

特点

- 全集成系统级封装模块
 - 尺寸: 4.4 mm × 2.4 mm × 0.975 mm
 - 940 nm VCSEL 激光发射器
- 测距方法
 - 直接飞行时间测量
 - 直方图算法
 - 参考 SPAD
- 测距特性
 - 距离: 最大 7.6 m
 - 测距频率: 最大 90 Hz
 - 测量精度: $\pm 4\%$
 - 距离与置信度反馈
- 光学特性
 - 1 类激光产品
- 片上补偿
 - 环境光抑制
 - 玻璃罩校准
 - 玻璃罩污渍动态补偿
- 易于集成
 - 单电源供电
 - 系统级封装设计
 - I²C 通信接口兼容电平 1.2 / 1.8 / 3.3V

应用

- 激光检测自动对焦 (LDAF)
- 接近感应
- 避障与防撞
- 1D 手势识别
- 低功耗系统运行时的物体检测

产品概述

XL5301 直接飞行时间 (dToF) 传感器采用单模块封装设计, 集成了单光子雪崩二极管 (SPAD) 接收阵列以及 VCSEL 激光发射器。该传感器可对物体进行精确的距离测量而不受物体颜色、反射率和纹理的影响, 为市场上的微型 ToF 传感提供了紧凑的解决方案。利用自主研发的 SPAD 和独特的 ToF 采集与处理技术, XL5301 可实现最大 4.0m 的精确距离测量, 快速测距频率可达90Hz。不加配套光学镜头情况下XL5301 TOF 可实现最大4米的精确距离测量, 加上配套光学镜头和8k/rom, 64k/Flash以上资源的MCU资源最大能做到7.6m的距离测距。

XL5301 TOF 7.6m标定方法: 在上电前对准2m的靶点单点标定, 等待程序初始化完成, 标定成功后即可正常使用。

该传感器内置了基于直方图的算法, 能够对玻璃罩进行校准并补偿污渍或污染物, 从而实现稳定可靠地运行。其采用了亚纳秒光脉冲和特殊的人眼安全控制电路, 符合 1 类人眼安全标准的要求。该传感器通过窄带滤光片和内置的阳光抑制算法将环境光噪声降到最低, 可用于室外阳光环境下的距离测量。测量数据及系统配置信息通过 I²C 快速模式通信接口进行传输。该传感器易于系统集成, 使用单电源供电, 且不需要额外的光学元件。

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	产品尺寸图.....	7
3	电气特性.....	7
3.1	绝对最大额定值	7
3.2	推荐工作条件	8
3.3	ESD 性能.....	8
3.4	数字输入和输出	8
4	典型测距特性	9
4.1	常规模式	9
4.2	微距模式	10
5	功能描述.....	11
5.1	I ² C 接口	11
5.2	时序说明	14
5.2.1	测距时序	14
5.2.2	复位与上电时序	15
5.3	功耗	15
5.4	典型光学特性	15
6	寄存器说明.....	16
7	应用说明.....	17
12.1	应用电路图	17
12.2	PCB 布线.....	18
12.3	PCB 焊盘尺寸.....	19
8	卷带尺寸.....	20

9	生产焊接与存储条件	21
	21.1 生产焊接	21
	21.2 存储说明	22
10	激光安全说明	23
11	订购信息.....	24
12	缩略语	25

图目录

图 1: 系统框图.....	5
图 2: 引脚示意图 (底视图)	6
图 3: XL5301 外形尺寸	7
图 4: I ² C 总线数据传输.....	11
图 5: XL5301 I ² C 器件地址 0xD8	11
图 6: XL5301 写数据格式.....	12
图 7: XL5301 读数据格式.....	12
图 8: XL5301 连续写数据格式.....	12
图 9: XL5301 连续读数据格式	12
图 10: I ² C 时序特性	14
图 11: 测距时序图	14
图 12: XL5301 FoI/FoV	15
图 13: XL5301 电路框图.....	17
图 14: PCB 布线建议.....	18
图 15: PCB 布线建议.....	18
图 16: PCB 焊盘尺寸 (顶视图)	19
图 17: 卷带尺寸图	20
图 18: 推荐的回流焊温度曲线.....	21

表目录

表 1：技术规格参数.....5

表 2：引脚定义.....6

表 3：绝对最大额定值¹⁾.....7

表 4：推荐工作条件.....8

表 5：ESD 性能.....8

表 6：数字输入和输出.....8

表 7：常规模式测距特性参数¹⁾.....9

表 9：微距模式测距特性参数¹⁾.....10

表 10：I²C 接口 – 时序特性参数.....13

表 11：测距时序参数.....14

表 12：复位与上电时序参数.....15

表 13：功耗.....15

表 14：寄存器说明.....16

表 15：推荐的炉温测试控制要求.....21

表 16：订购信息.....24

1.3 引脚定义

图 2：引脚示意图（底视图）

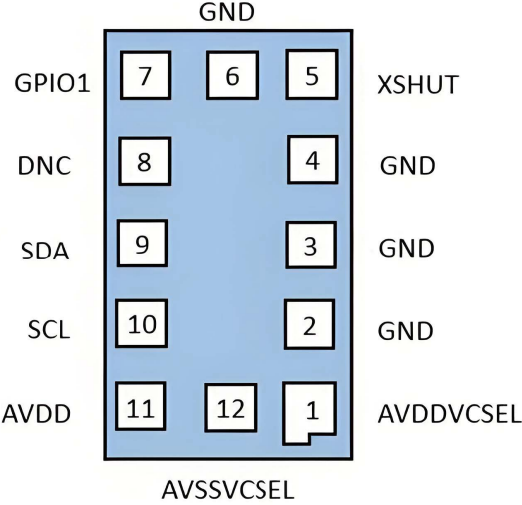


表 2：引脚定义

引脚序号	引脚名称	类型	说明
1	AVDDVCSEL	Power	2.8 V ~ 3.3 VDC
2	GND	GND	接地
3	GND	GND	接地
4	GND	GND	接地
5	XSHUT	I	硬件待机模式的复位输入端，低电平有效
6	GND	GND	接地
7	GPIO1	O	中断输出，漏极开路
8	DNC	-	此引脚悬空
9	SDA	I/O	I ² C 串行数据
10	SCL	I	I ² C 串行时钟输入
11	AVDD	Power	2.8 V ~ 3.3 V DC
12	AVSSVCSEL	GND	接地

3.2 推荐工作条件

表 4: 推荐工作条件

参数	最小	典型	最大	单位
电压 (AVDD)	2.8	3.0	3.3	V
IO (IOVDD) ¹⁾	1.2	-	3.3	V
环境温度 (正常工作)	-20	-	85	°C

¹⁾ IO 电压 VDDIO 需要小于等于 AVDD 电压。

3.3 ESD 性能

表 5: ESD 性能

参数	标准	条件
HBM (人体放电模型)	JS-001-2017	±2000 V
CDM (充电器件模型)	JS-002-2018	±500 V

3.4 数字输入和输出

表 6: 数字输入和输出

符号	参数	最小	典型	最大	单位
中断引脚 (GPIO1)					
V _{IL}	低电平输入电压	-0.3	-	0.2	V
V _{IH}	高电平输入电压	1.0	-	IOVDD+0.3	V
V _{OL}	低电平输出电压 (I _{OUT} = 4 mA)	-	-	0.2	V
V _{OH}	高电平输出电压 (I _{OUT} = 4 mA)	IOVDD-0.3	-	-	V
F _{GPIO}	工作频率 (C _{LOAD} = 20 pF)	68	75	83	MHz
I²C 接口 (SDA/SCL)					
V _{IL}	低电平输入电压	-0.3	-	0.2	V
V _{IH}	高电平输入电压	1.0	-	IOVDD+0.3	V
V _{OL}	低电平输出电压 (I _{OUT} = 4 mA)	-	-	0.2	V
I _{IL/IH}	漏电流 ¹⁾	-	-	0.1	μA
	漏电流 ²⁾	-	-	1	μA

¹⁾ AVDD = 0 V

²⁾ AVDD = 3.0 V; I/O 电压 = 1.8 V

4 典型测距特性

4.1 常规模式

为了达到下文所述的测距性能，需要执行算法校准。校准测试应在无 IR 环境光且传感器视野范围 60 cm 内无目标物的封闭空间内进行。XL5301 会生成校准数据集永久存储在主机上。在 XL5301 每次上电时，主机会在执行任何算法前将校准数据通过 I²C 接口发送至 XL5301（命令=0x0A）。下表的测距特性数据是在不带玻璃盖板、覆盖全视场角的条件下测得的，积分次数 131072。

表 7：常规模式测距特性参数¹

参数	条件	最小	典型	最大	单位
最大距离检测， 1 m x 1 m 目标	350 lx 荧光灯照射目标，88% 反射率白卡	3600	4000	-	mm
	350 lx 荧光灯照射目标，18% 反射率灰卡	2200	2500	-	mm
	350 lx 荧光灯照射目标，5% 反射率灰卡	1600	1800	-	mm
	700 lx 卤素灯照射目标 ²⁾ ， 88% 反射率白卡	1200	1500	-	mm
	700 lx 卤素灯照射目标 ²⁾ ， 18% 反射率灰卡	1000	1200	-	mm
	14000 lx 卤素灯照射目标 ³⁾ ， 88% 反射率灰卡	320	400	-	mm
	14000 lx 卤素灯照射目标 ³⁾ ， 18% 反射率灰卡	400	480	-	mm
最小距离检测，18% 反射率灰卡，1 m x 1 m 目标		-	25	-	mm
精度	目标距离 ≥ 250 mm	-	±4	-	%
	25 mm ≤ 目标距离 < 250 mm	-	±10	-	mm

¹⁾ 置信度大于 30，检出率 ≥ 90%。

²⁾ 700 lx 卤素灯光等同于 5k lx 阳光；光仅照射目标物体。增大积分次数、发射光功率可提高最大检测距离。

³⁾ 14000 lx 卤素灯光等同于 100k lx 阳光；光仅照射目标物体。增大积分次数、发射光功率可提高最大检测距离。

4.2 微距模式

为了达到下述测距性能，需客户端执行标定校准操作。标定校准操作包括：1、无 IR 环境光，传感器视野范围 60 cm 内无目标物的环境下的标定；2、无 IR 环境光，2cm 黑卡/白卡以及 5cm 黑卡 /白卡处，做 offset 标定和斜率标定。标定校准数据需永久储存于主机。在 XL5301 每次上电初始化时，主机会在执行任何算法前将校准数据通过 I²C 接口发送至 XL5301。

下表的测距特性数据是在不带玻璃盖板、覆盖全视场角的条件下测得的，积分次数 196608

表 8：微距模式测距特性参数¹

参数	条件	最小	典型	最大	单位
最大距离检测， 1 m x 1 m 目标	350 lux 荧光灯照射目标，88% 反射率白卡	100	-	-	mm
	350 lux 荧光灯照射目标 5%反射率黑卡	100	-	-	mm
	4.3K lux 卤素灯照射目标，88%反射率白卡	100	-	-	mm
	4.3K lux 卤素灯照射目标 ²⁾ ，5%反射率黑卡	100	-	-	mm
最小距离检测		-	10		mm
5%反射率黑卡及 88% 反射率白卡绝对精度	20 mm ≤ 目标距离 ≤ 50 mm	-3	-	+3	mm
	50 mm < 目标距离 ≤ 100 mm	-5	-	+5	mm
5%反射率黑卡极差 (30 帧 350lux)	20 mm ≤ 目标距离 ≤ 50 mm		3		mm
	50 mm < 目标距离 ≤ 100 mm		5		mm

¹⁾ 表中参数均为 30Hz 帧率下测得，工作温度范围 25±5℃。

²⁾ 4.3K lx 卤素灯等效于 30K lx 阳光。

5 功能描述

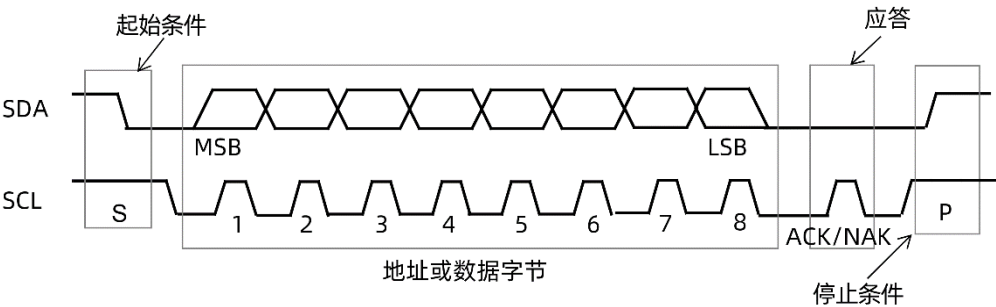
5.1 I²C 接口

I²C 接口使用两个信号：串行数据线（SDA）和串行时钟线（SCL）。每个连接到总线的器件使用一个唯一地址，且相互之间存在一个简单的主/从关系。XL5301 提供标准的 I²C 接口，器件地址 0xD8（写地址 0xD8，读地址 0xD9），器件地址 8 位，寄存器地址 16 位，寄存器数据 8 位。

SDA 和 SCL 上拉电阻到 VDDIO。两条线路均只能主动拉低。高电平时，IO 为高阻，由上拉电阻把线拉高。当没有数据传输时，两条线路都是高电平。

主机生成时钟信号（SCL）并启动数据传输。XL5301 的 I²C 总线最大传输速率为 1 Mbps。

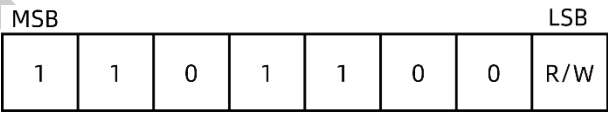
图 4：I²C 总线数据传输



传输的数据被打包在 8 位数据包（字节）中，在写数据时，XL5301 在 8 位数据包后会附带一个应答位（ACK）；在读数据时，主机在 8 位数据包后会附带一个非应答位（NAK）。SCL 上升沿时通过 SDA 采样生成内部数据。外部数据必须在 SCL 高电平期间保持稳定。SCL 保持高电平时存在一个例外情况，即 SDA 状态由高到低为起始信号，SDA 状态由低到高为停止信号。

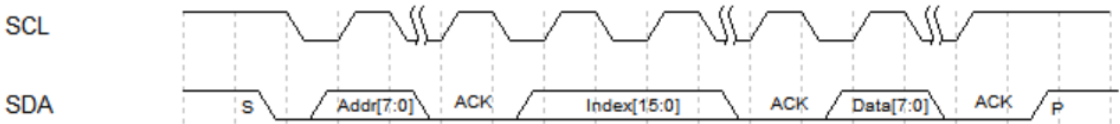
数据位的前面是起始条件，后面是停止条件或者重复起始条件（又一个起始条件，但前面没有停止条件），重复起始条件后面是下一次数据传输。第一个字节包含器件地址（0xD8），同时指定了数据方向。当地址为 0xD8 时，主机写数据；当地址为 0xD9 时，主机读数据。

图 5：XL5301 I²C 器件地址 0xD8



设备串行通信必须以起始条件开始，通过拉低 SDA 线确认接收有效地址。读写位（地址字节的最低有效位）状态会被保存，然后开始解析从 SDA 采样的下一个数据字节。在写数据时，从机接收到的第二个字节会提供一个 16 位索引来指向内部的某个 8 位寄存器。

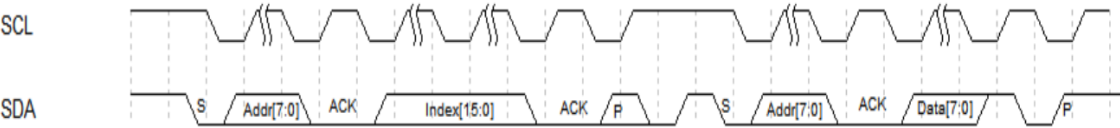
图 6: XL5301 写数据格式



当从机接收到数据后会逐位写入串行/并行寄存器。从机在接收完所有数据字节后会生成应答信号，随后数据会被存储在由当前索引地址指向的内部寄存器中。

在读数据时，由当前索引寻址的寄存器中的内容会跟在器件地址字节后面按字节读出。该寄存器的内容被同步加载到串行/并行寄存器中，并在 SCL 下降沿时从设备输出。

图 7: XL5301 读数据格式



写数据时，XL5301 会在每个字节的末尾输出应答信号。

数据传输只能由主机终止，主机在读数据时序中读取一个完整的字节后发送非应答信号（即 SDA 线拉高）。

该接口还支持自动增量索引。在第一个数据字节传输完成后，索引自动增加 1。因此，主机可以连续向从机发送数据字节，直到从机未能给出应答或主机以停止条件终止写通信为止。如果使用了自动增量索引功能，则主机不必在发送数据字节时附带地址索引。

图 8: XL5301 连续写数据格式

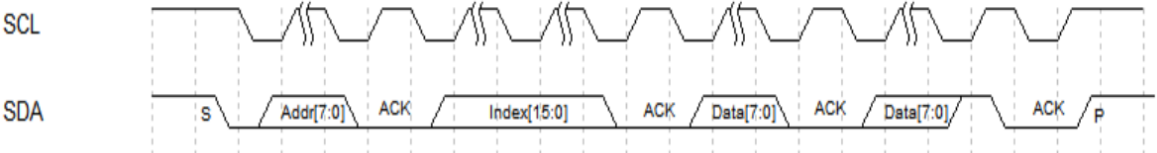


图 9: XL5301 连续读数据格式

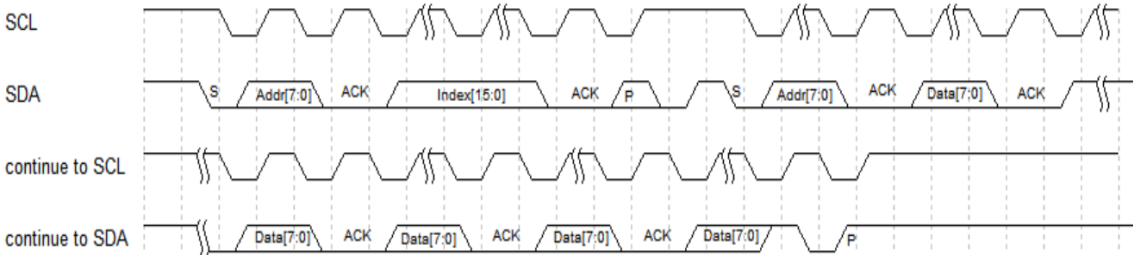


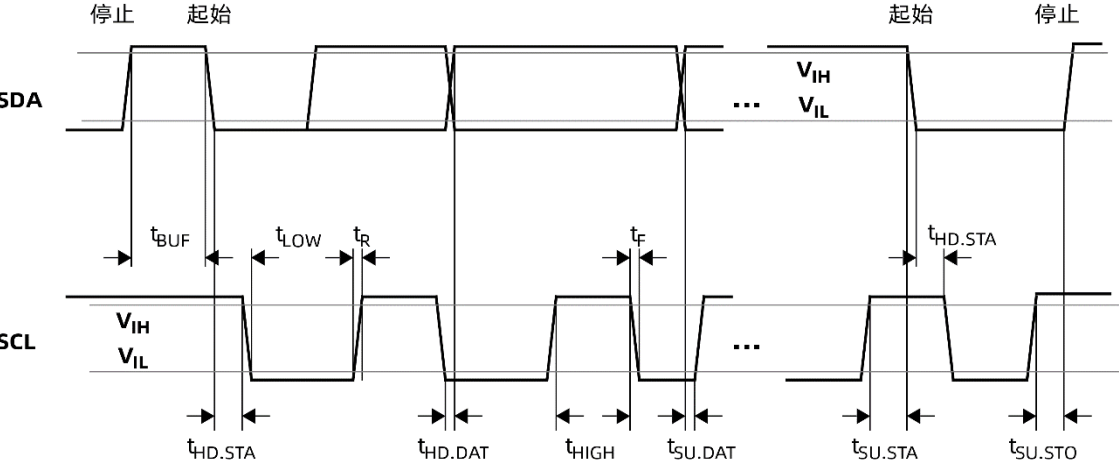
表 9: I²C 接口 – 时序特性参数

对于下表中参数的含义请参见

符号	参数	标准模式			快速模式			快速模式+			单位
		最小	典型	最大	最小	典型	最大	最小	典型	最大	
f _{I2C}	工作频率	0	-	100	0	-	400	0	-	1000	kHz
t _{low}	低电平时钟脉冲宽度	4.7	-	-	1.3	-	-	0.5	-	-	μs
t _{high}	高电平时钟脉冲宽度	4.0	-	-	0.6	-	-	0.26	-	-	μs
t _{sp}	输入滤波器抑制的尖峰脉冲宽度	-	-	1	-	-	1	-	-	1	ns
t _{buf}	数据传输间的总线空闲时间	4.7	-	-	1.3	-	-	0.5	-	-	μs
t _{hd-sta}	起始信号保持时间	4.0	-	-	0.6	-	-	0.26	-	-	μs
t _{su-sta}	起始信号建立时间	4.7	-	-	0.6	-	-	0.26	-	-	μs
t _{hd-dat}	数据输入保持时间	0	-	-	0	-	-	0	-	-	μs
t _{su-dat}	数据输入建立时间	200	-	-	100	-	-	50	-	-	ns
t _r	SCL/SDA 上升沿时间 (10%-90%VDD)	-	-	1000	-	-	150	-	-	100	ns
t _f	SCL/SDA 下降沿时间 (10%-90%VDD)	-	-	300	-	-	150	-	-	100	ns
t _{su-sto}	停止信号准备时间	4.0	-	-	0.6	-	-	0.26	-	-	μs
C _{i/o}	输入/输出电容 (SDA)	-	-	10	-	-	10	-	-	10	pF
C _{in}	输入电容 (SCL)	-	-	10	-	-	10	-	-	10	pF
C _L	负载电容	-	-	400	-	-	400	-	-	400	pF

图 10: I²C 时序特性

所有时序均通过 V_{IL} 或 V_{IH} 测出。



5.2 时序说明

5.2.1 测距时序

图 11: 测距时序图

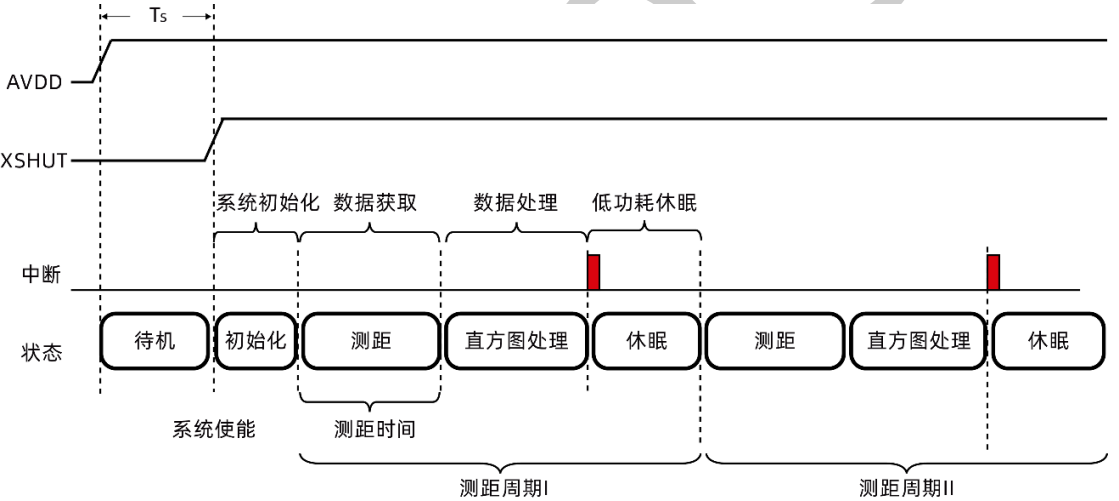


表 10: 测距时序参数

参数	最小	典型	最大	单位
默认测距时间 ¹⁾	-	19.2	-	ms
测距初始化 ²⁾	-	150	-	ms
测距周期 ³⁾	11	33	-	ms

¹⁾ 不同的工作模式下测距时间不同；

²⁾ 包含固件下载时间；受 I2C 速率影响，表中数据是在 I2C 速率 400K bit/s 下；

³⁾ 与单帧 trig 次数有关，可通过 I2C 接口配置。

5.2.2 复位与上电时序

表 11：复位与上电时序参数

参数	最小	典型	最大	单位
上电（启动时间）	-	5	-	ms
使能高电平到测量就绪时间 ¹⁾	-	2	-	ms
待机到工作时间	-	1	-	ms
工作到待机时间	-	1	-	ms
使能低电平到断电时间	-	1	-	ms

1) 不含校准数据下载时间，若 Sensor 的 I2C 同一总线上挂载多颗器件，需要确认 XSHUT 使能拉高 2ms 时间内不能有 I2C 通信，防止 I2C 总线异常。

5.3 功耗

下表给出了芯片在正常工作模式下各个电源工作的典型值。

表 12：功耗

参数	最小	典型	最大	单位
硬件待机模式 ¹⁾	0.01	0.25	1	μA
软件待机模式 ²⁾	10	20	25	μA
主动测距平均功耗 ³⁾	7.5	9	15	mA

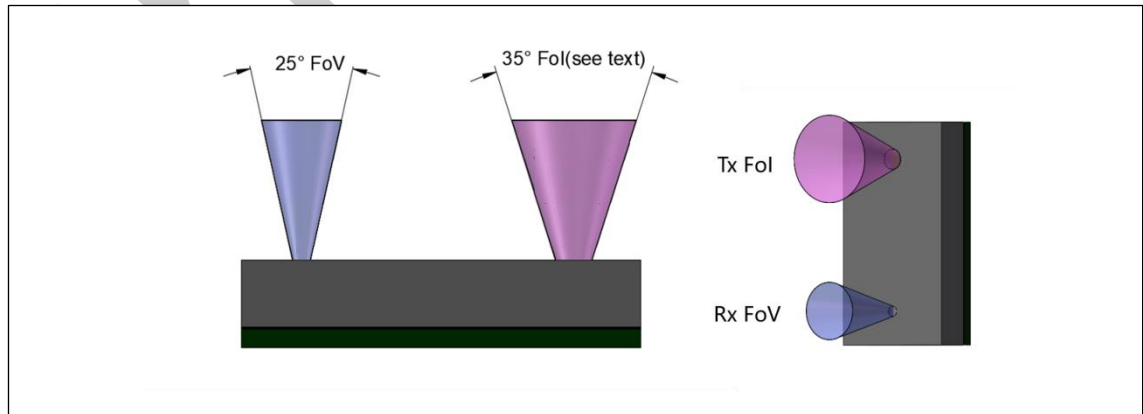
1) AVDD 3.0 V, XSHUT 低电平；

2) AVDD 3.0 V, XSHUT 高电平，I2C 通电；

3) 131072 次积分，数据上报帧率 30 fps。

5.4 典型光学特性

图 12：XL5301 FoI/FoV



VCSEL FOI

- 35°是指结构设计时需要避空的区域
- 发光区域 FOI 为 max.25°C@1/e^2

滤光片特性

- FWHM 45 nm
- 通带中心频率 940 nm

6 寄存器说明

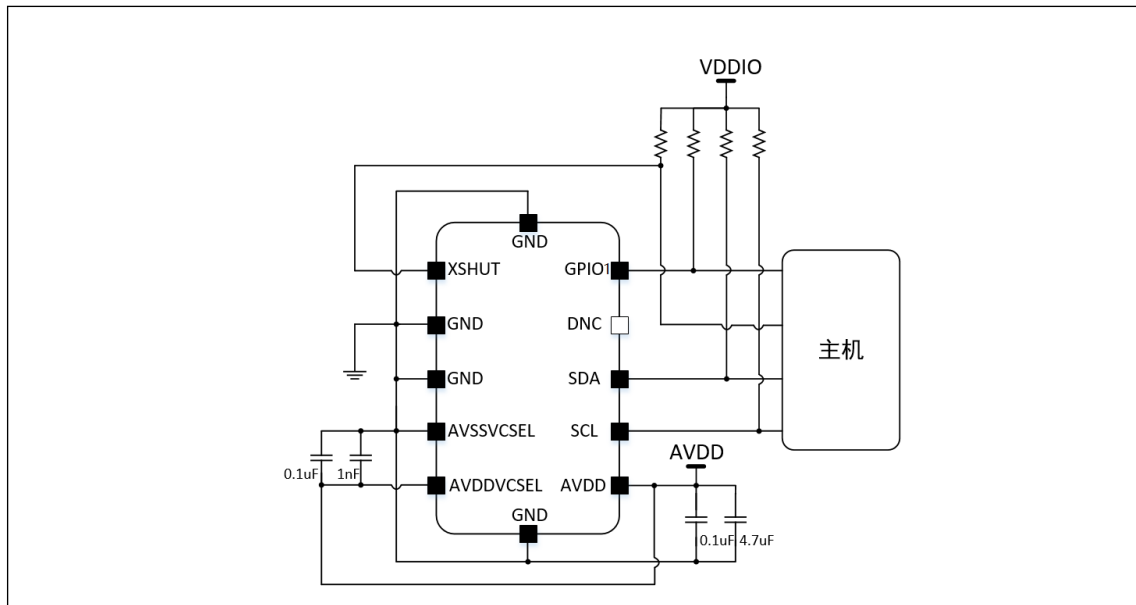
表 13: 寄存器说明

寄存器名称	地址	类型	描述
Device stat	0x02	RO	[0] 设备状态: 1 = 忙; 0 = 空闲 [7:1] 预留
Interrupt stat	0x03	RC	[0] 中断状态: 1=中断触发, 读取时自动清零 [7:1] 预留
Interrupt mask	0x04	RW	[0]中断掩码: 1 = 使能, 0 = 禁用 [7:1] 预留
I2C device address	0x06	R/W	0xd8, bit 0 是读/写位, 内部设为 0
Power control	0x07	R/W	[0] 使能超低功耗模式 [1] 使能低功耗模式 [7:2] 预留
Special purpose reg	0x08	R/W	Firmware 下载标志位, 0x66 Cross talk 标定成功标志位, 0xaa I2C CMD 处理标志位, 0x11
Special purpose reg	0x09	R/W	心跳功能, 检测芯片 MCU 是否 alive
REG_DIG<87:80>	0x0A	R/W	[4:0] 命令码, 单次测距命令: 0x0e, 连续测距命令: 0x0f, 停止连续测距命令: 0x1f [7:5] 预留

7 应用说明

12.1 应用电路图

图 13: XL5301 电路框图

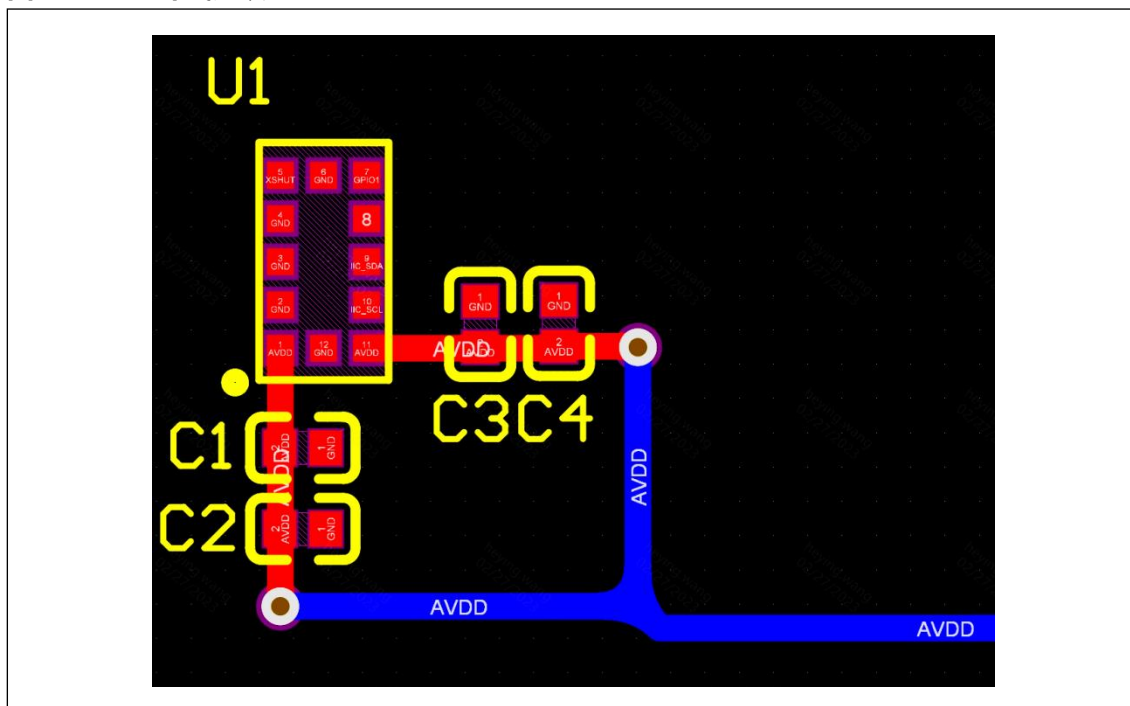


说明:

- 外部电源 AVDD 上的电容应尽可能靠近 AVDDVCSEL 和 AVSSVCSEL 引脚。
- 外部上拉电阻的值可参见 I²C 总线规范。每个 I²C 总线通常只在主机附近接一个上拉电阻。AVDD 为 3.0 V、VDDIO 1.8V 时，I²C 时钟频率为 1M Hz 的上拉电阻推荐值为 2k Ω 。
- VDDIO 电压范围 1.2-3.6V。
- XSHUT 引脚必须始终驱动，以避免产生漏电流。如果主机状态未知，则需要上拉。
使用硬件待机模式（无 I²C 通信）需要 XSHUT 引脚拉低。
XSHUT 和 GPIO1 上拉电阻推荐值为 10 k Ω 。

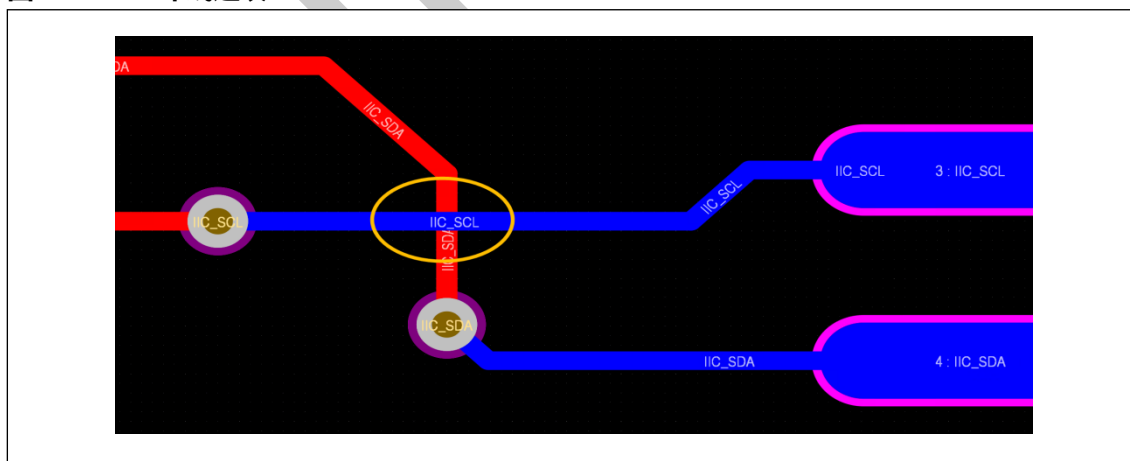
12.2 PCB 布线

图 14: PCB 布线建议



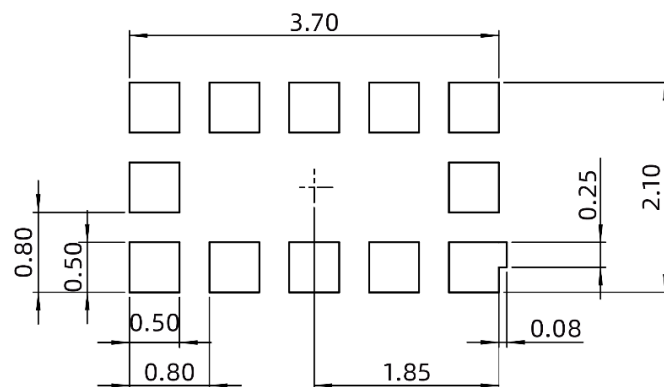
C1 容值建议 1nF, C2 建议 100nF, C1、C2 尽量靠近 AVDDVCSEL pin。C3 容值建议 0.1uF, C4 容值建议 4.7uF, C3、C4 尽量靠近 AVDD pin。AVDDVCSEL 走线 (Pin1) 及 AVDD 走线 (Pin11) 在经过滤波电容之前分隔开, 且两段走线间保留完整的地平面, 可以避免 AVDDVCSEL 与 AVDD 两个电源相互干扰。

图 15: PCB 布线建议



注意:

- 避免 I2C 交叉形成锐角夹角。



9 生产焊接与存储条件

21.1 生产焊接

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

图 18：推荐的回流焊温度曲线

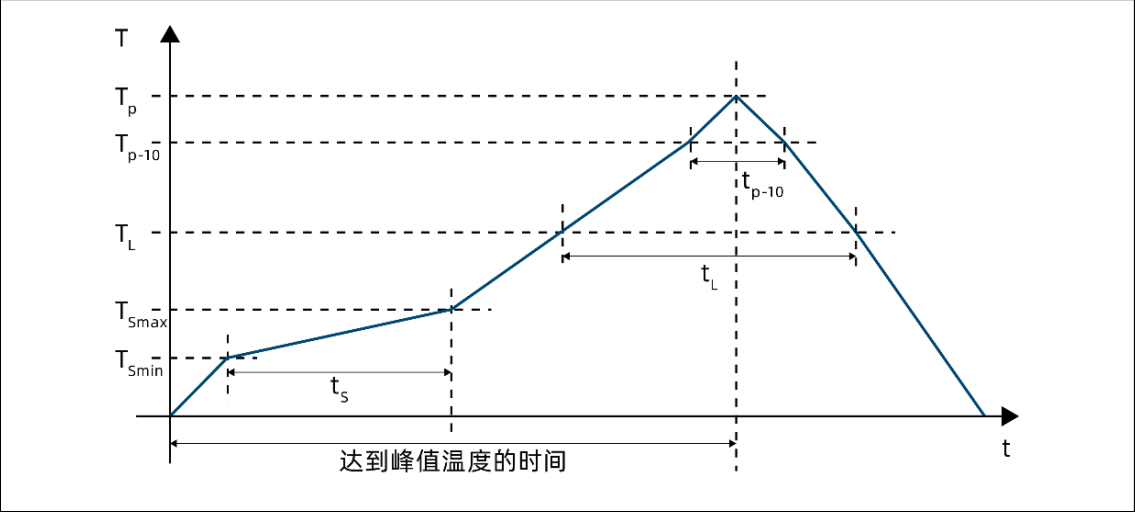


表 14：推荐的炉温测试控制要求

参数	推荐值	最大值	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。

21.2 存储说明

XL5301 以密封防潮袋的形式供货。器件的潮湿敏感度等级为 3 (MSL 3)。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°C
- 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

XL5301 的潮湿敏感度等级为 MSL 3，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°C
- 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

如果器件需要重新烘烤，烘烤请参照 IPC/JEDEC J-STD-033。

10 激光安全说明

XL5301 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。该标准适用于芯岭技术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。

11 订购信息

表 15: 订购信息

订购编码	封装类型	包装	最小包装
XL5301 LDR-BAAZ	OLGA_12	13 寸卷带包装	4500 pcs

12

缩略语

表 16：缩略语

缩写	英文全称	含义
ESD	Electrostatic discharge	静电放电
I2C	Inter-integrated circuit (serial bus)	集成电路总线
SPAD	Single photon avalanche diode	单光子雪崩二极管
SPI	Serial Peripheral Interface	串行外设接口
VCSEL	Vertical cavity surface emitting laser	垂直腔面发射激光器
ToF	Time of Flight	飞行时间
dToF	Direct Time of Flight	直接飞行时间
FoV	Field of view	视场角