6		mA mA
漏极电流输出			100		nA
t _{of} V _{IHmax} 到 V _{ILmax} 下降沿时间	C _b 总线电容值 pF	20+0.1C _b		250	ns
采样率	Fchoice=0,1,2 SMPLRT_DIV=0		32		kHz
	Fchoice=3; DLPFCFG=0 or 7 SMPLRT_DIV=0		8		kHz
	Fchoice=3; DLPFCFG=1,2,3,4,5,6;		1		kHz

	SMPLRT_DIV=0				
时钟频率误差	CLK_SEL=0, 6; 25°C	-2		+2	%
	CLK_SEL=1,2,3,4,5; 25°C	-1		+1	%
超过温度后时钟频率误差	CLK_SEL=0,6	-10		+10	%
	CLK_SEL=1,2,3,4,5		±1		

表 4 A. C. 电气特性

3.4.3 其他特性

典型工作电路在 4.2 章节, VDD =2.5V, VDDIO=2.5V, TA=25℃, 除非另外说明。

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
SPI 读取操作全部寄存器速率	低速读写		100 ±10%		KHz
	高速读写		1 ±10%		MHz
SPI 只读中断寄存器速率			20 ±10%		MHz
I2C 操作频率	全寄存器, 快速模式			400	KHz
	全寄存器, 标准模式			100	KHz

表 5 其他特性

3.5 I2C 时序特性

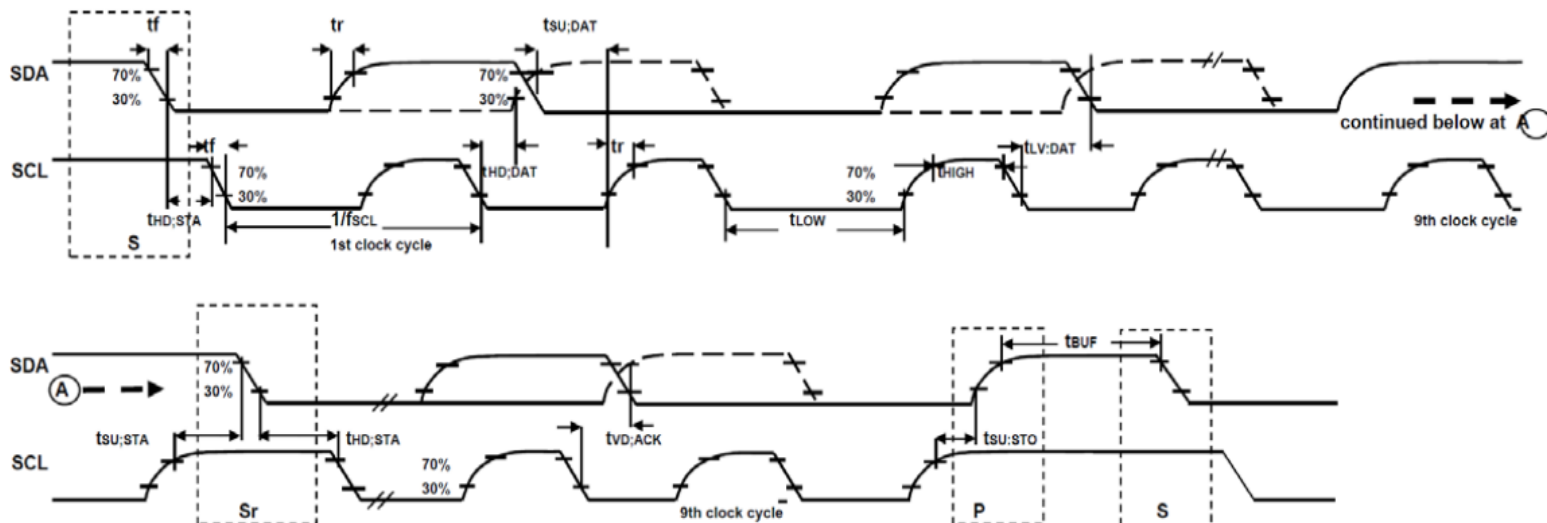
典型工作电路请参阅 4.2 章节, $V_{DD}=2.4-3.6V$, $V_{DDIO}=1.7V-V_{DD}$, $T_A=25^{\circ}C$, 除非另外说明。

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位	说明
I2C 时序	I2C 快速模式					
f_{SCL} SCLK 时钟频率				400	kHz	
$t_{HD,STA}$ 开始 等待时间		0.6			μs	
$t_{LOW,SCL}$ 低电平时长		1.3			μs	
$t_{HIGH,SCL}$ 高电平时长		0.6			μs	
$t_{SU,STA}$ 开始 设置时间		0.6			μs	
$t_{HD,DAT}$ SDA 数据保持时长		0			μs	
$t_{SU,DAT}$ SDA 数据设置时长		100			ns	
t_r SDA SCL 上升沿时间	C_b 总线电容值 10-400pF	$20+0.1C_b$		300	ns	
t_f SDA SCL 下降沿时间						
$t_{SU,STO}$ 停止设置时间		0.6			μs	
t_{BUF} 总线空余时间		1.3			μs	
C_b 各总线负载电容			<400		pF	
$t_{VD,DAT}$ 数据有效期				0.9	μs	
$t_{VD,ACK}$ 数据确认时间				0.9	μs	

表 6 I2C 时序特性

说明:

时序特性适用于主从 I2C 模式
温度电压等特性与使用环境等有关



I2C 时序逻辑

3.6 SPI 时序特性

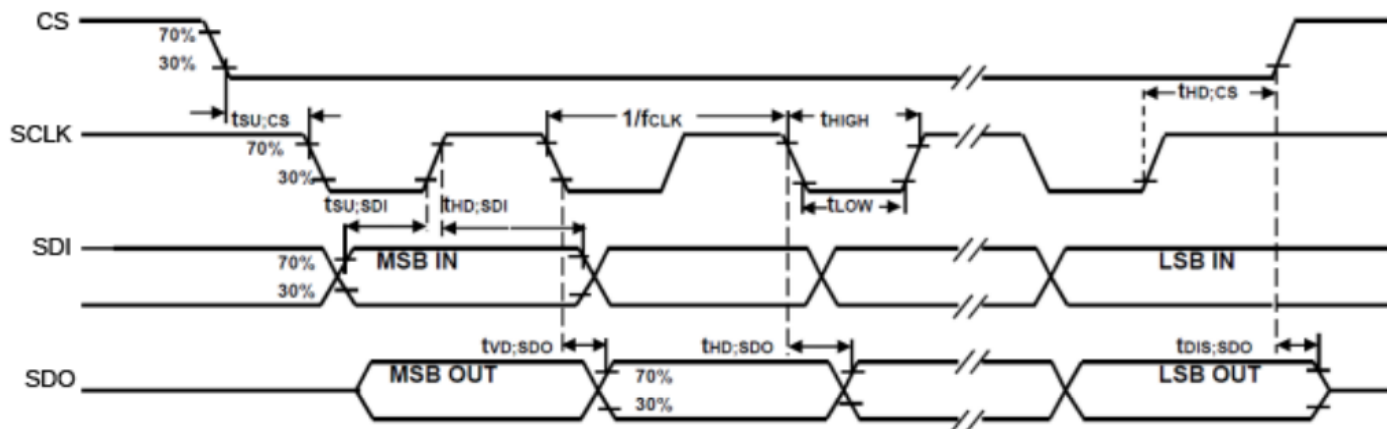
典型工作电路在 4.2 章节, $V_{DD} = 2.4-3.6V$, $V_{DDIO} = 1.7V-V_{DD}$, $T_A = 25^{\circ}C$, 除非另外说明。

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位	说明
SPI 时序						
f_{SCLK} SCLK 时钟频率				1	MHz	
$t_{LOW}SCLK$ 低电平		400			ns	
$t_{HIGH}SCLK$ 高电平		400			ns	
$t_{SU,CS}$ CS 等待准备时间		8			ns	
$t_{HD,CS}$ CS 持续等待时长		500			ns	
$t_{SU,SDI}$ SDI 等待准备时长		11			ns	
$t_{HD,SDI}$ SDI 持续等待时长		7			ns	
$t_{VD,SDO}$ SDO 有效时长	$C_{load} = 20pF$			100	ns	
$t_{HD,SDO}$ SDO 持续时长	$C_{load} = 20pF$	4			ns	
$t_{DIS,SDO}$ SDO 无效输出时间				50	ns	

表 7 SPI 时序特性

说明:

温度电压等特性与使用环境相关



SPI 时序特性

3.6.1 $f_{SCLK} = 20MHz$

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
SPI 时序					
f_{SCLK} SCLK 时钟频率		0.9		20	MHz
$t_{LOW}SCLK$ 低电平		-		-	ns
$t_{HIGH}SCLK$ 高电平		-		-	ns

tsu.csCS 准备时长		1			ns
tHD.csCS 持留时间		1			ns
tsu.SDI SDI 准备时长		0			Ns
tHD.SDI SDI 持留时间		1			ns
tVD.SDO SDO 生效时间	Cload = 20pF		25		ns
tDIS.SDO SDO 无效输出				25	ns

表 8 fCLK = 20MHz

说明:

1. 温度电压等特性还与使用环境有关

3.7 最大额定值

大于这些最大额定值很可能会造成芯片永久性损坏。并且在这种极限条件下很可能会毁坏芯片本身，更别说测到的准确数据了。

参数	符号	条件	最小值	最大值	单位
电压输入	VDD		-0.5	4.0	V
	VDDIO		-0.5	4.0	V
加速度		全轴 0.2ms 持续时长		10,000	g
温度		工作	-40	105	°C
		储能	-40	125	°C
静电耐压		人体放电	2		KV
		电子设备放电	250		V

4 使用说明

4.1 引脚功能说明

引脚号	引脚名	引脚功能
1	RESV	连接 VDDIO
7	AUX_CL	给从 I2C 设备提供主时钟
8	VDDIO	数字 I/O 口供电
9	AD0 / SDO	I2C 从机 LSB(AD0)地址;SPI 串口数据输出(SDO)
10	REGOUT	调节器引脚, 连接滤波电容
11	FSYNC	数字同步输入帧, 若不用请接地
12	INT	中断数字输出
13	VDD	电压供给端
18	GND	地
19	RESV	啥都别接
20	RESV	接地
21	AUX_DA	连接其他 I2C 设备的主机数据口
22	nCS	片选
23	SCL / SCLK	I2C 模式下的 SCL SPI 模式下的 SCLK
24	SDA / SDI	I2C 模式下的 SDA SPI 模式下的 SDI
2-6, 14-17	NC	什么都别接

表 9 引脚概述

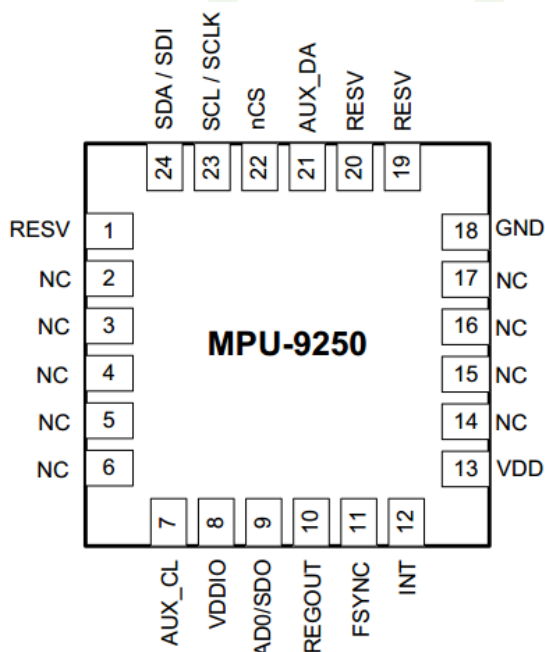


图 1 QFN 封装 MPU9250

4.2 典型电路

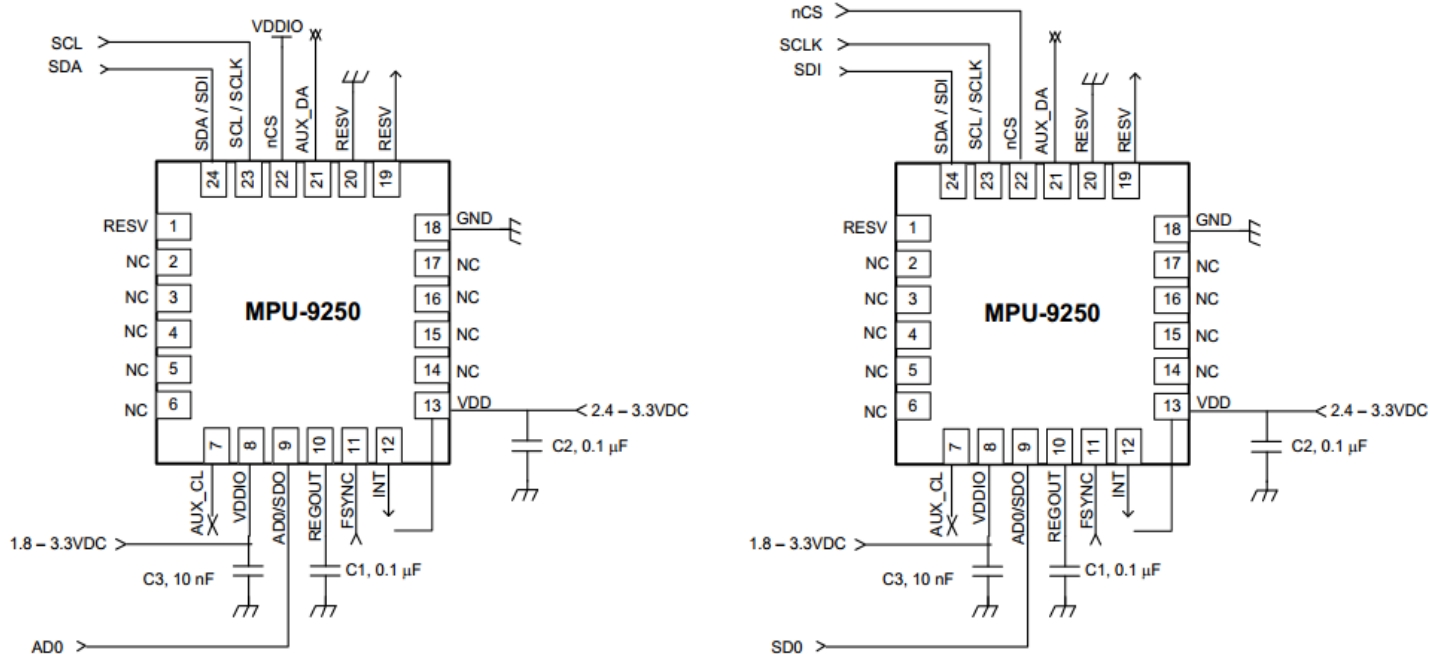


图 2 MPU-9250 典型电路图: (a) I2C 模式 (b) SPI 模式

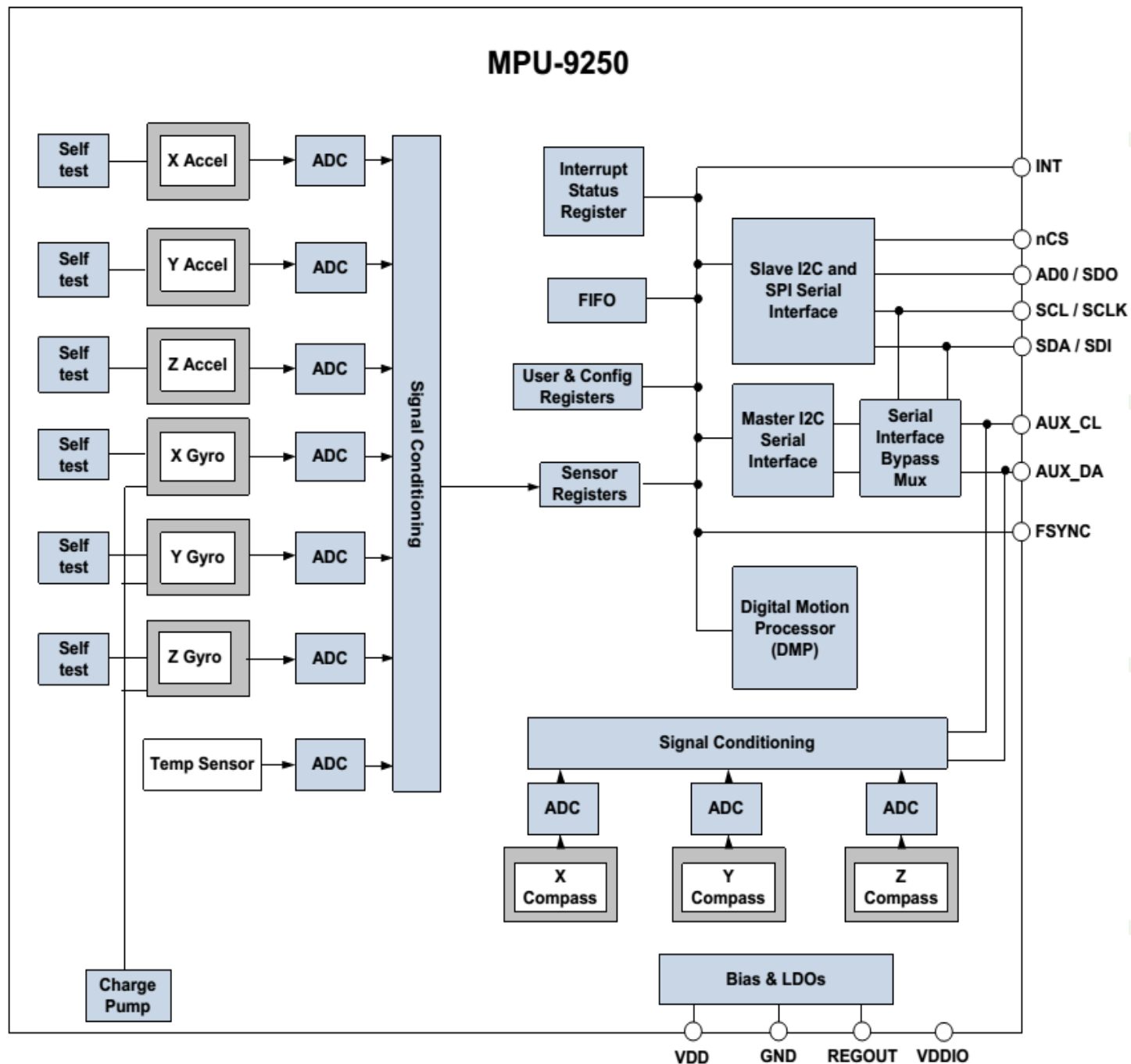
注意 INT 引脚应该接主控芯片的一个 IO 引脚, 以便中断唤醒系统

4.3 周围电路元器件清单

元件	标号	规格	数量
滤波电容	C1	陶瓷, X7R, 0.1 μ F \pm 10%, 2V	1
VDD 旁路电容	C2	陶瓷, X7R, 0.1 μ F \pm 10%, V	1
VDDIO 旁路电容	C3	陶瓷, X7R, 10nF \pm 10%, 4V	1

表 10 元器件清单

4.4 内部框图



4.5 概述

MPU-9250 分为以下的模块和功能:

- 16 位 ADC 三轴陀螺仪信号输出
- 16 位 ADC 三轴加速度信号输出
- 16 位 ADC 三轴磁力计信号输出
- 运动数字处理引擎
- 主 SPI 及 I2C 通信
- 辅助 I2C 芯片通信
- 时钟方案
- 数据寄存器
- FIFO 缓冲区
- 中断功能
- 温度数字输出
- 9 轴均可自我校准
- 稳压偏置
- 电荷泵

4.6 16 位 ADC 三轴陀螺仪信号输出及调理

MPU-9250 陀螺仪是由三个独立检测 X, Y, Z 轴的 MEMS 组成。利用科里奥利效应来检测每个轴的转动 (一旦某个轴发生变化, 相应的电容传感器会发生相应的变化, 产生的信号被放大, 调解, 滤波, 最后产生个与角速率成正比的电压, 然后将每一个轴的电压转换成 16 位的数据)。各种速率 (± 250 , ± 500 , ± 1000 , or $\pm 2000^\circ /s$) 都可以被编程。ADC 的采样速率也是可编程的, 从每秒 3.9-8000 个, 用户还可选择是否使用低通滤波器来滤掉多余的杂波。

4.7 16 位 ADC 三轴加速度信号输出及调理

MPU9250 的三轴加速度也是单独分开测量的。根据每个轴上的电容来测量轴的偏差。结构上降低了各种因素造成的测量偏差。当被置于平面上的时候, 它会测出在 X 和 Y 轴上为 0g, Z 轴上为 1g 的重力加速度。加速度计的校准是根据工厂的标准来设定的, 电源电压也许和你用的不一样。每一个传感器都有专门的 ADC 来提供数字性的输出。输出的范围是通过编程可调的 $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, or $\pm 16g$

4.8 16 位 ADC 三轴磁力计信号输出及调理

三轴磁力计采用高精度的霍尔效应传感器, 通过驱动电路, 信号放大和计算电路来处理信号来采集地磁场在 X, Y, Z 轴上的电磁强度。每个 ADC 均可满量程 (\pm

4800 μ T) 输出 16 位的数据。

4.9 运动数字处理引擎 (DMP)

运动数字处理引擎 (DMP) 位于 MPU9250 内部, 可以直接处理数据, 减少了主控芯片的任务。你只需要把所得到的加速度, 陀螺仪, 磁场值甚至外置的传感器的值直接给它即可。然后直接从他的寄存器读取计算好的值就行, 或者直接把算好的值存入 FIFO 缓冲器。DMP 有个中断引脚, 可用来唤醒你的主控芯片。

DMP 主要是来释放你主芯片的工作任务, 一般的运行速率达到 200Hz, 可保证高速率和高精度。即使这样, 主芯片在就算只有 5Hz 的速率下与其通信, 芯片的运速度任然可以达到 200Hz。DMP 可以节能, 而且对节约软件结构, 节约程序运行时间还是非常重要的。

4.10 主 I2C 及 SPI 通信

MPU-9250 具有 I2C 和 SPI 通信的功能。当做从机通讯的时候, I2C 从机的地址的 LSB 是由第 9 引脚决定的, 也就是 AD0。

4.11 辅助 I2C 芯片通讯

MPU-9250 有个和辅助 I2C 芯片通信的功能, 这个功能有 2 个模式:

- **I2C 主机模式:** 讲 MPU250 作为主机直接与从机通过 I2C 通信。
- **通过模式:** 主控芯片直接通过 I2C 控制 MPU9250 和外设芯片。
- **说明:** 如果不用辅助芯片的功能请不要连接 AUX_DA 和 AUX_CL

辅助 I2C 总线运行模式:

I2C 主模式: 允许 MPU-9250 直接读取传感器的寄存器, 比如磁力计。在这个模式下, MPU-9250 可以不需要主控芯片而直接读取辅助芯片的寄存器。

例: 在 I2C 主模式下, MPU-9250 可以设置成自己读取, 然后返回如下的数据:

- X 轴 磁力计值 (2 字节)
- Y 轴 磁力计值 (2 字节)
- Z 轴 磁力计值 (2 字节)

I2C 主模式甚至可以被设置成从 4 个辅助传感器中读取 24 字节。大约有 1/5 的传感器都支持这种读写模式。

通行模式: 让外部主控芯片做主机, 直接控制辅助芯片 (AUX_DA 和 AUX_CL) 和 9250 的通信。这种模式下, MPU250 读取辅助芯片的功能不能再用了。AUX_DA 和 AUX_CL 现在是直接连接在 I2C 总线上。

通行模式对于设置外部传感器还是非常重要的, 甚至可以在不用 MPU9250 的时候只让外部传感器工作, 以降低 MPU9250 的功耗。并且还可以对 9250 进行数据操作。

通行模式还可以让主机直接访问 AK963 磁力计, 这时 AK8963 作为从机的地址是 0x0C

辅助 I2C 总线的逻辑电平

对于 MPU9250 来说, 辅助 I2C 的逻辑电平是 VDDIO 提供的, 如果想获取更多关于逻辑电平的信息, 请参考 10.2 章。

4.12 自检模式

如需知道更多关于自检的功能请参考寄存器说明书。

自检包括对物理部分和机械部分的自检。每个轴的自检测试可以由自检寄存器来启动(寄存器 13-16)。

自检的时候, 传感器会产生一个信号。我们只需要读取这个信号就可以判断自检情况。

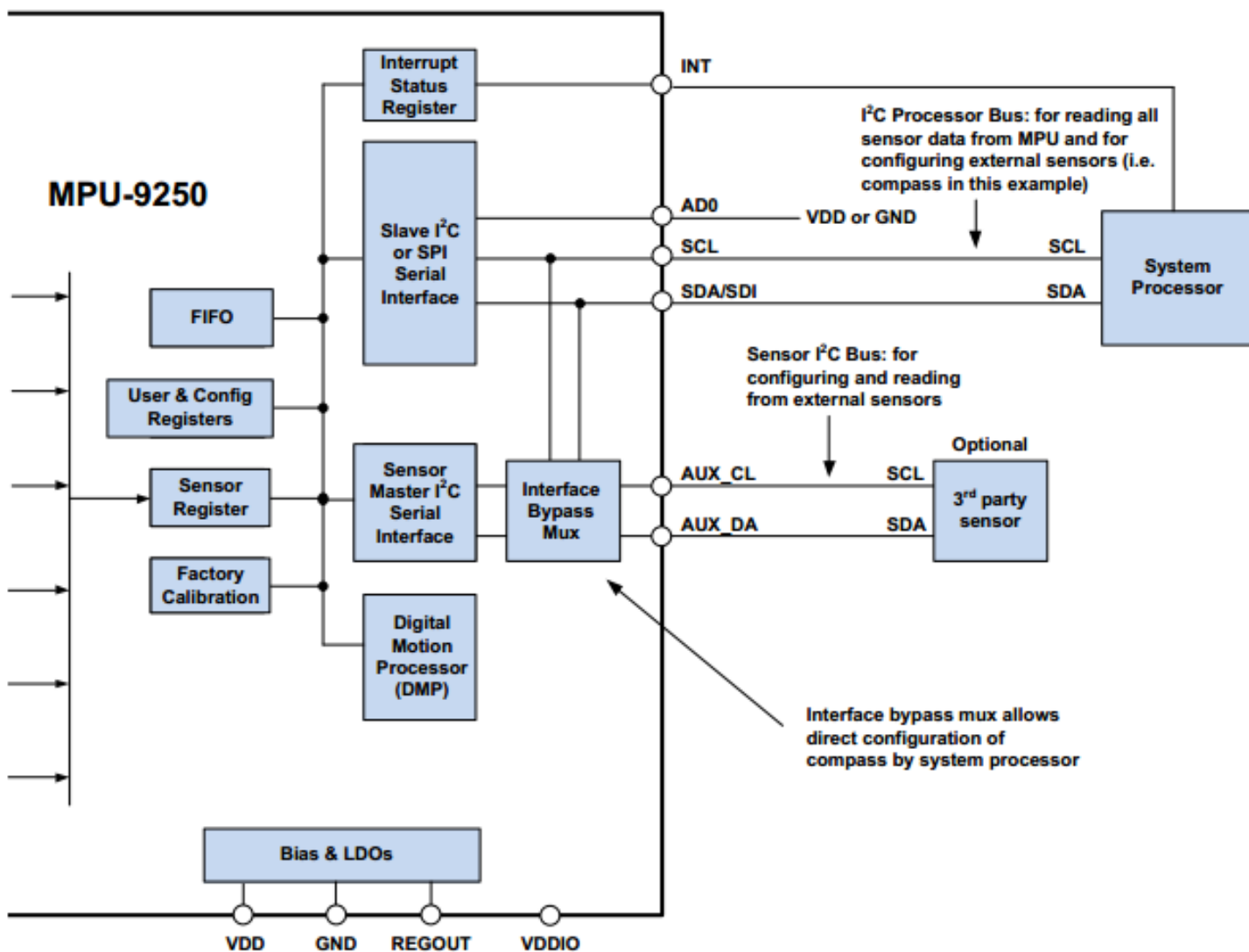
自检响应时间:

$$\text{自检响应时长} = \text{传感器使能自检耗时} - \text{传感器不自检耗时}$$

自检出的值只要在适当范围内, 即视为通过。否则视为不通过。推荐用应美盛的自带软件检测。更多细节请关注应美盛官方说明。

4.13 MPU-250 I2C 通信解决方案

下图的方案是采用 MPU9250 为主控芯片的 I2C 通信来控制从机。对第三方芯片来说 9250 是他的 I2C 主机。9250 作为 I2C 的主控有局限性，这要取决于系统对传感器的初始配置。I2C 的 SDA 和 SCL 是复用口，主控芯片可以通过它直接和辅助传感器通信(AUX_DA 和 AUX_CL)。一旦辅助传感器被主控芯片配置，复用功能不能再用，但是主控芯片可以通过辅助 I2C 口读取到第三方芯片的数据。中断脚必须连接系统的 GPIO 引脚，这样我们就可以从唤醒系统。



4.14 MPU-9250 SPI 通信解决方案

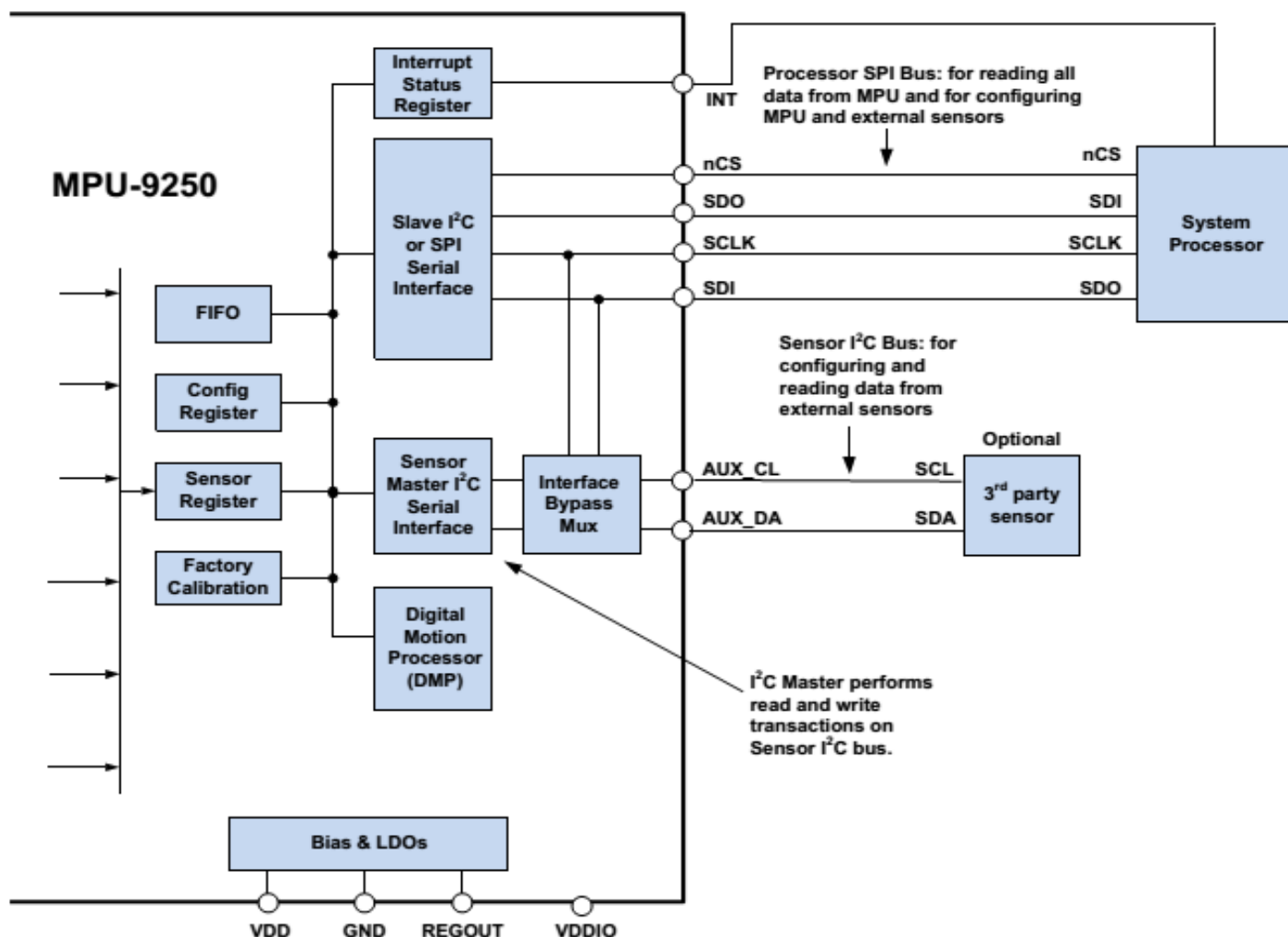
下图方案中, 主控芯片是 MPU-9250 的主机。SPI 通信需要用到 CS, SDO, SCLK 和 SDI 信号。因为这些引脚有和 I2C 的引脚冲突, 所以在这个模式下, 设备不能和辅助 I2C 设备通信。9250 作为 I2C 的主控有局限性, 这要取决于系统对传感器的初始配置。I2C 的 SDA 和 SCL 是复用口, 主控芯片可以通过它直接和辅助传感器通信(AUX_DA 和 AUX_CL)。

当 MPU-9250 与主控芯片使用 SPI 通信的时候, 可以通过 I2C 从机单字节读写配置辅助传感器。

一旦外部传感器被配置成功, MPU-9250 就可以通过 I2C 来进行单字节或多字节的配置了。读取的结果可以通过从机的 0-3 控制器写入 FIFO 缓冲区。

中断引脚 INT 建议与主控芯片连接, 以便唤醒主芯片。

更多的细节请参阅寄存器文档。



4.15 时钟方案

MPU-9250 有灵活的时钟方案, 适用于各种内部时钟源同步电路。可以对信号进行信号调理

和模数转换器, DMP, 以及各种控制电路和寄存器。片上 PLL 允许各种输入的时钟信号。

兼容的内部时钟源信号:

- 内部张弛振荡器
- X,Y,Z 轴产生的振荡 (过热会对 MEMS 传感器的振荡器造成 1% 的误差)

供电量和时钟决定了内部振荡的频率, 有可能会根据芯片运行方式而改变。芯片运行的方式完全取决于你现在启用的芯片功能。举个例子, 我们现在不管做什么都提倡低功耗, 用户可以只开 DMP 功能计算加速度计而不开陀螺仪。这种情况下, 我们就选择内部张弛振荡器来作为时钟信号。当然, 在其他模式的情况下我们也可以去选择更为精准的陀螺仪振荡器来做时钟。

时钟的精准性对于距离和角度的计算影响是非常大的。(其他处理器亦是如此。)

当然, 在初次使用传感器的时候, 默认还是使用内部的时钟, 除非你用程序后期配置。在 MEMS 在稳定之前还是一直用的都是内部的时钟。

4.16 数据寄存器

数据寄存器是只读寄存器, 他们存放了刚刚被测量出来的加速度, 陀螺仪, 磁力计, 辅助传感器以及温度的值。这些寄存器可以通过串行接口随时被访问。

4.17 FIFO 数据缓存区

MPU-9250 包含了一个容量有 512 字节的 FIFO 寄存器。FIFO 配置寄存器决定了哪些数据被写入了 FIFO 缓冲区。有可能是加速度值, 陀螺仪的值, 温度的值或辅助传感器的值, 甚至 FSYNC 引脚输入信号。有个叫 FIFO 计数器的家伙会负责记录 FIFO 里面的字节数量, 而且你可以随时读它。这个中断功能是告诉你有新数据可以读了。

更多的细节请参阅 MPU250 寄存器手册。

4.18 中断功能

中断的功能可以通过配置中断寄存器来配置。可配置的有: INT 中断引脚配置, 中断锁和清除以及中断触发。产生中断的情况有:

- (1) 时钟振荡改变的时候 (通常发生在切换时钟源时 4 发生)
- (2) 有新数据可读的时候 (FIFO 寄存器内的数据)
- (3) 加速度的中断功能 (运动唤醒功能)
- (4) 没有接收到辅助传感器数据的时候

中断的状态可以从中断寄存器中读取。

INT 引脚必须和主控芯片的相连以便唤醒休眠中的主机。更多细节请参阅寄存器手册。

4.19 温度数字输出

这个传感器功能是用来检测 MPU9250 的温度的。你可以从 FIFO 缓冲区或者寄存器里面读取这个 ADC 的数值。

4.20 稳压偏置

芯片是通过自身的电压和电流来实现稳压和偏置的。他不受 VDD 和 VDDIO 电平的影响，通过旁路电容来输出。更多细节请参阅寄存器手册。

4.21 电荷泵

产生振荡所需的高压所用。

4.22 标准供能方案

下表中我们给出了用户所有的供能方式。

方案	名称	陀螺仪	加速度	磁力计	DMP
1	休眠模式	关	关	关	关
2	待机模式	运行	关	关	关
3	低功耗加速度计模式	关	频宽比	关	开或关
4	低噪声加速度计模式	关	开	关	开或关
5	陀螺仪模式	开	关	关	开或关
6	磁力计模式	关	关	开	开或关
7	加速度+陀螺仪模式	开	开	关	开或关
8	加速度+磁力计模式	关	开	开	开或关
9	9 轴模式	开	开	开	开或关

说明:

1. 模式的功率消耗在电气特性部分说明。

4.23 电源和复位规则

供电不得超过 VDD 和 VDDIO，并且 VDD 和 VDDIO 要求比较稳定。如表 4 所示，VDD 的最低上升时间是 0.1ms 最多是 100 毫秒。冷启动后 VDD 上升至稳定后 35ms 时，加速度计才能读到有效值。热启动则是 VDD 稳定后 30ms 即可读出有效数值。磁力计在冷启动 VDD 稳定后 7.3ms 才能读出有效数值。

5 硬件新技术

MPU-9250 的一些硬件的功能的启用与否可以通过简单的寄存器配置。这些功能最初使用时默认都是关闭的，然后你只需要简单的配置即可。以后上电即可使用，甚至都不需要主控芯片来控制。

低功耗的四元数算法（三轴陀螺仪或者 6 轴陀螺仪+加速度）

安卓定位功能（低功耗下的屏幕旋转算法）

检测手势功能

计步器

运动检测功能

为了保证运动检测功能的使用，请将 INT 口接在主控芯片的 GPIO 上，以便唤醒主控芯片。

说明：安卓的屏幕检测功能适用于安卓 4.0 版本

更多细节请参阅 MPU-9250 寄存器说明书。

6 可编程中断

该系统的 INT 中断引脚可产生信号中断。状态标志位可以指示是谁产生的中断信号，中断信号也可以单独被开启和关闭。

中断源一览表

中断名	产生中断模块
运动检测	运动模块
FIFO 缓冲区溢出	FIFO
数据收发准备	传感器寄存器
I2C 主机错误，仲裁失败	I2C 主机
I2C Slave 4	I2C 主机

关于中断启动/关闭寄存器，标志寄存器等的相关信息，请参阅 MPU-9250 的寄存器手册。一些寄存器的功能解释如下。

6.1 运动唤醒中断

MPU-9250 具有运动检测功能。当传感器检测到比你设定值高的轴运动数值的时候就会发出中断。下面的框图将会告诉你，如何配置运动唤醒中断。更多关于寄存器的细节请参阅 MPU-9250 寄存器手册。

请将 INT 引脚连接至主芯片的 GPIO 口，以便唤醒系统。

配置低功耗加速度模式运动唤醒功能

确保加速度计正常工作:

在 PWR_MGMT_1(0x6B)寄存器中设置 CYCLE=0 SLEEP=0 STANDBY=0
在 PWR_MGMT_2(0x6C)把 DIS_XA,DIS_YA,DIS_ZA 设置为 0, DIS_XG,DIS_YG,DIS_ZG 设置为 1

将加速度计的 LPF 设置成 184Hz 带宽:

在 ACCEL_CONFIG 2(0x1D)中设置 ACCEL_FCHOICE_B1=1 A_DLPFCFG[2:]=1(b001)

使能运动中断:

直接将 INT_ENABLE(0x38)设置成 0x40, 以使能运动中断信号。

使能智能加速度硬件检测功能:

在 MOT_DETECT_CTRL(0x69)寄存器中, 将 ACCEL_INTEL_EN 设置为 1 ACCEL_INTEL_MODE 设置为 1

设置运动阈值:

在 WOM_THR(0x1F)寄存器中, 设置 WOM_Threshold[7:0]在 1~255 之间 (0~1020mg)

设置唤醒频率:

在 LP_ACCEL_ODR(0x1E)寄存器中, 设置 Lposc_clkssel[3:0]=0.24Hz~500Hz

开启循环模式 (加速度低功耗模式)

把 PWR_MGMT_1(0x6B)的 CYCLE 设置为 1

运动中断配置完成

表 3 运动中断唤醒配置流程

7 数字接口

7.1 I2C 和 SPI 接口

MPU-9250 的内部寄存器和存储器可以用 400KHz 的 I2C 或者 4 线模式在 1MHz 用 SPI 通讯。

接口引脚

引脚号	引脚名	引脚功能
8	VDDIO	数字 I/O 口提供电平
9	AD0/SD0	I2C 从机高位地址 LSB(AD0); SPI 串行输出 (SD0)
23	SCL/SCLK	I2C 时钟 (SCL); SPI 时钟 (SCLK)
24	SDA/SDI	I2C 数据口(SDA);SPI 数据输入口 (SDI)

说明:

为了防止从 I2C 切换到 SPI 模式, I2C 应该禁止设置 I2C_IF_DIS 寄存器的配置位。此位应该在等待启动读写寄存器后立刻设置。

更多关于 I2C_IF_DIS 位的详细信息, 请参阅 MPU-9250 的寄存器手册。

7.2 I2C 通信

I2C 是一个双线通信方案, 它有 SDA 和 SCL 两根线分别传输数据和时钟信号。通常这 2 个接口是双向的开漏极接口。在连接设备的时候可以主机或者从机。从机在通讯时, 通过地址即可匹配。

MPU-9250 通常和控制芯片连接时作为从机, SDA 和 SCL 通常需要上拉电阻到 VDD, 最快通信速度达到 400KHz。

MPU-9250 作为从机时的地址为 7 位 110100X (B)。这个地址的 LSB 位由 AD0 引脚的电平确定, 这样就使得一个系统中可以同时连接 2 个 MPU-9250 了。(AD0 为低电平时 X 为 0, 高电平 X 则为 1)。

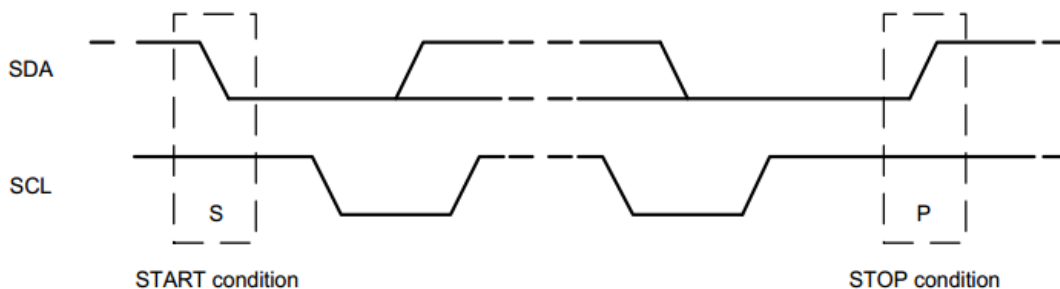
7.3 I2C 通信协议

开始和停止条件

当主机将开始信号在 I2C 总线上初始的时候, 表明准备开始通信。开始信号即当 SDA 处在下降沿时, SCL 置高。而当 SDA 产生上升时, SCL 置高, 我们视作通讯停止信号。

此外, 除非再次出现开始信号或停止型号, 否则总线一直通信。

RIDDER



RIDDER

RIDDER

RIDDER

开始和停止条件

RIDDER

RIDDER

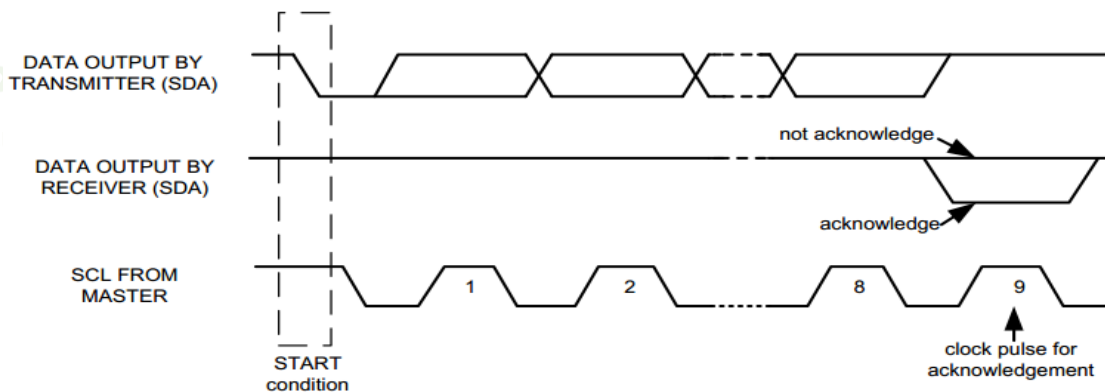
RIDDER

数据传输规则

I2C 每帧为 8 位数据位和 1 位 (ACK) 数据接收方应答位。应答位 ACK 由从机负责拉低，从机在完整收到地址或数据后拉低 SDA 数据总线，表示正确接收。

当从机忙碌无法传送其他数据的时候它会吧 SCL 拉低，直到有数据输出，释放总线。

RIDDLE



RIDDLE

RIDDER

RIDDER

I2C 总线响应位 ACK

RIDDER

RIDDER

RIDDER

通信

在开始信号发出后，主机开始发出 7 个地址位和 1 个读写位。读写位决定了主从机的读写状态。然后主机释放 SDA 线，等待从机的 ACK 应答信号。每次数据传输后必须跟一位读写位。从机应答即是拉低 SDA 到 SCL 高电平周期结束。当主机发出停止命令时，传输就会结束。然后主机重新发送开始信号继续和其他的 I2C 设备通信。当 SDA 出现上升沿并且 SCL 是高电平的时候，就表示停止信号。在通信时所有 SDA 信号的变化都是在 SCL 低电平的时候。

RIDDER

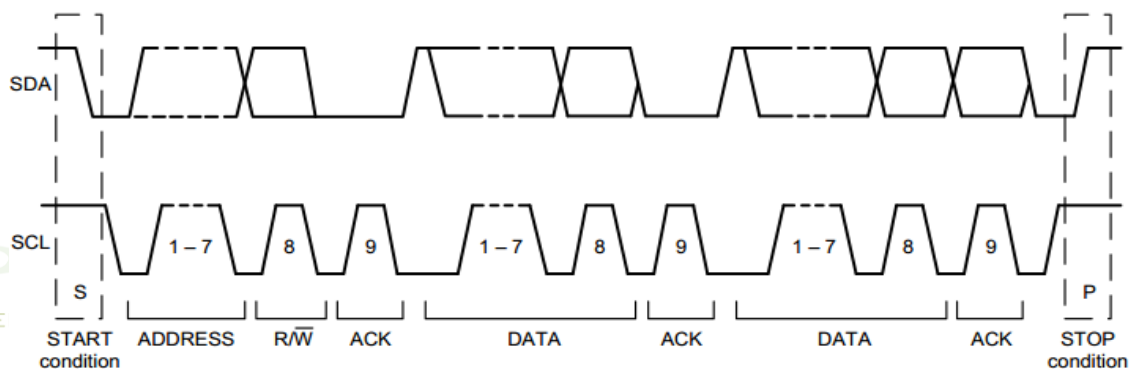
RIDDER

RIDDER

RIDDER

RIDDER

RIDDER



RIDDLE

RIDDLE

I2C 时序

写 MPU250 的寄存器的方法: 主机发送开始信号和从机的 7 个地址位再加上 1 位的写入位。当在第 9 个时钟信号的时候, 芯片产生应答。这时, 主机输出寄存器地址, 然后从机再次产生 ACK 应答, 传输过程可以随时由停止信号停止。ACK 响应后, 数据可以继续输入, 除非没有产生停止位。芯片内部自带的递增寄存器可以自动将数据写入相应寄存。以下列出单字节和双字节的传输顺序。

单字节传输

Master	S	AD+W		RA		DATA		P
Slave			ACK		ACK		ACK	

多字节传输

Master	S	AD+W		RA		DATA		DATA		P
Slave			ACK		ACK		ACK		ACK	

读 MPU9250 的寄存器的方法: 主机发送开始信号和从机的 7 个地址位再加上读位。此时, 寄存器地址变成可读模式。此时会收到 MPU9250 的返回信号 ACK, 然后主机再次发送开始信号和地址, 9250 此时会发回应答信号 ACK 和数据。当主机发送 NACK 或停止位后通讯停止。NACK 信号就是第 9 个时钟脉冲 SDA 保持高电平。下图显示了单字节和双字节的读取时序。

单字节时序

Master	S	AD+W		RA		S	AD+R			NACK	P
Slave			ACK		ACK			ACK	DATA		

多字节读取时序

Master	S	AD+W		RA		S	AD+R			ACK		NACK	P
Slave			ACK		ACK			ACK	DATA		DATA		

7.4 I2C 符号说明

信号名称	作用
S	起使信号: 当 SCL 处于高电平时 SDA 处于下降沿
AD	从机 I2C 地址
W	写位
R	读位
ACK	响应: SCL 高电平时 SDA 保持低电平
NACK	未响应: SDA 在第 9 个时钟周期保持高电平
RA	MPU9250 内部寄存器
DATA	发送或接受位
P	停止信号: SCL 置高时 SDA 产生上升沿

7.5 SPI 通讯协议

SPI 是 4 线同步串口通讯方式, 包含两根控制线和两根数据线。当于主控芯片通信的时候, MPU9250 总是作为从机工作。

主机和从机在通讯时 SCLK, SDO,SDI 设备是共享的, 每个从机和主机在通信的时候都需要单独的 (CS) 片选。

CS 脚置低的时候表示被选中, 置高表示没有选中。每次通信同时只允许一个 CS 脚被选中, 以免占用总线。未被选择的芯片 CS 都为高, 此时他们都是高阻态, 以免设备相互之间的干扰。

SPI 使用特性

1. 数据传输时 MSB 为首位, LSB 为末位。
2. SCLK 上升沿数据锁存。
3. SCLK 下降沿数据变化。
4. SCLK 最大频率是 1MHz
5. SPI 读写操作在 16 个周期之内完成 (多字节更多)。首字节发送 SPI 地址, 然后 SPI 数据。第一个字节的第一个位表示读 (1) 写 (0) 功能。然后发送的 7 个位是寄存器地址。在多字节读取的情况下, 传输的数据 2 个或更多字节。

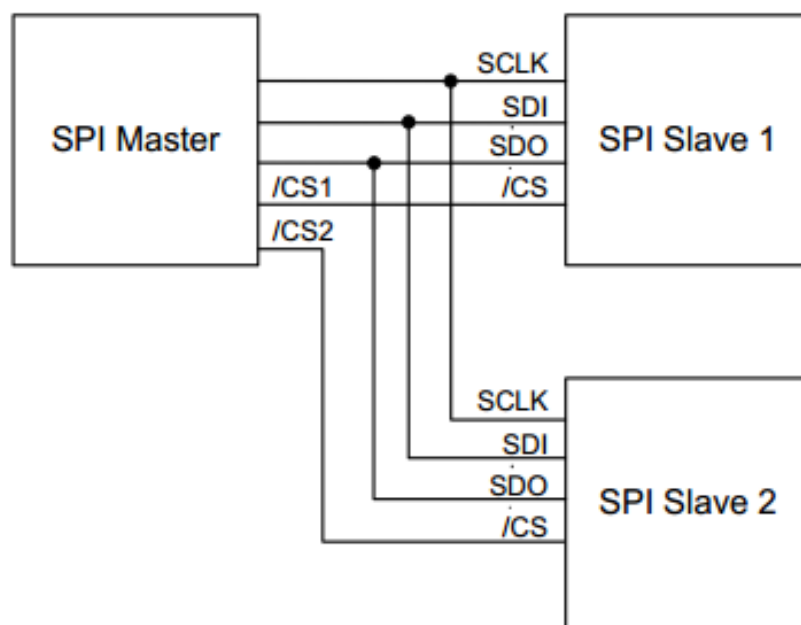
SPI 地址位格式

MSB							LSB
R/W	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0

SPI 数据位格式

MSB							LSB
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

6. 支持单独或突发读写模式



典型 SPI/主从机连接方案

9 封装

本章将介绍 QFN 封装产品装配和使用基本准则。

9.1 轴定位

下图表示轴灵敏度和方向的示意图, (•)表示正面。

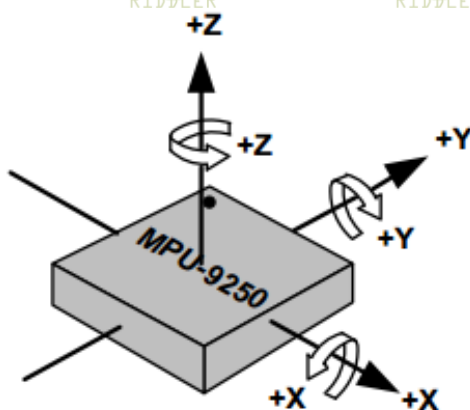


图 4 加速度和陀螺仪的方向和极性

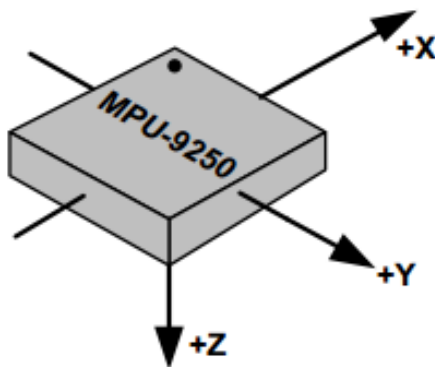


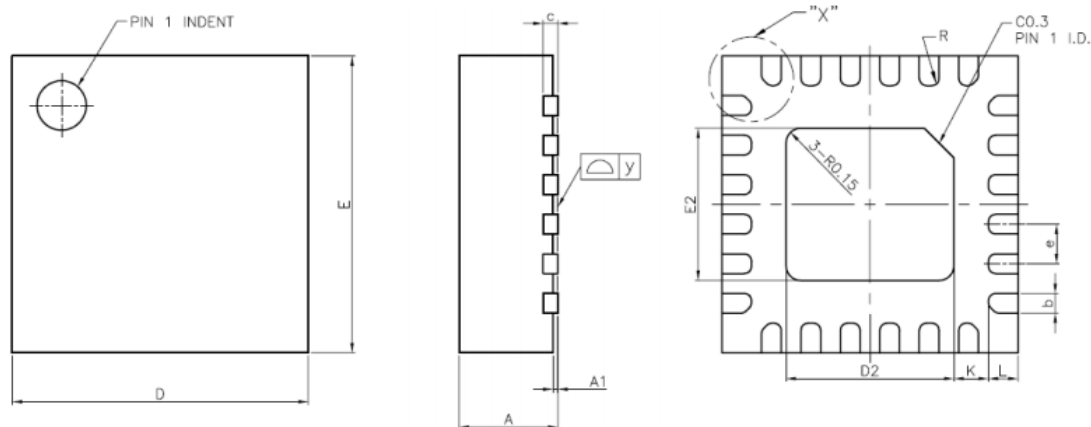
图 5 电子罗盘的方向

9.2 封装尺寸

24 引脚 QFN (3x3x1) mm 镍钎金引线框架 (引线框架作为集成电路的芯片载体,

是一种借助于键合金丝实现芯片内部电路引出端与外引线的电气连接, 形成电气回路的关键结构件, 它起到了和外部导线连接的桥梁作用, 绝大部分的半导体集成块中都需要使用引线框架, 是电子信息产业中重要的基础材料。产品类型有 TO、DIP、ZIP、SIP、SOP、SSOP、QFP (QFJ)、SOD、SOT 等。主要用模具冲压

法和化学刻蚀法进行生产。)



1 DETAIL "X"

符号	名称	规格 (mm)		
		最小值	正常值	最大值
A	封装厚度	0.95	1.00	1.05
A1	引脚高度	0.00	0.02	0.05
b	引脚宽度	0.15	0.20	0.25
c	引脚高度	----	0.15REF	----
D	封装宽度	2.90	3.00	3.10
D2	裸露焊点宽度	1.65	1.70	1.75
E	封装长度	2.90	3.00	3.10
E2	裸露焊点长度	1.49	1.54	1.59
e	引脚到引脚	----	0.40	----
f(e-b)	引脚宽度	0.15	0.20	0.25
K	引脚到裸露点	----	0.35REF	----
L	引脚长度	0.25	0.30	0.35
R	引脚边半径	0.075	REF	----

s	边缘引脚半径 距离	----	0.25REF	----
y		0.00	----	0.075

10 封装号

MPU9250 的封装号如下:

名称	封装名
MPU-9250	MP92

11 产品测试

11.1 质量测试标准

InvenSense 的产品在投入量产之前都是经过严格测试的。MPU9250 完全符合 JEDEC JESD 471 标准。下表描述的是各项指标的测试方案。

11.2 测试方案

加速度计使用寿命测试

测试内容	测试方法	抽样数	样品	不符合标准
高温环境运行 寿命	JEDEC JESD22-A108D Dynamic, 3.63V biased, $T_j > 125^{\circ}\text{C}$ [read-points: 168, 500, 1000 hours]	3	77	(0/1)
超高加速度测试	JEDEC JESD22-A118A Condition A, 130°C , 85%RH, 33.3 psia., unbiased [read-point: 96 hours]	3	77	(0/1)
高温运行时长	JEDEC JESD22-A103D Condition A, 125°C Non-Bias Bake [read-points: 168, 500, 1000 hours]	3	77	(0/1)

各组件测试

测试内容	测试方法	抽样数	样品	不合格
人体静电放电	JEDEC JS-001 -2012(2KV)	1	3	(0/1)
机械静电放电	JEDEC JESD22-A115C(250V)	1	3	(0/1)
带静电器件模拟	JEDEC JESD22-C101E(500V)	1	3	(0/1)
锁定	JEDEC JESD-78D Class II (2), 125°C ; $\pm 100\text{mA}$ 1.5X Vdd Over-voltage	1	6	(0/1)
机械震动	JEDEC JESD22-B104C, Mil-Std-883, Method 2002.5 Cond. E, 10,000g's, 0.2ms, $\pm X, Y, Z$ - 6 directions, 5 times/direction	3	5	(0/1)
摆动	JEDEC JESD22-B103B Variable Frequency (random), Cond. B, 5-500Hz, X, Y, Z - 4 times/direction	1	5	(0/1)
温度循环	JEDEC JESD22-A104D Condition G [-40°C to $+125^{\circ}\text{C}$], Soak Mode 2 [5'] [read-Point: 1000 cycles]	3	77	(0/1)

(1) 测试使用的是 JEDEC JESD22-A113F 标准

12 参考说明

要想取得以下的信息, 请参考一下 InvenSense MEMS 应用手册(AN-IVS-0002A-00)。

•制造建议

- 装配指南及建议
- PCB 设计指南及建议
- MEMS 操作指令
- 静电释放 (ESD)
- 回流焊规范
- 存储规则
- 包装标识规范
- 卷轴带规范
- 标签
- 包装
- 航运标签

•硬性标准

- 绿色环保
- 符合设计检查规范 DRC
- 符合免责声明

本文档所有测试内容可靠准确的, 在不侵犯 InvenSense 的利益和权利下, 第三方使用者享有使用权。若产品后又变更, 恕不另行通知。若在使用中出现问题造成损失, InvenSense 不承担任何赔付责任。但不限于对专利, 版权等支持产权的侵害。

InvenSense 专利受保护, 不得在未批准的情况下使用 InvenSense 的专利技术。注册商标也是公司财产, 不得造成公司名誉损害。InvenSense 公司的产品不得用于制造大规模杀伤性武器, 或任何用于威胁他人生命的武器, 或者任何与生命相关的医疗设备。运输, 航天, 核能, 海底设备, 电站设备, 灾害预防, 预防犯罪等设备。

©2014 InvenSense, Inc. 版权所有。InvenSense, MotionTracking, MotionProcessing, MotionProcessor, MotionFusion, MotionApps, DMP, 以及 InvenSense 标识属 InvenSense 所有, Inc. 其他商标可能是公司关联商标。

©2014 InvenSense, Inc. 公司保持所有权利