

Synexens

Datasheet R5001

摘要:

R5001 是一款基于 SPAD (single-photon avalanche diode) 技术的激光雷达 ToF (Time of Flight) 接收芯片。和激光发射器、驱动电路一起构成小型的激光雷达模块，用于扫地机、AGV (Automated Guided Vehicle) 的 SLAM (Simultaneous localization and mapping) 建图，机器人避障，测距等场景。具有使用简便、测距精度高、帧率高、抗阳光等特性。



图 1: 基于 Synexens ToF 芯片 R5001 的旋转激光雷达 SLAM 建图

R5001 Datasheet

Synexens

芯片简介

- R5001 是一款基于 SPAD 单光子技术直接 ToF 测量法 (D-ToF) 的全集成接收芯片, 和发射端一起便捷的搭建小型的单点测距雷达系统。
- 还可以搭配无刷电机, 成为小型旋转激光雷达, 用于机器人避障和建图 (SLAM)

芯片特点

- 简单易用: 所有测距模块均集成在芯片内;
- 单电源供电: 3.3V (内部集成 SPAD 高压供电)
- 测距精准: 全量程范围内 (0.05-15 米) 误差不超过 1.5cm;
- 抗阳光: 芯片表面覆盖对应 905nm 滤光片, 室外不影响测距;
- 低功耗: TBD;
- 灵敏度高: Class 1 级激光器满足测距要求;
- 高帧率: 每秒 7.2k 距离输出, 既可以用于单点测距, 亦可以用作旋转二维雷达。

应用场景

- 单点或旋转单线激光雷达
- 扫地机实时地图构建与定位
- 无人机定高与避障

芯片参数	数值
芯片型号	R5001
最大测量距离	60 米
最大测量频率	7.2KHz
测量误差①	≤1.5cm
测量标准差②	≤1cm
最小分辨率③	1mm
感光面积	380×380 μm ²
电源电压	2.8V~3.6V
测距电流	50mA
待机电流	10uA
工作温度	-20°C~ 70°C
封装类型	OLGA28
封装尺寸	4.5x4.5x1.1mm ³
静电保护	>2000V(HBM)

① 在 ToF 系统中, 测距误差被定义为 450 次平均测距距离值与真实距离值之间的偏差;

② 测量标准差被定义为, 450 次测量结果的 1-sigma 偏差;

③ 15 米量程, 分辨率 1mm; 60 米量程, 分辨率 4mm;

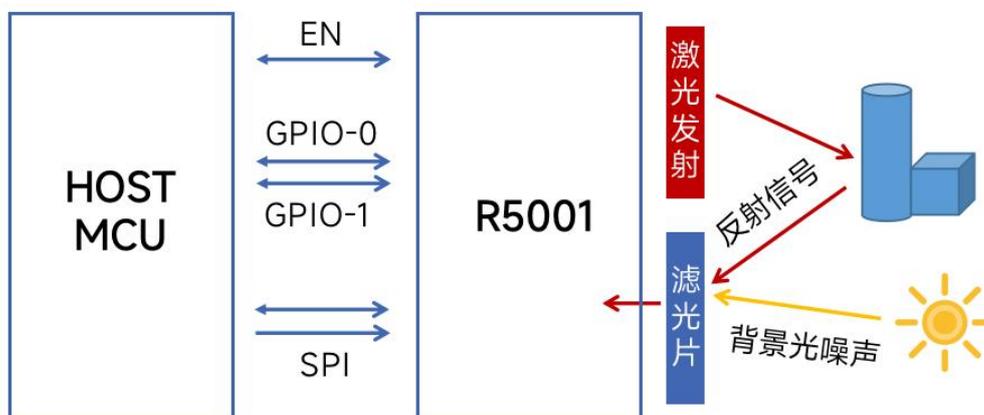


图 2: R5001 应用框图

1. 芯片特性

1.1. 单光子技术简介

单光子探测是一种近年来新兴的探测光电探测技术。因其超高的灵敏度，甚至可以探测到光的能量的最小单位：单个光子，得名“单光子探测技术”，英文名：single-photon avalanche diode。

SPAD 与 APD 或光电二极管之间的根本区别在于，SPAD 的偏置远高于其反向偏置击穿电压。而 APD 和普通的光电二极管(例如 P-i-n)反向偏置电压一般低于其工作电压。所以 SPAD 有时候又被称之为 Geiger mode APD，即工作在盖个模式下的 APD。因此 SPAD 相比 APD 有着更高的灵敏度。这意味着，在其他条件一致的情况下，使用 SPAD 的作为光接收器的激光雷达模组可以测量更远的距离；或者说测量同样的距离，SPAD 所需要的光发射功率通常低于 APD。

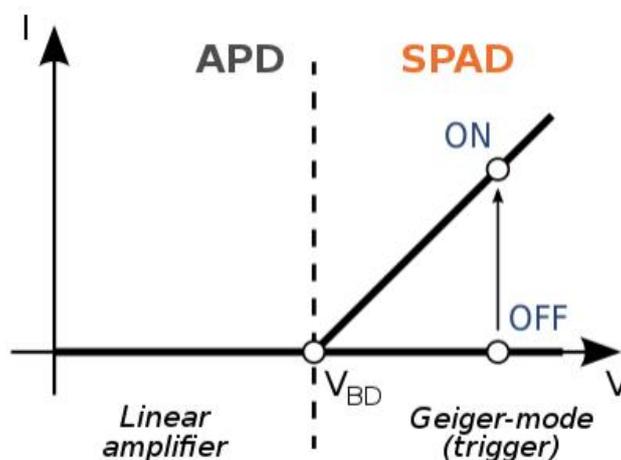


图 3: APD 与 SPAD 工作电压

另外，因为 SPAD 感光区域可以采用标准的 CMOS 工艺制作，从而可以与后续的光电信号处理电路集成到一款芯片上。这大大简化了激光雷达模组设计的难度与成本，真正的做到了 System on Chip。

表 1: 基于 APD 与 SPAD 的雷达对比

	APD	SPAD
偏置电压	低于反偏电压	高于反偏电压
工作区域	线性区	反偏区
放大倍数	1-200	无穷
反偏电压	50-200 V	10-20 V
后续电路	TIA+LA+Comparator	Q&R
测距原理	单次测量	多次统计

1.2. 基于 R5001 的模组产品优势

传统的扫地机器人，一般采用三角法激光雷达。和三角法激光雷达相比，使用 R5001 SPAD 技术的 D-ToF 雷达有着如下优势：测距更远，成本更低，体积更小，完全密封不惧灰尘，三角法激光雷达与 D-ToF 激光雷达的对比参见表格。

表 2: 基于三角法的激光雷达与 R5001 的 ToF 激光雷达对比

	三角法	R5001 D-ToF
体积	大	小
内置于扫地机	无	可以
测量距离	6 米	15 米
测量精度	近距离误差小 远距离误差大	远距离维持高精度
生成及校准成本	复杂	简单
成本	中等	低

2. 芯片内部框图

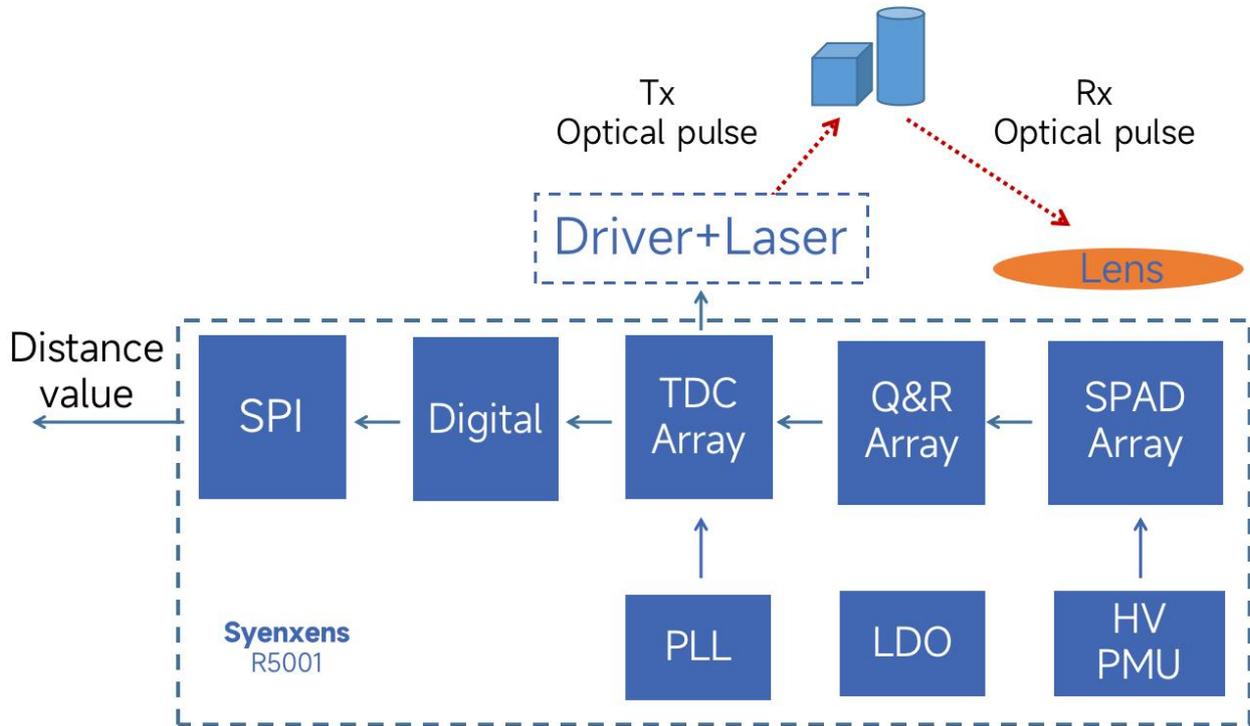


图 4: R5001 芯片内部框图

3. Pin 芯片管脚定义

3.1. 管脚分布

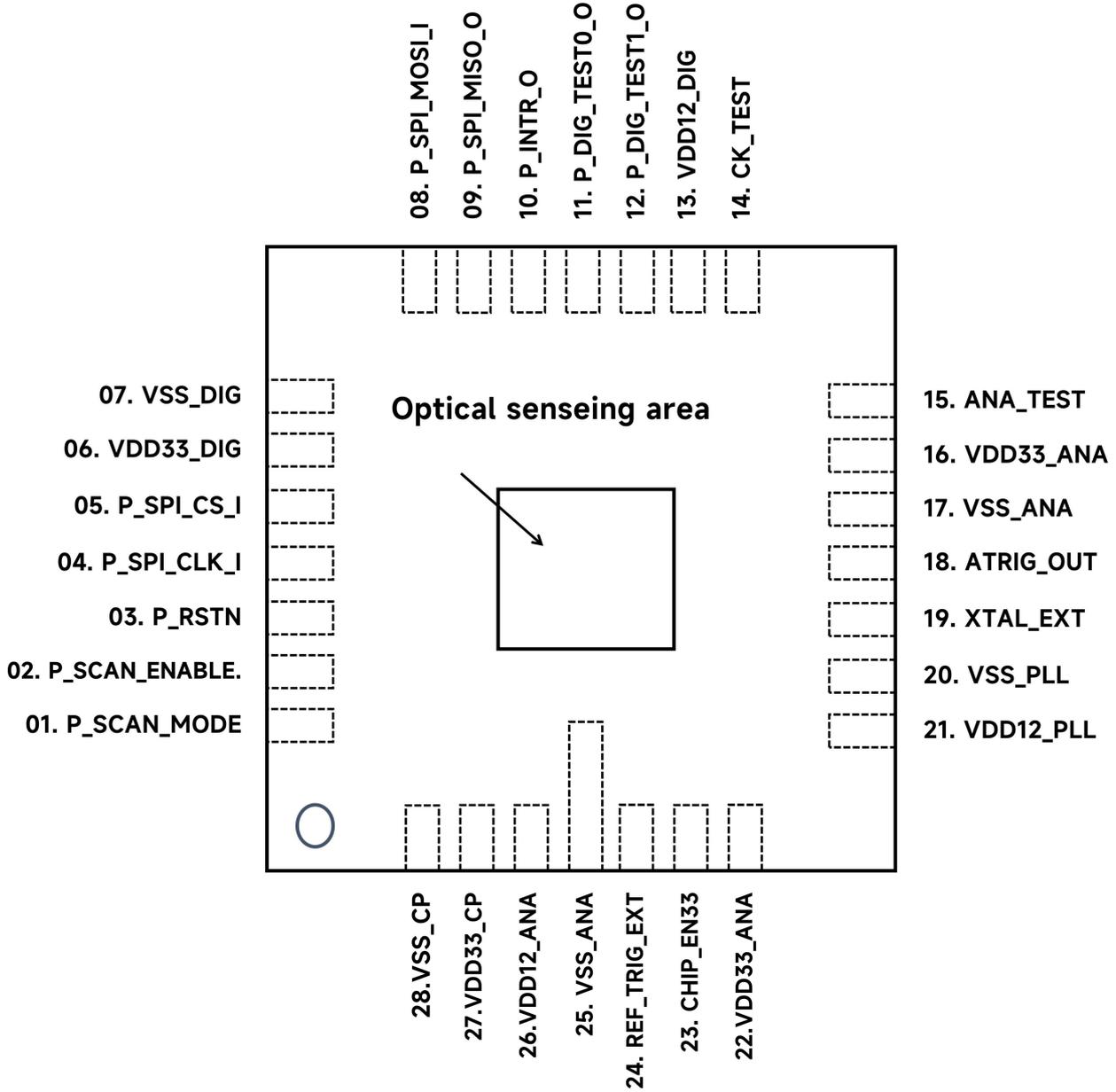


图 5: R5001 管脚分布 (顶视图)

3.2. 管脚描述

表 3: R5001 管脚描述

管脚	名称	类型	描述
1	VSS	GND	接地
2	VSS	GND	接地
3	RSTN	Input	芯片复位（低电平有效）
4	SPI_CLK	Input	SPI 时钟输入
5	SPI_CS	Input	SPI 片选
6	VDD33_DIG	Power	接 3.3V 电源
7	VSS_DIG	GND	接地
8	SPI_MOSI	Input	SPI main in
9	SPI_MISO	Output	SPI main out
10	INTR	Output	中断
11	NC	-	-
12	NC	-	-
13	VDD12_DIG	Output	片内 LDO 输出, 接 2.2uF 电容
14	NC	-	-
15	NC	-	-
16	VDD33_ANA	Power	接 3.3V 电源
17	VSS_ANA	GND	接地
18	ATRIG_OUT	Output	激光驱动脉冲输出
19	XTAL_EXT	Input	晶振参考时钟输入 (8MHz)
20	VSS_PLL	GND	接地
21	VDD12_PLL	Output	片内 LDO 输出, 接 2.2uF 电容
22	VDD33_ANA	Power	接 3.3V 电源
23	CHIP_EN	Input	芯片使能（高电平有效）
24	REF_TRIG_EXT	Input	外部参考输入; 如果不用, 此管脚需要接地
25	VSS_ANA	GND	接地
26	VDD12_ANA	Output	LDO 输出, 接 2.2uF 电容
27	VDD33_CP	Ground	接 3.3V 电源
28	VSS_CP	GND	接地

4. 封装

4.1. 封装

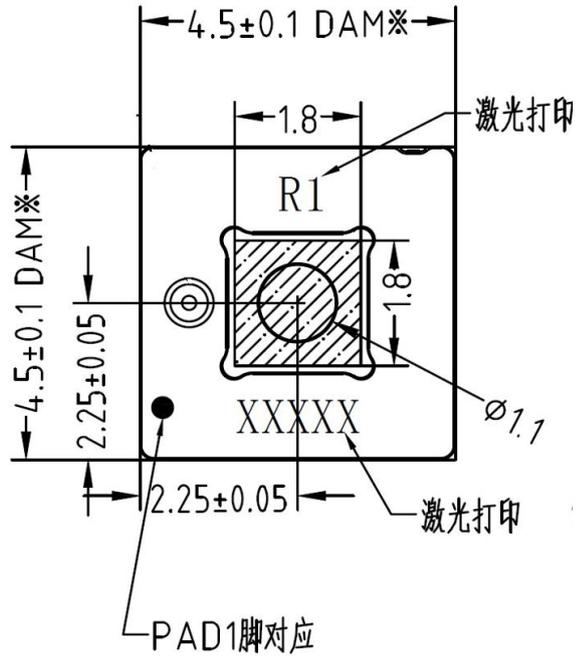


图 6: R5001 俯视图

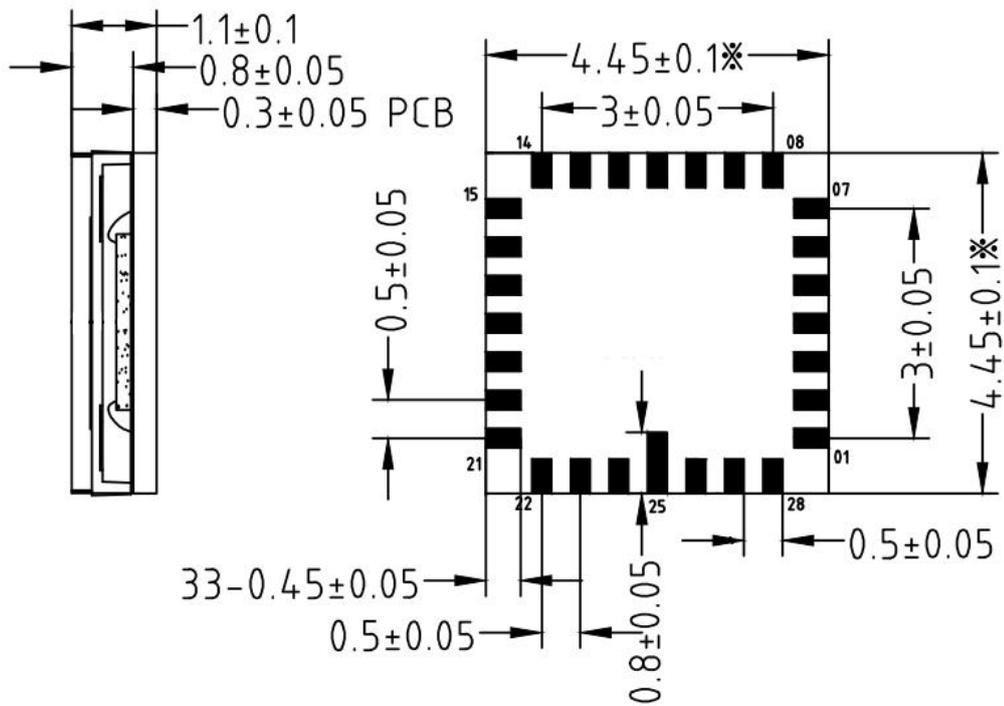


图 7: R5001 侧视图和底视图

说明:

- 芯片长宽: $4.5 \times 4.5 \pm 0.1 \text{mm}$
- 芯片厚度: $1.1 \pm 0.10 \text{mm}$

4.2. PCB Layout 参考设计

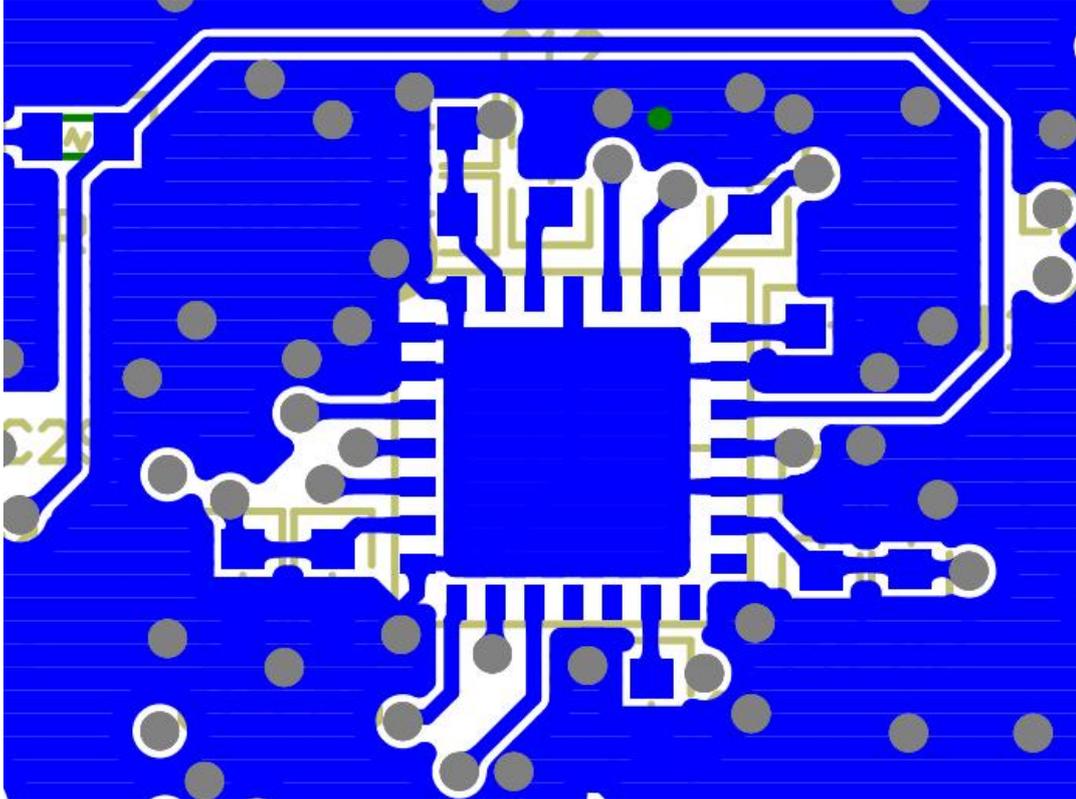


图 8: R5001 外围 PCB layout 参考

4.3. 滤光片信息

芯片滤光片有两个版本：

- (1) R5001-NF：封装开孔位置无滤光片；
- (2) R5001：封装开孔位置内侧贴有 905nm 滤光片，半峰宽：905nm±20nm。

5. 电气特性

5.1. 绝对最大额定值

表 4: 绝对最大额定值

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit
VDD33_DIG, VDD33_ANA, VDD33_CP	3.3V supply voltage	-0.3	3.6	V
VSS_DIG, VSS_ANA, VSS_PLL, VSS_CP	Ground	0.0	0.0	V
RSTN, SPI_CLK, SPI_CS, SPI_MOSI, SPI_MISO, INTR, XTAL_EXT, CHIP_EN, REF_TRIG_IN	Input pin	-0.3	VDD+0.3	V

5.2. 推荐工作条件

表 5: 推荐工作条件

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
VDD33_DIG, VDD33_ANA, VDD33_CP	3.3V supply voltage	2.8	3.3	3.6	V
RSTN, SPI_CLK, SPI_CS, SPI_MOSI, SPI_MISO, INTR, XTAL_EXT, CHIP_EN, REF_TRIG_IN	Input pin	0	-	VDD33	
Temperature range	free-air temperature	-20	25	60	°C

5.3. ESD 参数

表 6: ESD 参数

Symbol	Parameter	Condition	Specification
ESDHBM	Electrostatic Discharge HBM	±2000V	JS-001-2014
ESDCDM	Electrostatic Discharge CDM	±500V	JEDEC JESD22-C101F

6. 接口定义

外部 MCU 主要通过 SPI 接口来控制 and 访问芯片。芯片的 SPI 控制器只能作为 SPI 从机使用。外部 MCU 需要配置成 SPI 主机模式。

6.1. SPI 从机接口和时序

4 线 SPI 接口定义：

- NSS：从机选择输入
- SCLK：串行时钟输入
- MOSI：串行数据输入
- MISO：串行数据输出

SPI 接口的时序要求如图 9 所示：

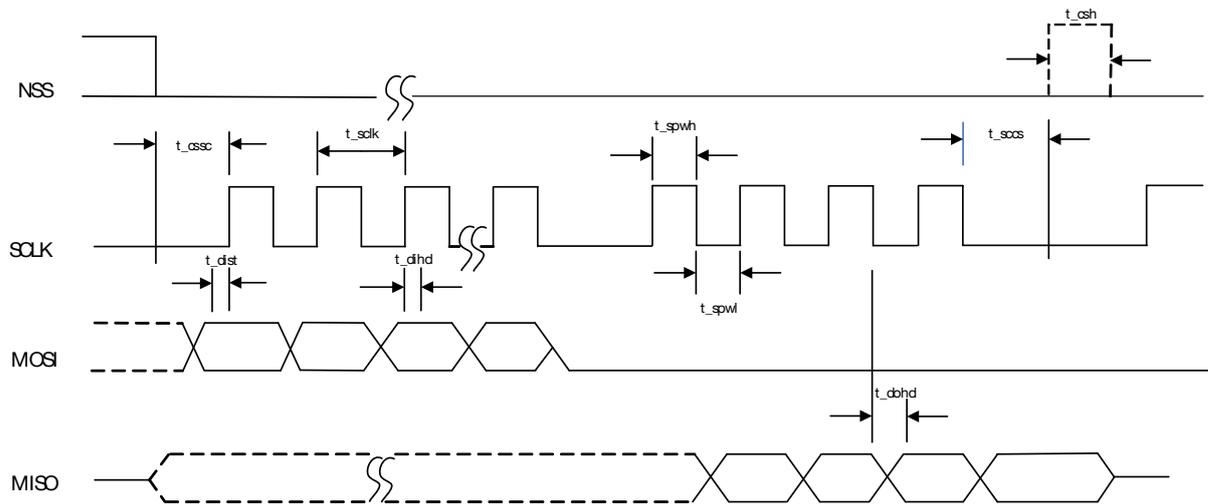


图 9: SPI 接口时序

图 9 中的时序规格在表 7 中给出：

表 7: SPI 时序规格

符号	参数	最小	一般	最大	单位
t_{cssc}	NSS 下降沿到第一个 SCLK 上升沿的间隙	12			ns
t_{socs}	最后一个 SCLK 下降沿到 NSS 上升沿的间隙	12			ns

符号	参数	最小	一般	最大	单位
t_csh	NSS 为高的脉冲宽度	90			ns
t_sclk	SCLK 周期	25			ns
t_spwh	SCLK 为高的脉冲宽度		12.5		ns
t_spwl	SCLK 为低的脉冲宽度		12.5		ns
t_dist	MOSI 在 SCLK 上升沿前的建立时间	6			ns
t_dihd	MOSI 在 SCLK 上升沿后的保持时间	6			ns
t_dohd	SCLK 下降沿到 MISO 有效的保持时间			10	ns

1. SPI 的帧格式定义

SPI 协议是基于发送控制指令和接受回复指令的机制。MCU 作为 SPI 主机发送控制指令给作为 SPI 从机的芯片。芯片接受到指令后做相应的操作并且在下一帧做出回复。相应的帧格式数据是最高位先传送的。MCU 在一帧数据通信过程中需要 NSS 拉低。

SPI 帧控制指令格式是由 3 位控制标识符 (CID)，5 位地址 (CADDR) 和 8 位数据 (CDATA) 所组成。

- CID[2:0]
- CADDR[4:0]
- CDATA[7:0]

SPI 帧接受回复格式是由 3 位回复标识符 (RID)，5 位地址 (RADDR) 和 8 位数据 (RDATA) 所组成。

- RID[2:0]
- RADDR[4:0]

– RDATA[7:0]

连续两帧 SPI 通信如图 10 所示。可以看到，第一帧发送控制指令，在第二帧才接受第一帧指令的回复（灰色标记）。

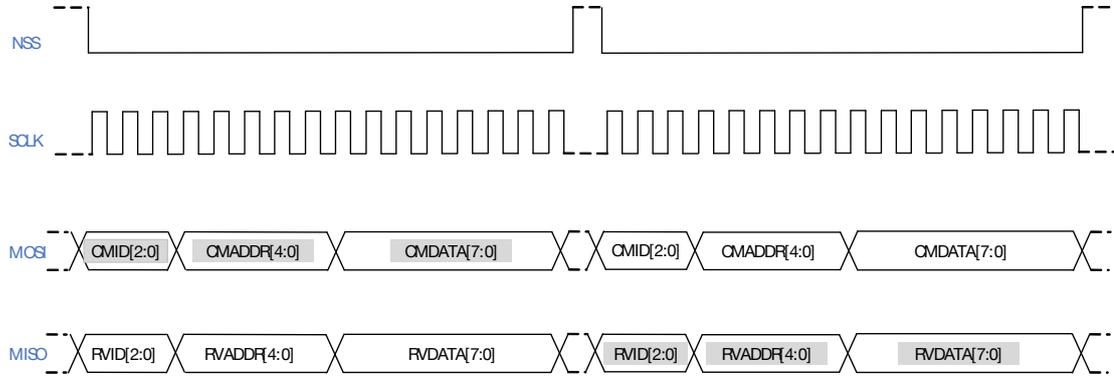


图 10: 连续两帧 SPI 通信

6.2. SPI 指令集

1) 控制指令

表 8: SPI 控制指令

指令名	CID	CADDR	DATA	操作/使用																																																															
INQUERY_S TAT	000	0 0000	0000 0000	可以用来查询上一个发送控制指令的回复																																																															
RD	001	A AAAA	0000 0000	用来读取下面地址的寄存器 AAAAA : 5 比特读取地址																																																															
WR	010	A AAAA	BBBB BBBB	用来写数据到下面地址的寄存器 AAAAA : 5 比特写地址 BBBB BBBB : 8 比特写数据																																																															
STOP	011	0 0000	0000 0000	用来停止未完成的读或写操作																																																															
SECTOR_ NUM	100	A BCDE	0000 0000	用来选择寄存器页。页对应的寄存器地址范围如下																																																															
				<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> <th>段号</th> <th>寄存器地址范围</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0x000-0x01F</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0x020-0x03F</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>2</td> <td>0x040-0x05F</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>0x060-0x07F</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>...</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>29</td> <td>0x3A0-0x3BF</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>30</td> <td>0x3C0-0x3DF</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>31</td> <td>0x3E0-0x3FF</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	C	D	E	段号	寄存器地址范围	0	0	0	0	0	0	0x000-0x01F	0	0	0	0	1	1	0x020-0x03F	0	0	0	1	0	2	0x040-0x05F	0	0	0	1	1	3	0x060-0x07F	1	1	1	0	1	29	0x3A0-0x3BF	1	1	1	1	0	30	0x3C0-0x3DF	1	1	1	1	1	31	0x3E0-0x3FF
A	B	C	D	E	段号	寄存器地址范围																																																													
0	0	0	0	0	0	0x000-0x01F																																																													
0	0	0	0	1	1	0x020-0x03F																																																													
0	0	0	1	0	2	0x040-0x05F																																																													
0	0	0	1	1	3	0x060-0x07F																																																													
...																																																													
1	1	1	0	1	29	0x3A0-0x3BF																																																													
1	1	1	1	0	30	0x3C0-0x3DF																																																													
1	1	1	1	1	31	0x3E0-0x3FF																																																													
BURST_R D	111	A AAAA	BBBB BBBB	用来从某个寄存器地址开始的连续读取 AAAAA : 在当前页开始读取寄存器的首地址 BBBB BBBB : 连续读取的长度, 以字节为单位 比如: 0 : 读取长度为 1 个字节 1 : 读取长度为 2 个字节 255: 读取长度为 256 个字节																																																															

2) 回复指令

表 9: SPI 回复指令

指令名	RID	RADDR	Data	回复控制	操作/使用
READY	000	0 0000	0000 0000	INQUERY_STAT	SPI 从机处于闲置状态和芯片已经启动
RD_SUCCESS	001	A AAAA	BBBB BBBB	RD	返回读到的数据 A AAAA : 5 比特读取的地址 BBBB BBBB : 8 比特读到的数据
WR_SUCCESS	010	A AAAA	BBBB BBBB	WR	返回写成功 A AAAA : 5 比特写地址 BBBB BBBB : 8 比特写数据
RD_WIP	011	1 0011	0011 0011	RD	前一个读操作还未完成。 需要发送 INQUERY_STAT 指令直到收到回复指令 READY。
SECTOR_SUCCESS	100	00 AAA	0000 0000	SECTOR_NUM	返回对应的段号如果 SECTOR_SEL 操作成功 00 AAA : AAA 为 3 比特的段号
WR_WIP	110	0 1100	1100 1100	WR	这个回复表明芯片正在忙于执行写操作。 需要发送 NOP 指令直到收到回复指令 IDLE。 如果芯片一直回复 BUSY, 需要发送 STOP 指令。
BOOT_UP	111	0 1011	1111 1111	INQUERY_STAT	这个回复表明芯片还处于启动过程。 需要发送 NOP 指令直到收到回复指令 IDLE。
STOP_SUCCESS	111	0 0011	1000 1110	STOP	这个回复表明 STOP 执行成功。
ERROR	111	1 0101	1111 1111	任何	这个回复表明芯片处于错误状态。 需要复位。
SPI_BOOT_UP	111	1 1111	1111 1111	INQUERY_STAT	这个回复表明芯片 SPI 还未工作, 可能电源或复位还没完成。 需要发送 NOP 指令直到收到回复指令 IDLE。
BURST_RD_SUCCESS	110	1 0000	AAAA AAAA	BURST_RD	这个回复表明 BURST_RD 结束, 接受到的 CRC8 数据可以用来校验。 AAAA AAAA : 返回的由 BURST_RD 生成的 CRC8 数据。

3) 指令简介

INQUERY_STAT 指令:

INQUERY_STAT 指令用来查询 SPI 状态。下一帧收到的回复基于上一个控制命令。SPI 发送 INQUERY_STAT 控制命令后会收到以下几种回复:

- ERROR: 可能 SPI 在一帧内接受到数据是错误的比特数 (不等于 16)
- READY: 表明没有正在执行的操作

SECTOR_NUM 指令:

SECTOR_NUM 指令用来切换当前的寄存器段 (基址)。只有当 SPI 回复 SECTOR_SUCCESS 表明 SECTOR_NUM 执行成功。SPI 发送 SECTOR_NUM 控制命令后会收到以下几种回复:

- SECTOR_SUCCESS: 表明 SECTOR_NUM 执行成功
- ERROR: 可能 SPI 在一帧内接受到数据是错误的比特数 (不等于 16)

RD 指令:

RD 指令用来从请求地址读取寄存器数据。用户需要查询 RD_SUCCESS 回复中的地址来确认 RD 指令成功执行。SPI 发送 RD 控制命令后会收到以下几种回复:

- RD_SUCCESS: 表明 SPI 完成上一帧 RD 指令, 并返回了从请求的地址中读取的数据。
- RD_WIP: 表明 SPI 未完成上一帧 RD 指令
- WR_WIP: 表明 SPI 还未完成上一帧 WRTIE 指令
- ERROR: 可能 SPI 在一帧内接受到数据是错误的比特数 (不等于 16)

WR 指令:

WR 指令用来从请求地址写寄存器数据。用户需要查询 WR_SUCCESS 回复中的请求地址来确认 WR 指令是否成功。SPI 发送 WR 控制命令后会收到以下几种回复:

- WR_SUCCESS: 表明写成功
- WR_WIP: 表明 SPI 还未完成上一帧 WRTIE 指令
- RD_SUCCESS: 表明 SPI 完成上一帧 RD 指令, 并返回了从请求的地址中读取的数据。
- RD_WIP: 表明 SPI 未完成上一帧 RD 指令

- ERROR: 可能 SPI 在一帧内接受到数据是错误的比特数（不等于 16）

STOP 指令:

STOP 指令用来停止当前正在进行的操作。SPI 发送 STOP 控制命令后会收到以下几种回复:

- STOP_SUCCESS: 表明 EXIT 命令执行成功
- ERROR: 可能 SPI 在一帧内接受到数据是错误的比特数（不等于 16）

BURST_RD 指令:

BURST_RD 指令用来以某个首地址开始后一段寄存器连续读取。SPI 发送 BURST_RD 控制命令后会收到以下几种回复:

- BURST_RD_SUCCESS: 表明 BURST_RD 命令执行成功，并返回 CRC8 的校验数据。
- ERROR: 可能 SPI 在一帧内接受到数据是错误的比特数（不等于 16）

6.3. 地址空间

芯片寄存器的寻址空间是 1024 字节（0x00-0x3FF），因此可以分为 32 个段，每个段就有 32 个字节的寄存器空间。所访问的寄存器地址有基址+偏移地址所得。所以读写某个寄存器可以分为 2 个步骤：

第一步用 SECTOR_SEL 指令来确定基址，比如，SECTOR=0，基址为 0x00；SECTOR=1，基址为 0x20；SECTOR=2，基址为 0x40，以此类推。

第二步用 WR/RD 指令中的 5-bit CMADDR 来确定偏移地址，它的范围为 0x00-0x1F。

举例 1，如果写寄存器地址 0x56，写的值为 0xAA。计算可以得出基址：0x40，偏移地址为 0x16。通过两条指令可以完成

1) SECTOR_NUM : 100 00010 00000000 : 010 为 SECTOR_2，对应基址为 0x40

2) WR : 010 10110 10101010 : 10110 为偏移地址 0x16，10101010 为写值

举例 2，如果读寄存器地址 0xE3。计算可以得出基址：0xE0，偏移地址为 0x03。通过两条指令可以完成

3) SECTOR_NUM : 100 00111 00000000 : 111 为 SECTOR_7，对应基址为 0xE0

4) RD : 001 00011 00000000 : 00011 为偏移地址 0x03

6.4. 常见 SPI 帧操作

1) SECTOR_NUM+WR:

如图 11 所示，第一帧发出 SECTOR_NUM 命令来确定基址。第二帧发出写寄存器命令，来确定要写的偏移地址和写的值。同时收到 SECTOR_NUM 的回复 SECTOR_SUCCESS，表明 SECTOR_NUM 成功。第三帧仍旧发出写寄存器命令，来确定新的写操作偏移地址和写的值。同时收到回复 WR_SUCCESS，表明上一次的写寄存器成功。后面以此类推。

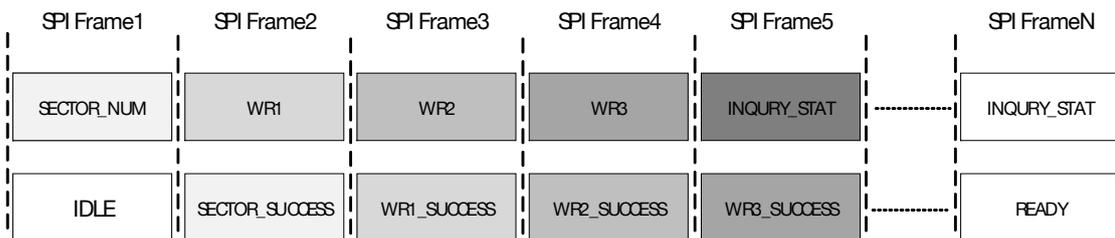


图 11: SECTOR_NUM+WR

2) SECTOR_NUM+RD

如图 12 所示，第一帧发出 SECTOR_NUM 命令来确定基址。第二帧发出读寄存器命令，来确定要读的偏移地址。同时收到 SECTOR_NUM 的回复 SECTOR_SUCCESS，表明 SECTOR_NUM 成功。第三帧发出新的读寄存器命令，确定新的读操作的偏移地址。同时收到回复 RD_SUCCESS，它的低 8 位是上一次读寄存器的值。后面以此类推。

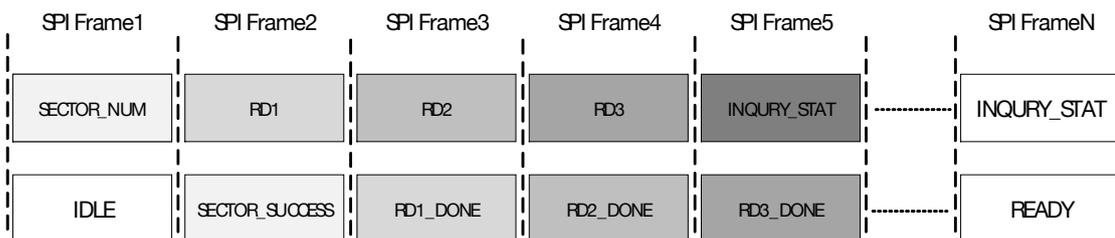


图 12: SECTOR_NUM+RD

3) RD

如图 13 所示，如果所要读的寄存器在当前基址范围内，则不需要改变基址，可以直接发起读指令。所以，第一帧发出读寄存器命令，来确定要读的偏移地址。第二帧发出新的读寄存器命令，确定新的读

操作的偏移地址。同时收到回复 RD_SUCCESS，它的低 8 位是上一次读寄存器的值。后面以此类推。

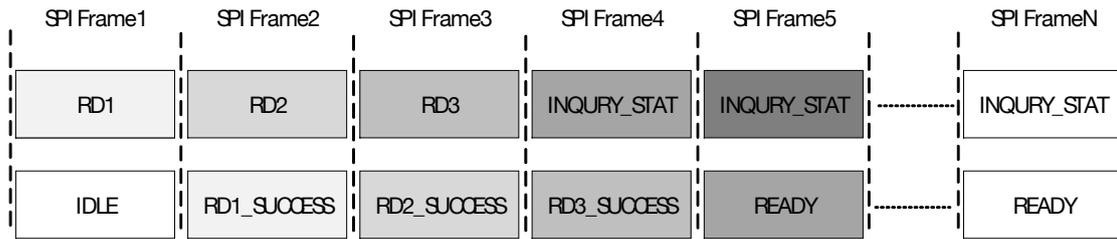


图 13: RD

4) WR

如图 14 所示，如果所要写的寄存器在当前基址范围内，则不需要改变基址，可以直接发起写指令。所以，第一帧发出写寄存器命令，来确定要写的偏移地址和写的值。第二帧发出新的写寄存器命令，确定新的写操作的偏移地址和写的值。同时收到回复 WR_SUCCESS，表明上次的写成功。后面以此类推。

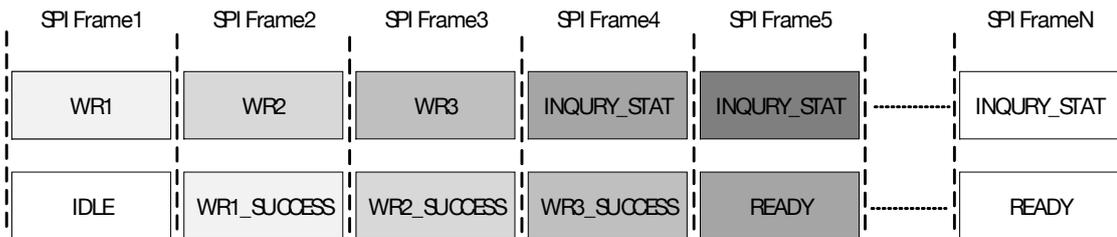


图 14: WR

5) WR+RD

如图 15 所示，如果所要写的寄存器在当前基址范围内，则不需要改变基址，可以直接发起写指令。第一帧发出写寄存器命令，来确定要写的偏移地址和写的值。如果第二次要读的寄存器也是在当前基址，不需要 SECTOR_NUM，则第二帧直接发出寄存器读命令，确定读操作的偏移地址。同时，收到回复 WR_SUCCESS，表明上次的写成功。后面以此类推。

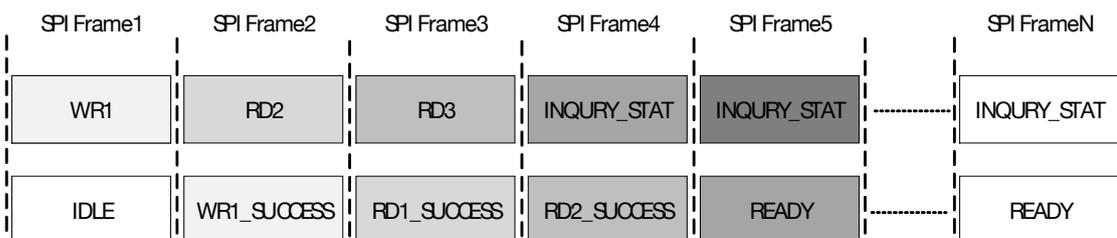


图 15: WR+RD

6) BURST_RD

如图 16，首先第一帧发出 BURST_RD 命令，此命令包含要读取的寄存器的首个偏移地址和连续读取的字节长度。第二帧会依次收到首个偏移地址所在寄存器读到值，首个偏移地址+1 所在寄存器读到值，以此类推，直到首个偏移地址+N 所在寄存器读到值。这个 N 的长度取决于连续读取的字节长度。第三帧则会收到 BURST_RD_SUCCESS 的回复，最低 8 位是上一次连续读取的值所做 CRC8 的校验值，用来检查数据完整性。

CRC8 的公式： $P(x) = x^8 + x^5 + x^4 + x^0$ ，初始值位 0。

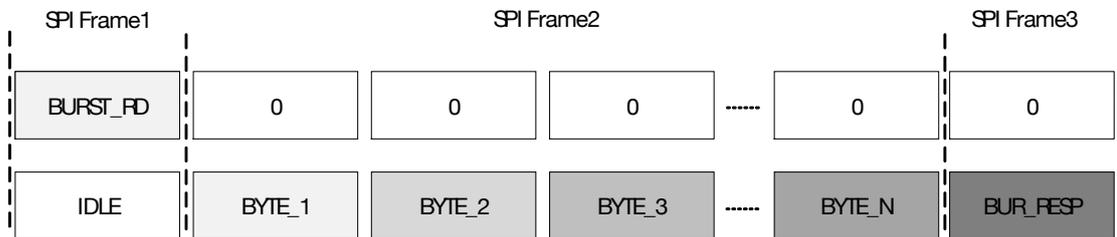


图 16: BURST_RD

7. 参考设计

7.1. 电路设计

POWER

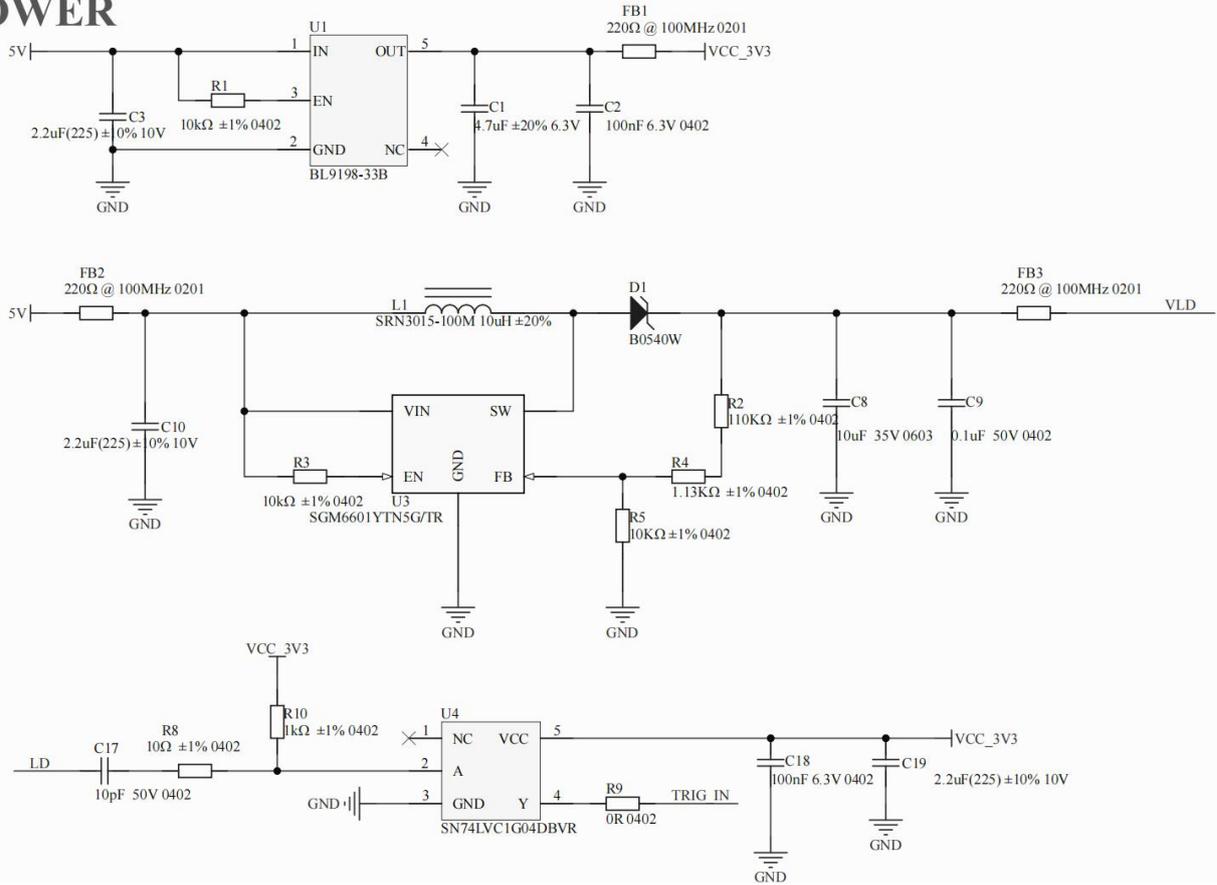


图 17: 基于 R5001 的单点测距模组电路图: 电源

8. 测试结果

8.1. 测距绝对误差

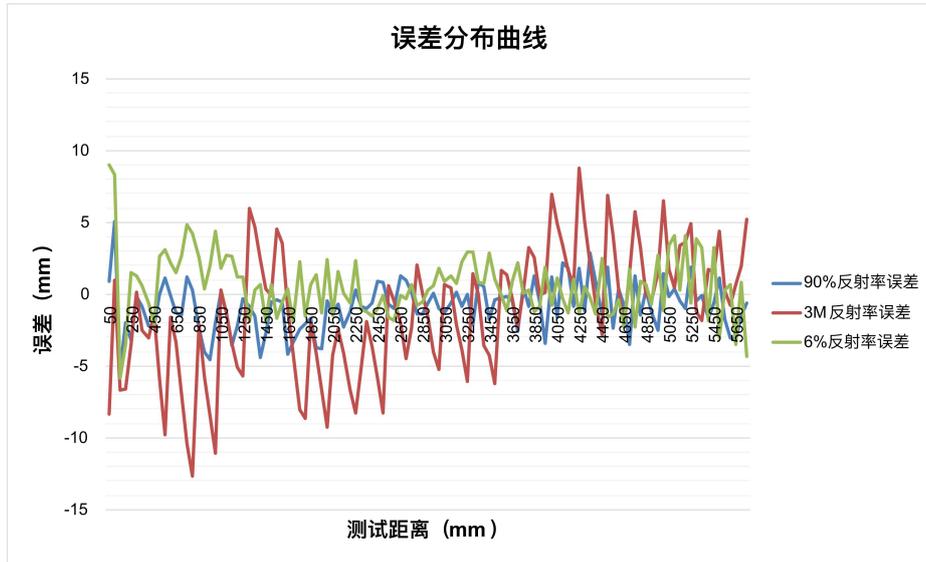


图 23: 50mm-5.7m, 不同反射率误差分布曲线（450 次测量与绝对距离的偏差）

8.2. 测距标准差

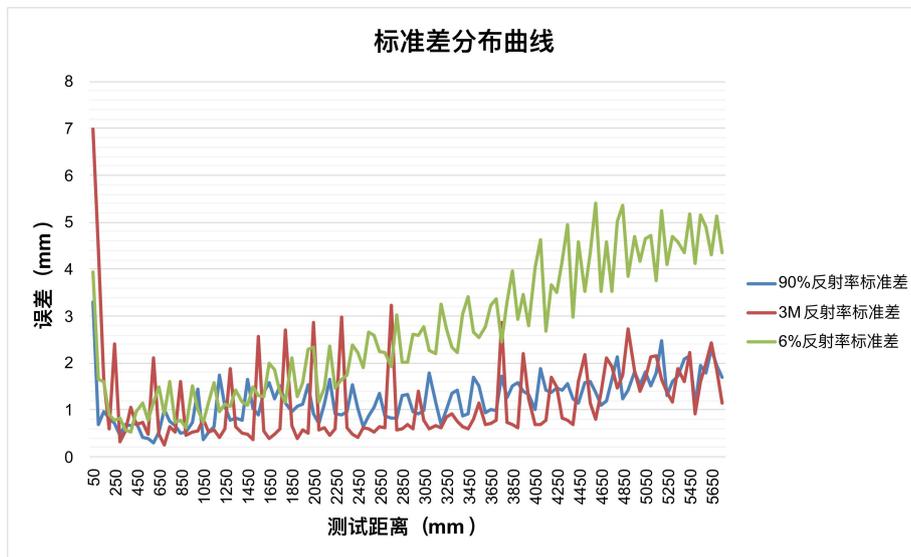


图 24: 50mm-5.7m, 不同反射率标准差分布曲线（450 次测量 1-sigma 标准差）

8.3. 户外阳光测试

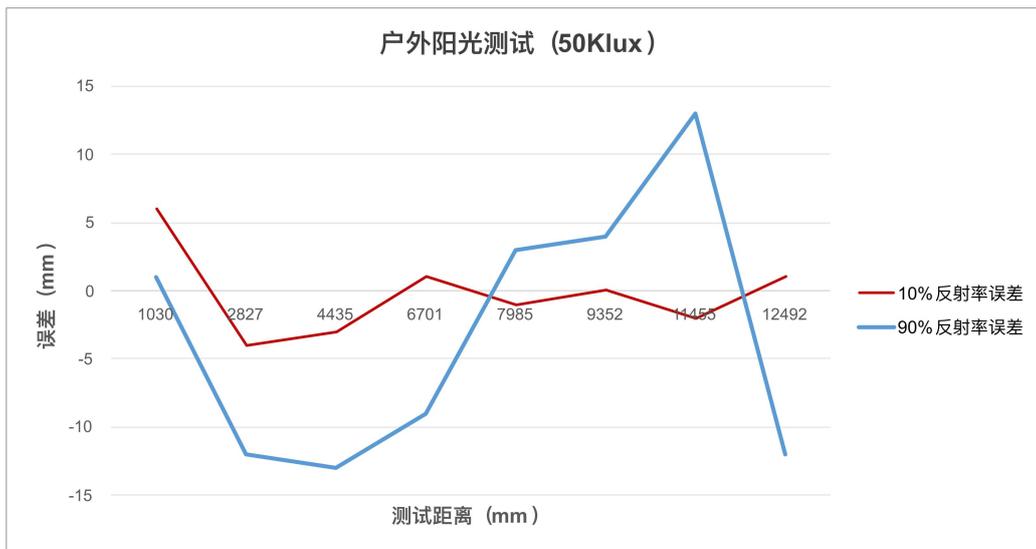


图 25: 1m-12.5m 不同反射率在 50Klux 阳光下的测距误差分布(帧率 2kHz)

8.4. 温漂测试

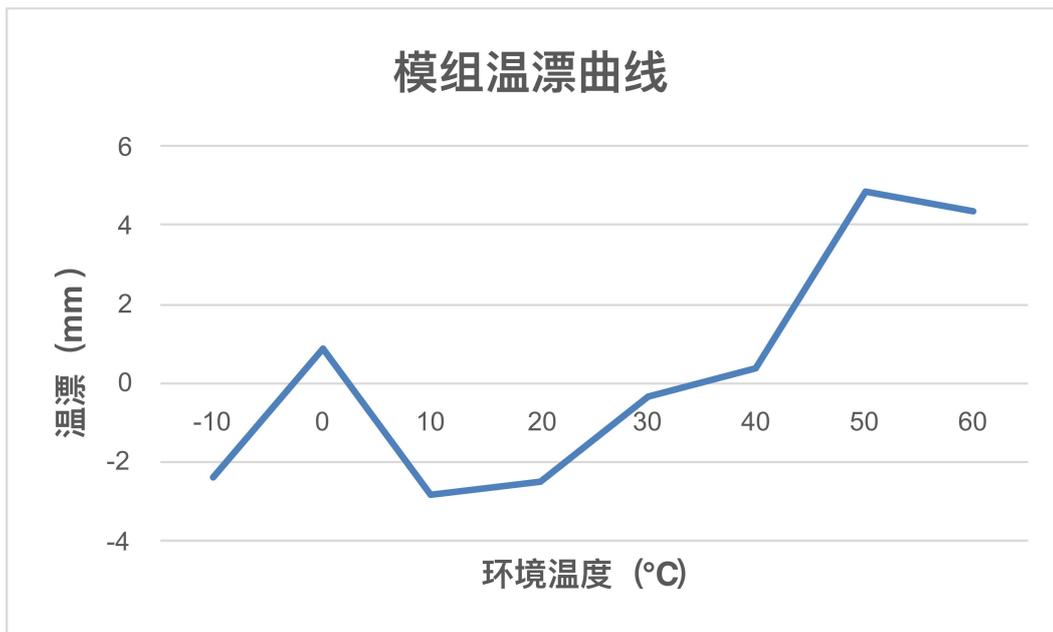


图 26: 模组在-10°C~60°C环境温度的温漂曲线

9. 生产焊接

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：

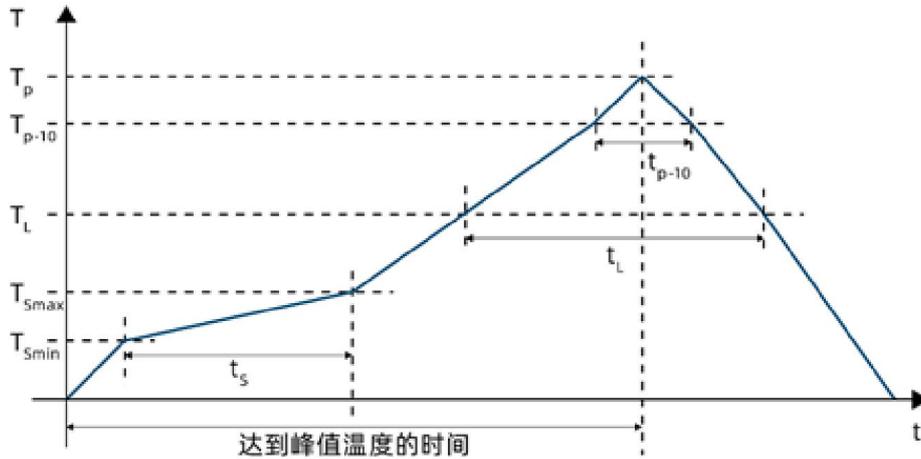


图 27: 推荐的回流焊温度曲线

表 10: 回流焊曲线温度说明

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
tS 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。

10. 卷带信息

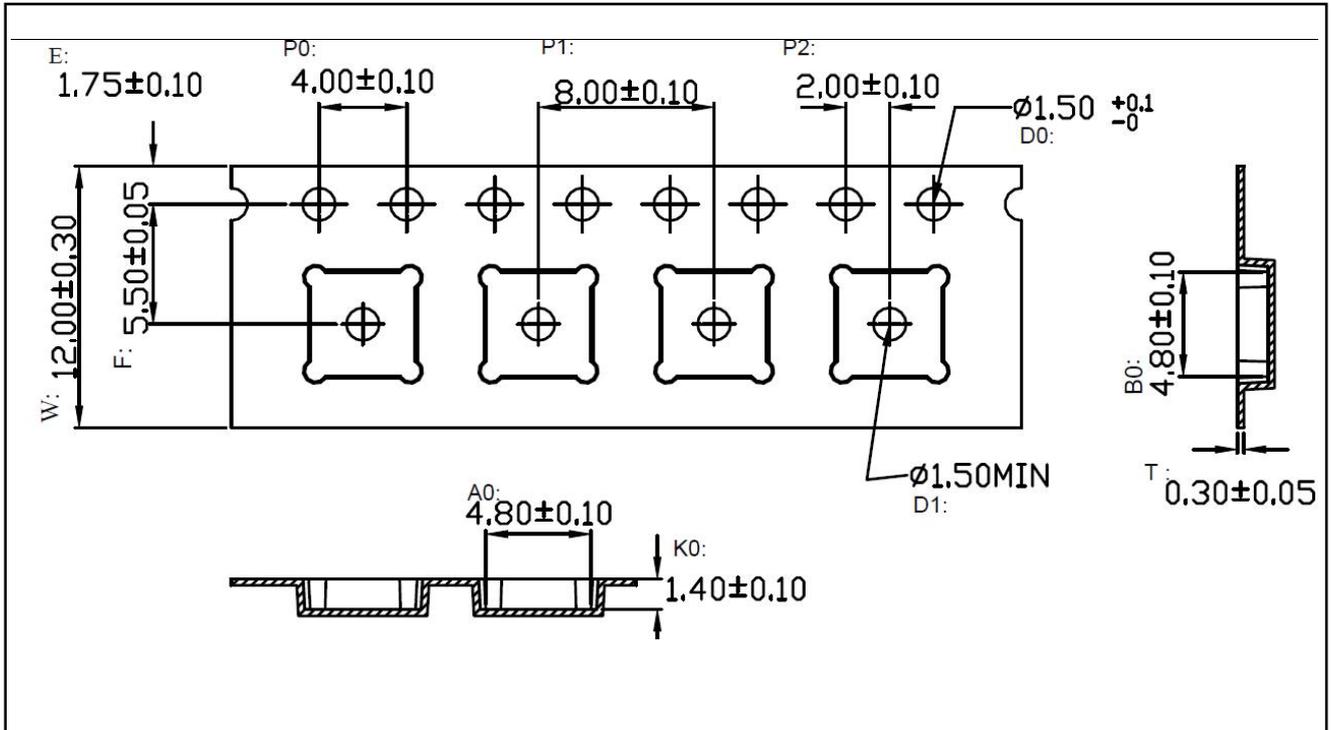


图 28: 卷带尺寸

说明:

- 除另有说明外，图中所有尺寸均以 mm 计算
- 10 个齿孔节距的累计公差为 ± 0.2 mm
- 250 mm 内的弧度不超过 1 mm
- 材料：黑色导电聚苯乙烯
- 所有尺寸均符合 EIA-481 要求
- A_0 和 B_0 测于底部上方 0.30 ± 0.05 mm
- K_0 为槽穴内底平面到载带上表面的深度
- 相对于齿孔测量的槽穴位置为实际槽穴位置，非槽孔位置

11. 订购信息

表 11: 订购信息

订购编码	封装类型	包装	最小包装	备注
R5001-NF-PA	LGA28	Tpae/reel	3000pcs	无滤光片
R5001-PA	LGA28	Tpae/reel	3000pcs	905nm 滤光片

12. 芯片认证

TBD

13. 缩略语列表

表 12: 英语缩写及解释

缩写	全称	中文
SPAD	Single photon avalanche diode	单光子雪崩二极管
VCSEL	Vertical-cavity surface-emitting laser	垂直腔体激光发射器
ToF	Time of flight	飞行时间
i-ToF	Indirect time of flight	间接法飞行时间
d-ToF	Direct time of flight	直接法飞行时间
LIDAR	Light Detection and Ranging	激光雷达

14. 修订记录

表 13: R5001 Datasheet 版本修订记录

版本号	时间	内容
1.10	2022.8.20	初版
1.11	2023.6.26	更新管脚描述
1.12	2023.10.29	更新管脚和电路参考图
1.13	2023.11.25	更新管脚分布和管脚描述
1.14	2023.12.7	修改了 SPI 的定义
1.15	2024.1.16	修正了管脚定义与测距结果
1.16	2024.2.12	更新了测试数据
1.17	2024.2.23	更新封装信息
1.18	2024.2.28	调整封装图纸, 增加卷带信息

15. 版权和免责声明

- 以下内容的版权归 Synexens（以下简称“Synexens”）所有。未经 Synexens 书面许可，严禁向任何第三方（新闻媒体工作者含在内）披露或公开任何机密信息，或挪用此类信息用于其他目的。一旦查实有关违反版权的行为，Synexens 将依法追求相应的法律责任和损害赔偿。
- Synexens 保留在不事先通知的情况下变更或更新产品信息和规格的权利。本文件提供的所有产品信息及规格仅供参考，由于信息的错误或遗漏以及基于此信息而作出的任何决定所产生的后果，Synexens 不承担任何责任。
- 客户应对其产品和应用负责。本文件所述的典型值在不同应用中可能会有所不同，因而所有操作参数，包括典型值，都应由客户端的技术专家再次确认。
- Synexens 在此声明，我们未授予或暗示对任何第三方知识产权的使用权。
- 对于未经 Synexens 设计或认证用于支持生命维持设备或可能导致个人伤亡的其他高风险应用的情况，客户必须承认并同意，其在使用 Synexens 提供的信息时将承担应用运行的全部风险及责任，并且需向 Synexens 及其雇员补偿因直接或间接从事诉讼所产生的索赔金额、成本、损害赔偿和律师费。
- 此外，Synexens 不会承担由于产品滥用或不当使用造成的任何责任或损害赔偿。