

SOT26-001

飞行时间（ToF）传感器

产品规格书



保密

1. 保密声明

本文件中包含的内容属于歌尔微电子有限公司所有，没有歌尔微电子有限公司书面许可不允许泄露给第三方。

2. 变更履历

版本	日期	描述	编写	批准
1.0	2023.04.12	新下发	Klein	Saxon

目录

1. 概述	5
1.1 技术规格	5
1.2 系统框图	5
1.3 引脚定义	6
2. 电气特性	6
2.1 极限参数	6
2.2 推荐工作条件	7
2.3 ESD 性能	7
2.4 电流功耗	7
3. 测试性能	8
3.1 测距时间	8
3.2 测距性能	8
4. 功能描述	9
4.1 固件工作流程	9
4.2 测距偏移校准	9
4.3 测距操作模式	10
4.4 获取数据：中断或轮询	10
4.5 工作时序	10
4.6 MCU 参数	11
4.7 IIC 通信协议	11
4.7.1 IIC 概述	11
4.7.2 IIC 传输协议	11
4.7.3 IIC 写流程	12
4.7.4 IIC 读流程	13
5. 寄存器	13
5.1 通用寄存器	13
5.2 Bootloader 模式下寄存器	14
5.3 APP0 模式下寄存器	14
6. 应用说明	16
6.1 产品尺寸	16
6.2 PCB 焊盘尺寸	17

6.3 应用电路图 17

7. 焊接与存储..... 18

7.1 焊接要求..... 18

7.2 存储说明..... 19

8. 包装说明 20

8.1 载带规格..... 20

8.2 料盘规格..... 21

8.3 包装方式..... 21

9. 激光安全说明 22

10. 缩略语 22

1. 概述

SOT26-001 是一款高集成度、紧凑型单点 dTOF (direct Time of Flight) 传感器。它集成了 VCSEL 激光发射器、单光子雪崩二极管 (SPAD) 阵列、微透镜、TDC (Time Digital Converter)、MCU, 采用 dTOF 技术, 内置阳光抑制和抗盖板脏污算法, 在不同环境下测量准确度不受目标物体的反射率影响, 能实现高达 5m 的精确测距。

SOT26-001 支持通过 IIC 进行 Firmware 更新, 可根据客户需求定制模式及算法。该传感器设计了人眼安全控制电路, 符合 Class I 人眼安全标准的要求。

特征

- 全集成系统级封装模块
 - 发射和接收集成
 - 封装形式: Optical LGA
 - 尺寸: $4.4 \times 2.4 \times 1.0$ mm
- 测距特性
 - 测距距离: 2cm-5m
 - 测距频率: 最大 50Hz
 - 测量精度: $\pm 3\%$
- 光学特性
 - Class I 激光等级
 - 940 nm VCSEL 激光发射器
- 产品特性
 - 直接飞行时间测量
 - 片上直方图算法
 - 消除串扰
 - 支持多种盖板玻璃
 - 玻璃盖板校准
 - 玻璃罩校准
 - 玻璃罩污渍动态补偿
- 通信和工作环境
 - IIC 通信接口
 - 休眠模式下极低功耗
 - 工作温度范围: $-20 \sim 70^{\circ}\text{C}$
 - 温度稳定性好
 - 符合 ROHS 和 REACH 法规

应用

相机辅助自动对焦
视频聚焦跟踪协助
机器人避障 (沿墙和快速障碍物检测)
智能楼宇和智能照明 (用户检测唤醒)
家电产品节能-睡眠模式自动唤醒
智能门锁、智能开关节能检测 (用户检测唤醒)
自动卫生设备的用户检测
可穿戴设备、AR/VR
机器人

1.1 技术规格

表 1：技术规格参数

参数	值
尺寸	4.4 mm × 2.4 mm × 1.0 mm
检测距离	2 cm ~ 5 m
检测精度	±3%@室内
帧率	Up to 50 Hz
工作电压	3.3 V
工作电流	0.9 mA @1 Hz; 17 mA @30 Hz
待机功耗	<10uA@HW standby
波长	940 nm
FOI (Field of illumination)	22 deg
FOV (Field of View)	25°
接口数量	12
接口类型	IIC, Slave address: (0x41)
工作温度	-20℃ ~ 70℃
存储温度	-40~85℃
激光安全	LASER CLASS 1 (IEC 60825-1: 2014)

1.2 系统框图

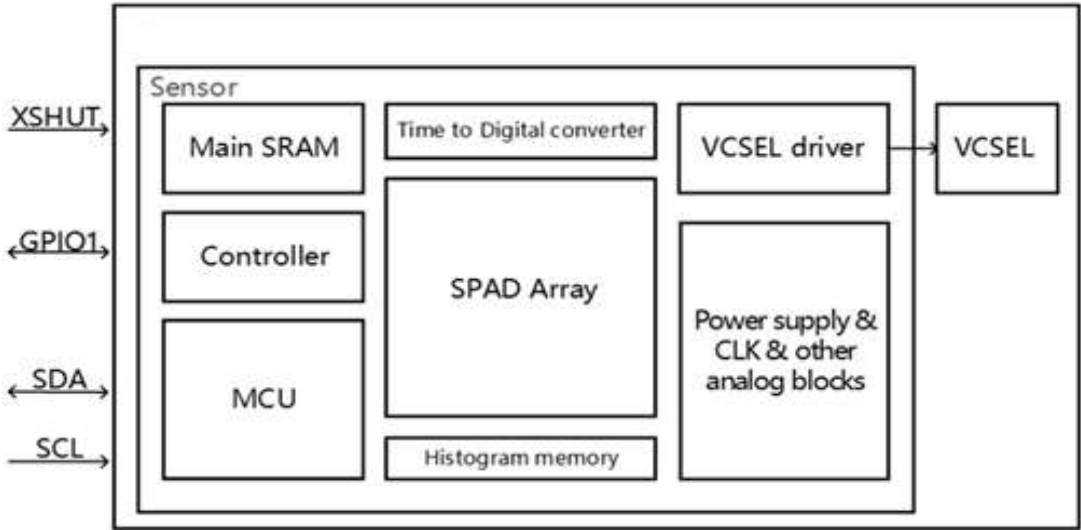


图 1 系统框图

1.3 引脚定义

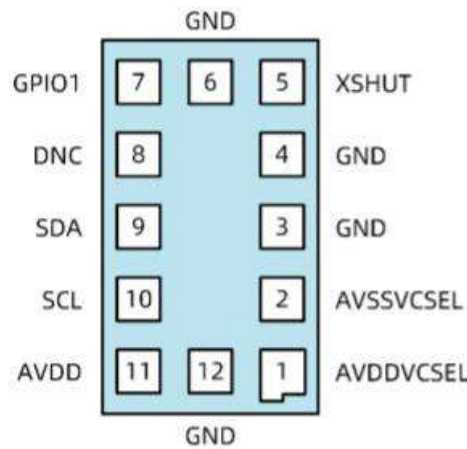


图 2：引脚定义图（底视图）
表 2：引脚定义

引脚序号	引脚名称	类型	说明
1	AVDDVCSEL	电源	3.2 V ~ 3.6 V DC
2	AVSSVCSEL	GND	接地
3	GND	GND	接地
4	GND2	GND	接地
5	XSHUT	数字输入	硬件待机模式的复位输入端，低电平有效
6	GND3	GND	接地
7	GPIO1	数字输入/输出	默认输出低电平；不使用时请悬空
8	DNC	-	此引脚悬空
9	SDA	数字输入/输出	I ² C 串行数据
10	SCL	数字输入	I ² C 串行时钟输入
11	AVDD	电源	3.2 V ~ 3.6 V DC
12	GND4	GND	接地

2. 电气特性

2.1 极限参数

表 3：极限参数（除非特殊说明，Ta=25℃）

参数		最小	典型	最大	单位
AVDD,AVDDVCSEL	3.3V 供电	-0.5	-	3.63	V
GND,GND2,GND3,GND4	接地	0	-	0	V
XSHUT,SDA,SCL,GPIO1	数字 IO (1.8V 模式)	-0.5	-	1.98	V
	数字 IO (3.3V 模式)	-0.5	-	3.63	V

2.2 推荐工作条件

表 4: 推荐工作条件

参数		最小	典型	最大	单位
AVDD,AVDDVCSEL	3.3V 供电	2.97	3.3	3.63	V
温度范围	工作环境温度	-20	25	70	°C

2.3 ESD 性能

表 5: ESD 性能

参数		数值	规格
ISCR	Latch up immunity	+/- 100mA	JEDEC78E
VESD,HBM	ESD HBM Model	+/- 2000V	JS-001-2017
VESD,CDM	ESD CDM Model	+/- 500V	JS-002-2018

2.4 电流功耗

表 6: 数字输入和输出

参数		最小	典型	最大	单位
HW STANDBY	关闭 Xshut	-	-	10	μA
SW STANDBY	打开 Xshut	-	-	20	μA
平均功率消耗	30Hz, 包含 VCSEL	-	-	56.1	mW

3. 测试性能

3.1 测距时间

测距时间与 VCSEL 打光次数与最远测试距离直接相关，测试距离越远，所需的打光次数越多，测距时间越长。

典型值：室内无背景光场景，5m 的最远测试距离，打光次数为 300k，测试时间为 32ms。

3.2 测距性能

以下测距性能是在玻璃的穿透率为 90%，Air Gap 为 0.36mm，无背景光等条件下测量。



图 3 环境光下的测距图线

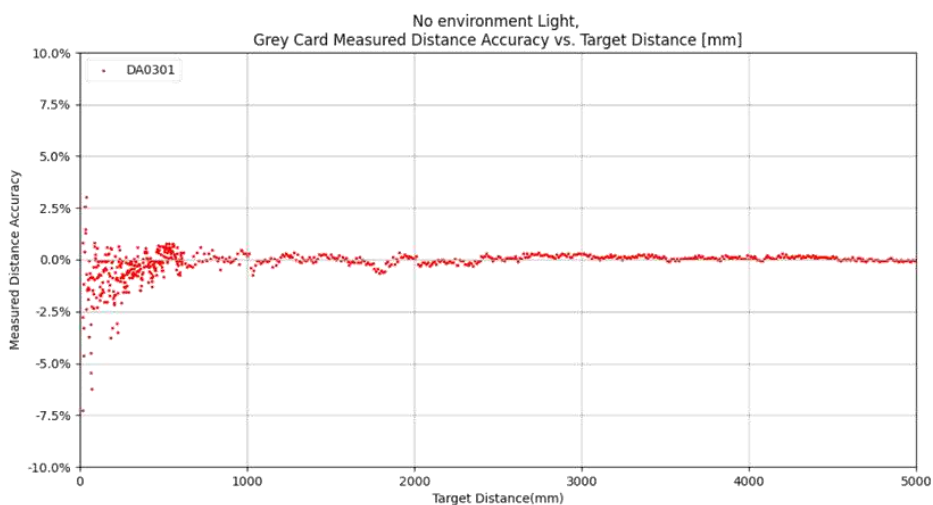


图 4 无环境光下测距精度

4. 功能描述

4.1 固件工作流程

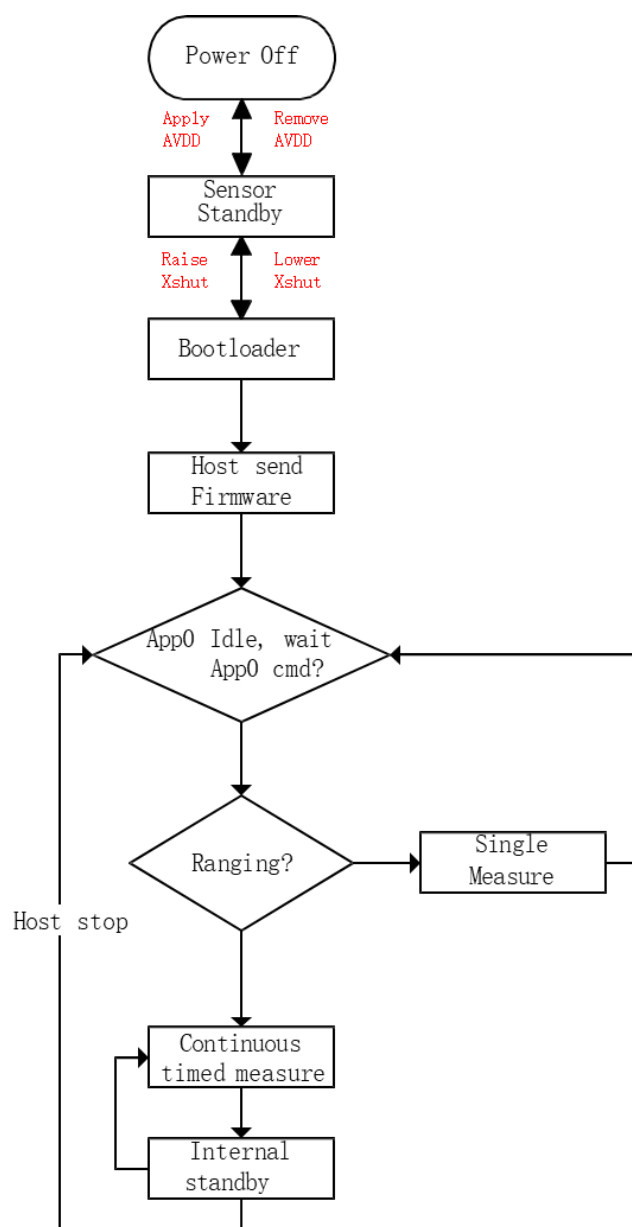


图 5 固件工作流程图

4.2 测距偏移校准

测距偏移校准应在工厂进行，以获得最佳性能（建议在 50cm 时进行）。偏移校准应考虑到 SOT26-001 模块上方的防护罩玻璃，见应用指引。

4.3 测距操作模式

SOT26-001 有 3 种测距模式：

1. 单测距模式

仅执行一次测距。系统自动返回到 SW 待机状态

2. 定时模式

测量间隔 HOST 可自定义。启动定时测量后，每隔相应的时间，SOT26-001 会产生测距中断。HOST 如需 SOT26-001 进入 SW 待机状态，则需要发送停止指令。如停止请求是在测量过程中发出，SOT26-001 会在完成本次测量后进入待机状态。如果停止请求发生在测量之间，测量将立即停止并进入待机状态。

3. 定帧模式

HOST 可指定帧数进行测量，测距完成后，SOT26-001 自动返回到 SW 待机状态。

4.4 获取数据：中断或轮询

用户可以使用轮询或中断机制获取测距结果。

轮询模式：用户通过驱动来轮询中断寄存器（0xE1）的中断标志位，中断标志位置 1 后，可读取相应测量结果并对中断标志位写 1 清除中断。

中断模式：中断引脚（GPIO1）默认为高电平，测距结果更新时中断引脚拉低，产生一个下降沿，HOST 需对中断标志位写 1 清除中断，以此将中断引脚复位为高电平。

4.5 工作时序

启动流程：XSHUT 是 SOT26-001 的总开关，XSHUT 使能后，IIC 模块可以接受来自 HOST 的开机配置，配置完成后进入 BootLoader 阶段，之后进行固件（FW）上传及寄存器初始化，SOT26-001 即可进入软件待机状态，等待 HOST 发送指令。

工作流程：当接收到测距指令时，即进入 Ranging 工作中，当一帧测试完成时，会产生中断（GPIO1），HOST 检测到中断后，通过 IIC 访问结果寄存器，读取完成后须手动清除中断。



图 6 上电启动时序图

4.6 MCU 参数

SOT26-001 内部包含一颗 ARM Cortex-M0 的 MCU，相关参数如表所示。

HOST 可指定帧数进行测量，测距完成后，SOT26-001 自动返回到 SW 待机状态。

表 7：数字输入和输出

参数	最小	典型	最大	单位	备注
μP 工作频率	-	5	80	MHz	MCU 可以使用振荡器或 PLL 时钟工作
PLL 频率	-	80	--	MHz	对应 5MHz 振荡器时钟

4.7 IIC 通信协议

4.7.1 IIC 概述

IIC 接口用于实现 SOT26-001 和其他芯片之间的信息传输。IIC 是 Inter IC 的简称，又称为 I²C，是 Philips 公司开发的简单双向两线总线，实现有效的 IC 间互联控制。包括一条双向数据线 SDA 和一条时钟线 SCL。如图所示，可将多个主设备、多个从设备的 SDA 和 SCL 分别连到一起，通过每个器件的唯一地址来区分各个器件。SOT26-001 是 IIC slave 设备，接收并处理由 master 发送的读写请求。

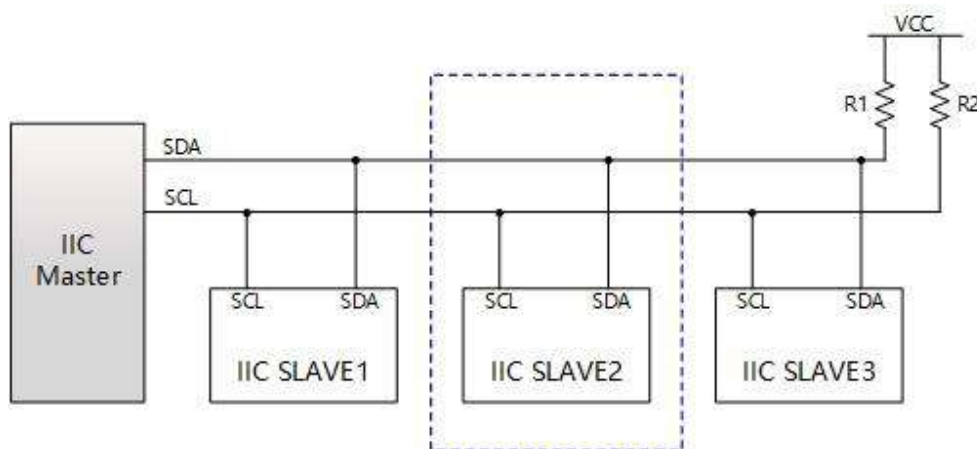


图 7 上电启动时序图

SOT26-001 的设备地址是 0x41（当添加 1bit 读为组成 8bit，字节数据为 0x82），最高支持的传输速度是 1Mbits/s。

4.7.2 IIC 传输协议

IIC 是一种主从串行传输协议，信号传输由时钟线 SCL 以及双向数据线 SDA 组成，所有的传输操作均有 master 发起，slave 根据 SCL 和 SDA 组成的时序执行读写操作，时序协议由四部分组成，分别是起始标识、位传输、ACK 确认位以及结束标识。其中位传输可以是 slave 地址和读写标识传输、register 地址传输，也可以是读写数据位传输，位传输均为串行传输。

起始标识和结束标识

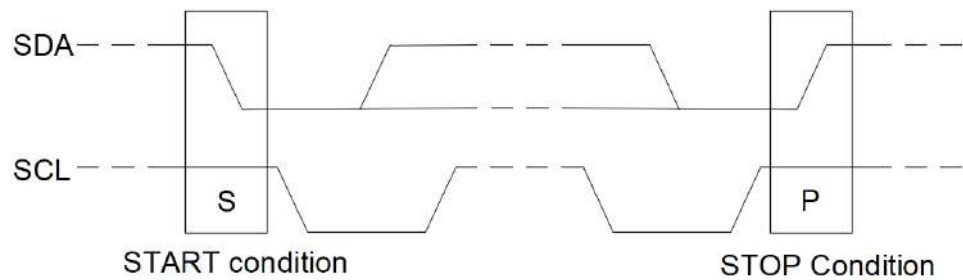


图 8 起始标识和结束标识

当 SCL 处于高电平时，SDA 信号从高电平切换为低电平时，为 START 起始标识；SDA 信号从低电平切换为高电平时，为 STOP 终止标识。

位传输和 ACK 确认位

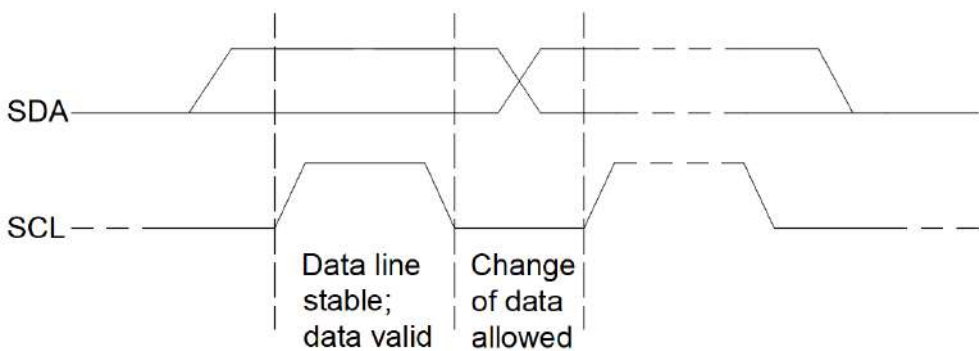


图 9 位传输和 ACK 确认位

位传输和 ACK 传输时序相同，都是只能在 SCL 为低电平时更新数据，SCL 为高电平时，数据保持不变。

4.7.3 IIC 写流程

- 1) 总线为“空闲状态”（即 SDA、SCL 线均为高电平）时，主机发送一个起始位
- 2) 主机接着发送 7 位的器件地址和 1 位读写控制位 R/W 组成（此时 R/W=0 为写）
- 3) 从机向主机回馈应答信号 ACK（ACK=0）
- 4) 主机收到从机的应答信号后发送设备内的寄存器地址字节
- 5) 从机收到寄存器地址后返回一个应答信号 ACK
- 6) 主机收到应答信号后发送第一个待写数据字节
- 7) 从机收到数据后返回一个应答信号 ACK
- 8) 重复第 6 步和第 7 步发送多个数据字节，可以实现对多个寄存器进行顺序写操作
- 9) 主机向从机发送一个停止位结束本次通信并释放总线

起始位	从设备地址（写）	ACK	从设备寄存器地址	ACK	写数据 1	ACK
-----	----------	-----	----------	-----	-------	-----

写数据 2	ACK	...	ACK	写数据 n	ACK	停止位
-------	-----	-----	-----	-------	-----	-----

4.7.4 IIC 读流程

- 1) 总线为“空闲状态”（即 SDA、SCL 线均为高电平）时，主机发送一个起始位
- 2) 主机发送 7 位的器件地址和 1 位读写控制位 R/W 组成（此时 R/W=0 为写）
- 3) 从机返回应答信号
- 4) 主机发送 8 位寄存器地址
- 5) 从机返回应答信号
- 6) 主机发送再次发送一个起始位
- 7) 主机发送 7 位的器件地址和 1 位读写控制位 R/W 组成（此时 R/W=1 为读）
- 8) 从机返回应答信号
- 9) 从机发送数据，即寄存器里的值
- 10) 主机回复 ACK
- 11) 第 9 步和第 10 步可以重复多次，即顺序读多个寄存器
- 12) 主机向从机发送一个停止位结束本次通信并释放总线

起始位	从设备地址（写）	ACK	从设备寄存器地址	ACK	起始位	从设备地址（读）	ACK
-----	----------	-----	----------	-----	-----	----------	-----

读数据 1	ACK	...	ACK	读数据 n	$\overline{\text{ACK}}$	停止位
-------	-----	-----	-----	-------	-------------------------	-----

5. 寄存器

5.1 通用寄存器

表 8: 数字输入和输出

ADDR	BIT	NAME	DEFAULT	ACCESS	Description	
0x00	[7:0]	App ID	8'h00	WR	Currently running application	
					0x00	Default
					0x80	Bootloader application
					0xC0	Measurement application
0x01	[7:0]	App major version	8'h00	WR	Application major revision	
0xE0	[7:0]	EN register	8'h80		Enable register for analog device	
0xE1	[7:0]	Interrupt register	8'h00	WR	0x00 default, no interrupt 0x03 interrupt for measurement	

5.2 Bootloader 模式下寄存器

以下寄存功能只在 APP ID =0x80（Bootloader）下可用

表 9: Bootloader 模式下寄存器

ADDR	BIT	NAME	DEFAULT	ACCESS	Description
0x08	[7:0]	BL Cmd	8'h00	WR	Write: Bootloader Commands Read: Bootloader Status – anything else than 0x00 means an error
0x09	[7:0]	BL data size	8'h00	WR	Bootloader Data size in bytes
0x0A~ 0x89	[7:0]	BL data 1...128	8'h00	WR	Up to 1~128 data bytes for bootloader
0x8B	[7:0]	checksum	8'h00	WR	Checksum for Sum(Cmd + Data Size + Data) XOR 0xFF

表 10: Bootloader Commands

Bootloader Cmd	Value	Description
RAM remap	0x11	Remap RAM to address 0
Download Init	0x14	Initialize RAM
Write RAM	0x41	Write RAM Region (Plain = not encoded into e.g. Intel Hex)
RAM address	0x43	Set the read/write RAM pointer to a given address

5.3 APP0 模式下寄存器

以下寄存功能只在 APP ID =0xC0（App0）下可用

表 11: APP0 模式下通用寄存器

ADDR	BIT	NAME	DEFAULT	ACCESS	Description
0xC7	[7:0]	Temperature threshold	8'h00	WR	If variation between current temperature and temperature of last calibration is bigger than this threshold, calibration will be performed
0xD7~ 0xD8	[7:0]	Global offset	8'h00	WR	Global offset is calculated by global offset calibration. If offset is negative, the required data format is binary complement 0xD7: 1LSB = 1mm 0xD8: 1LSB = 256mm

表 12: APP0 command

ADDR	App0 Cmd	Value	Description
	Ranging	0x04	Single or continuous measurement
	Standby	0x12	Turn off oscillator and CPU, but RAM is power on
	Reset	0x13	Reset CPU, RAM and IIC registers
	Stop measurement	0xFF	Stop measurement or reading histogram

Register setting for ranging Mode: App0 Cmd = 0x04					
ADDR	BIT	NAME	DEFAULT	ACCESS	Description
0x06	[7:0]	Cmd data 9	8'h00	WR	Flag for continuous measurement 0x00: default, single measurement 0x02: continuous measurement
0x07	[7:0]	Cmd data 8	8'h00	WR	Repetition period in mSec, If the repetition period is set lower than the ranging time for this mode, the SOT26-001 runs at maximum possible speed 0x00: default 0x23: For fps 30Hz on continuous measurement
0x08	[7:0]	Cmd data 7	8'h00	WR	Frame count 0x00: default 0x20: 32 frame for Fixed frame mode
0x09	[7:0]	Cmd data 6	8'h00	WR	Iterations of self-calibration 1 LSB = 1 k
0x0A~ 0x0B	[7:0]	Cmd data 5/4	8'h00	WR	Iterations of main-lighting 0x0A: 1 LSB = 256 k 0x0B: 1 LSB = 1 k
0x0C~ 0x0D	[7:0]	Cmd data 3/2	8'h00	WR	Iterations of pre-lighting 0x0C: 1 LSB = 256 k 0x0D: 1 LSB = 1 k
0x0E	[7:0]	Cmd data 1	8'h00	WR	High period of single lighting 1 period = 1 PLL clock
0x0F	[7:0]	Cmd data 0	8'h00	WR	Sum period of single lighting 1 period = 1 PLL clock

ADDR	BIT	NAME	DEFAULT	ACCESS	Description
0x20	[7:0]	Result Num.	8'h00	WR	Result number, incremented every time after measurement
0x21- 22	[7:0]	Distance	8'h00	WR	Distance in [mm] of the object 0x21: 1LSB = 1mm

					0x22: 1LSB = 256mm
0x23	[7:0]	Confidence	8'h00	WR	Reliability of object
0x24~ 0x27	[7:0]	Sys_tick	8'h00	WR	The sys clock registers[32 bits] is a running timer information – this value is counting up (and wraps around to 0 again) as long as the internal clock is running 0x24: sys_tick[7:0] 0x25: sys_tick[15:8] 0x26: sys_tick[23:16] 0x27: sys_tick[31:24]
0x28~ 0x2F	[7:0]	Algo. State	8'h00	WR	Algorithm state for current result
0x30	[7:0]	Temperature	8'h00	RO	Temperature in chip

6. 应用说明

6.1 产品尺寸

SOT26-001 传感器是 12 引脚的 LGA 封装。尺寸为 4.4mm (±0.05mm) x 2.4mm (±0.05mm) x 1.0mm (±0.075mm)，未定义公差为±0.05mm。

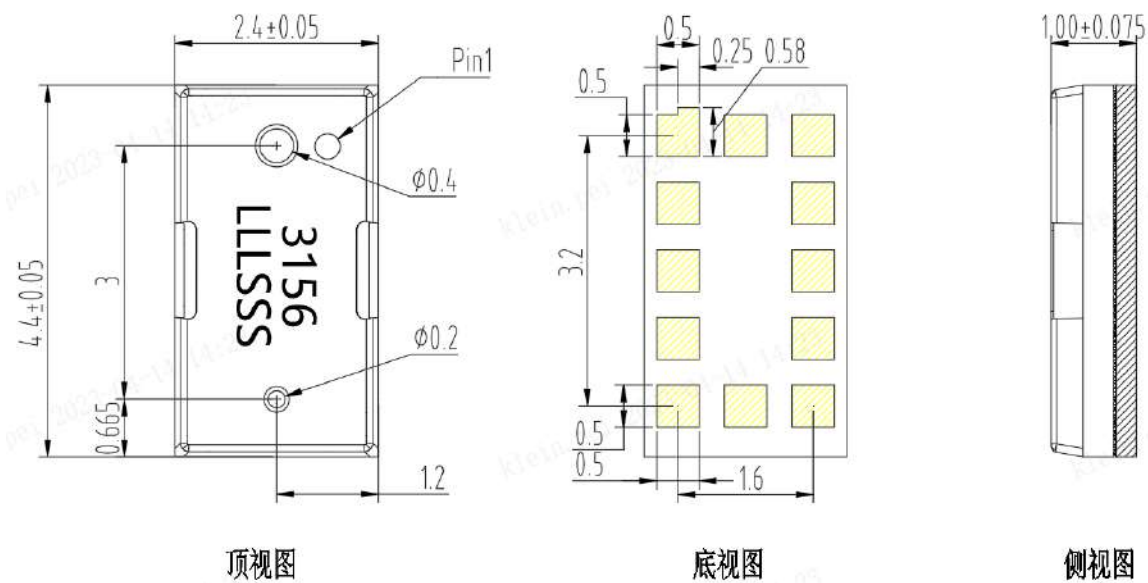
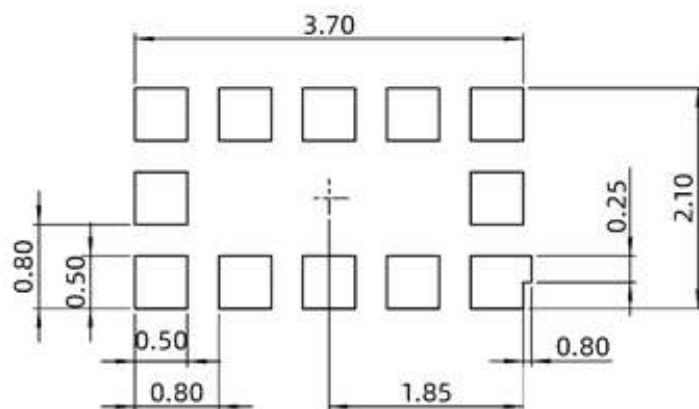


图 10 SOT26-001 外形尺寸

6.2 PCB 焊盘尺寸



说明:

- 除另有说明外，图中所有尺寸均以mm计。

图 11 PCB 焊盘尺寸（顶视图）

6.3 应用电路图

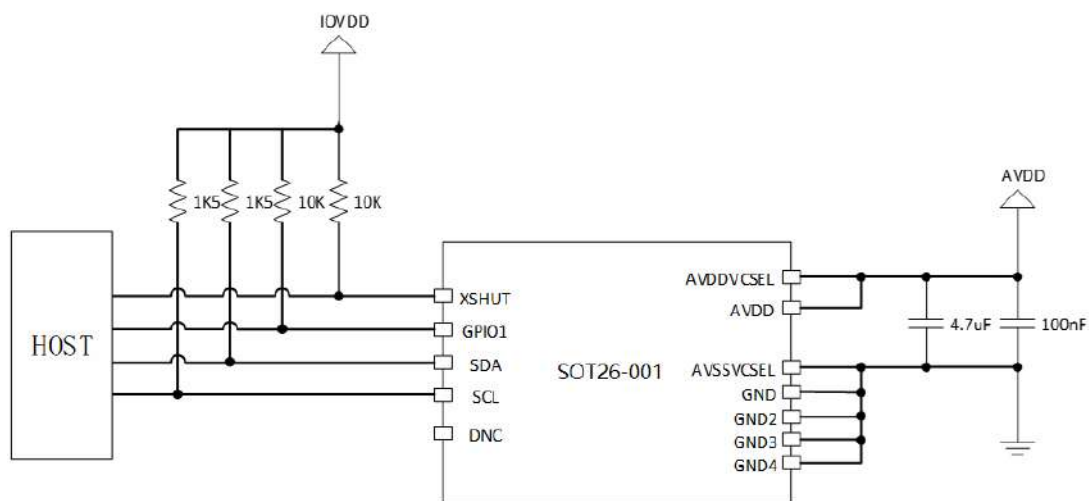


图 12 SOT26-001 电路框图

说明:

- 外供 AVDD 上的电容应当尽可能靠近 AVDDVCSEL 和 AVSSVCSEL 模块引脚;
- HOST 必须始终驱动 XSHUT。若主机状态未知，则需要上拉。XSHUT 需要使用 HW standby 模式（无 IIC 通信）。

7. 焊接与存储

7.1 焊接要求

推荐的回流焊峰值温度为 240°C ~ 260°C，最高不能超过 260°C。推荐的炉温曲线图（无铅 SMT 回流焊）和相关参数如下：

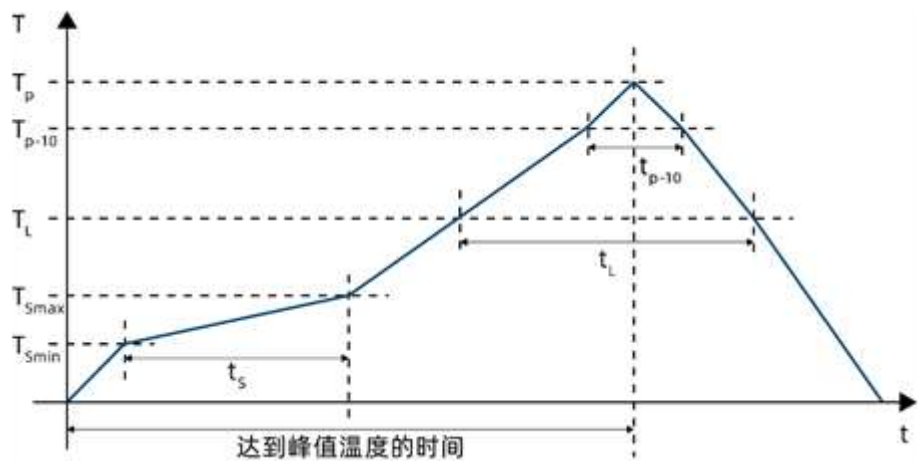


图 13 推荐的回流焊温度曲线

表 13: 推荐的炉温测试控制要求

参数	最小	最大	单位
最低温度 (T _{Smin})	130	150	°C
最高温度 (T _{Smax})	200	200	°C
t _S 时间 (T _{Smin} 到 T _{Smax})	90-110	60 - 120	s
温度 (T _L)	217	217	°C
时间 (t _L)	55-65	55 - 65	s
升温斜率	+2	+3	°C/s
温度 (T _{p-10})	-	250	°C
时间 (t _{p-10})	-	10	s
升温斜率	-	+3	°C/s
峰值温度 (T _p)	240	260 max.	°C
达到峰值温度的时间	300	300	s
降温斜率 (峰值温度到 T _L)	-4	-6	°C/s

说明：

- 上表中所列温度是在器件封装顶部测得的。
- 元器件的最大回流次数为三次。

7.2 存储说明

SOT26-001 以密封防潮袋的形式供货。器件的潮湿敏感度等级为 3(MSL3)。其存储需遵循以下说明：

潮湿敏感度在焊接过程中，器件在包装时所吸收的湿气经释放和蒸发会对器件的光学特性产生不利的影响。为了确保包装内的潮湿度尽可能地低，每个器件在进行干燥包装前都要经过烘烤。干燥包装采用密封的镀铝防潮袋，以保护器件在运输和存储过程中不受环境湿度的影响。

货架寿命

密封防潮袋未打开时，器件在以下存储条件下的货架寿命为 12 个月（从包装袋上标示的日期开始 计算）：

- 货架寿命：12 个月
- 环境温度：< 40℃
- 相对湿度：< 90%

若超过 12 个月的货架寿命，或者湿度指示卡显示器件的存储条件已超出允许的湿度范围，则需要对器件进行重新烘烤。

车间寿命

SOT26-001 的潮湿敏感度等级为 MSL3，因此器件从防潮袋中取出后的车间寿命为自防潮袋打开时算起 168 小时，但前提是在以下条件下存储：

- 车间寿命：168 小时
- 环境温度：< 30℃
- 相对湿度：< 60%若超过车间寿命或上述温度/湿度条件，则必须在进行回流焊或干燥包装前对器件进行重新烘烤。

烘烤标准

烘烤条件参考如下：

- 125±5℃，烘烤 8 小时；
- 产品不能直接在载带里进行烘烤；
- 避免过大的振动或冲击，防止包装材料发生严重变形或破损。

8. 包装说明

8.1 载带规格

每盘数量: 4.5kpcs。

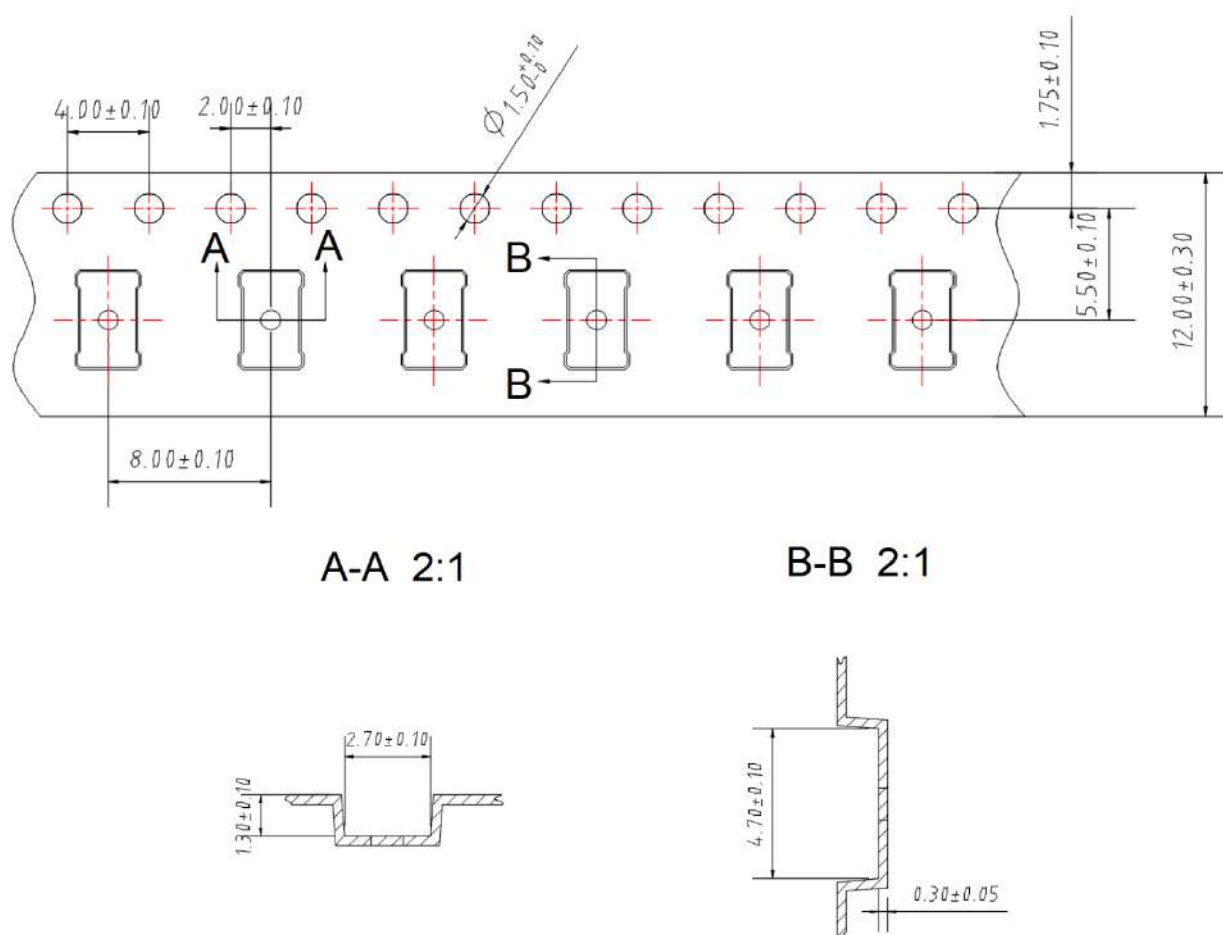


图 14 载带信息 (单位: mm)

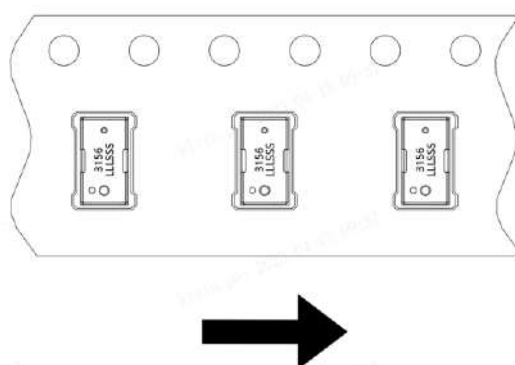
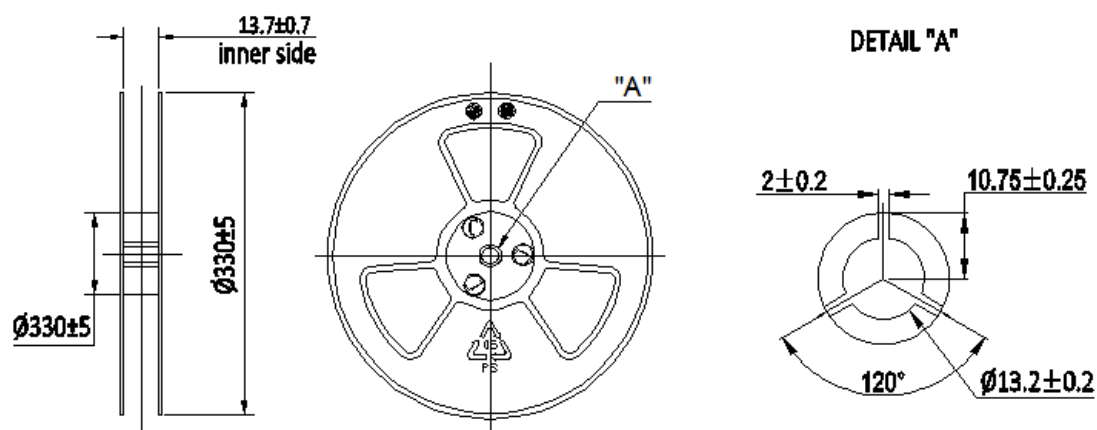


图 15 进料方向

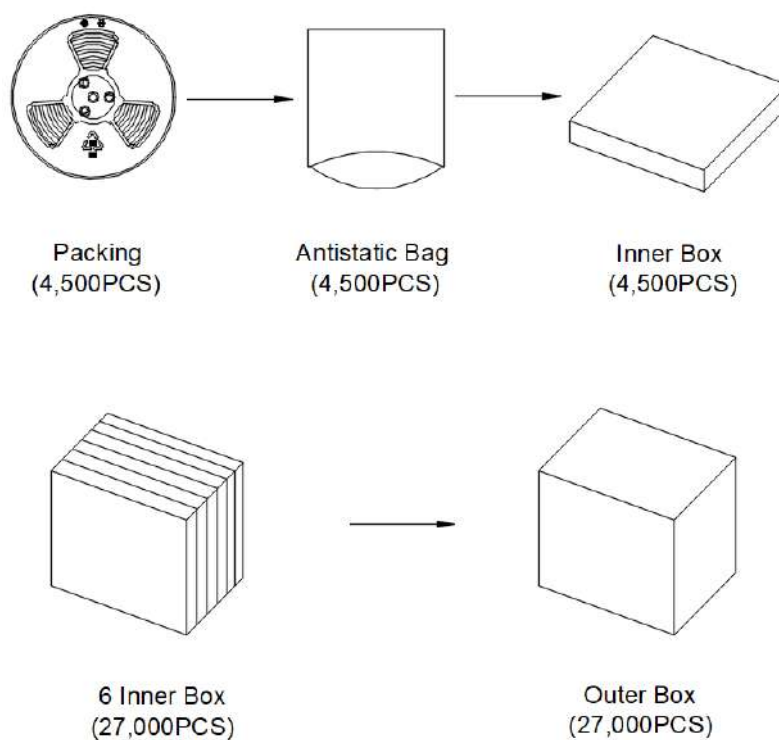
8.2 料盘规格

13" 料盘用于量产阶段且数量大于 1000PCS;

13" 料盘规格 (单位: mm)



8.3 包装方式



9. 激光安全说明

SOT26-001 满足单一故障条件下 1 类安全等级激光发射极限要求，符合 IEC / EN 60825-1:2014 标准。该标准适用于歌尔微电子提供的独立产品及其所含软件。在终端应用系统环境中，可能需要对系统进行测试以确保其符合上述标准。系统中不得包含任何额外用于集中激光束的透镜，也不得设置超出推荐操作条件的参数。在推荐操作条件之外使用模块或在开发过程中对模块进行任何结构性修改都可能导致危险的辐射暴露水平。



10. 缩略语

表 14：缩略语

缩写	英文全称	含义
ESD	Electrostatic discharge	静电防护
TOF	Time of flight	飞行时间
FOV	Field of view	视场角
FOI	Field of illumination	光照角度
IIC	Inter-integrated circuit(serial bus)	集成电路总线
SPAD	Single photon avalanche diode	单光子雪崩二极管
VCSEL	Vertical cavity surface emitting laser	垂直腔面发射激光器
SW	Software	软件
FW	Firmware	固件