

ESP32-S2 系列芯片

芯片版本 v1.0

技术规格书

搭载 Xtensa[®] 单核 32 位 LX7 微处理器的 SoC
支持 IEEE 802.11b/g/n (2.4 GHz Wi-Fi)

包括：

ESP32-S2

ESP32-S2FH2

ESP32-S2FH4

ESP32-S2FN4R2

ESP32-S2R2



版本 1.5
乐鑫信息科技
版权 © 2022

关于本手册

本文档为用户提供 ESP32-S2 系列芯片的技术规格。

文档版本

请至乐鑫官网 <https://www.espressif.com/zh-hans/support/download/documents> 下载最新本本文档。

修订历史

请至文档最后页查看[修订历史](#)。

文档变更通知

用户可以通过乐鑫官网订阅页面 www.espressif.com/zh-hans/subscribe 订阅技术文档变更的电子邮件通知。您需要更新订阅以接收有关新产品的文档通知。

证书下载

用户可以通过乐鑫官网证书下载页面 www.espressif.com/zh-hans/certificates 下载产品证书。

产品概述

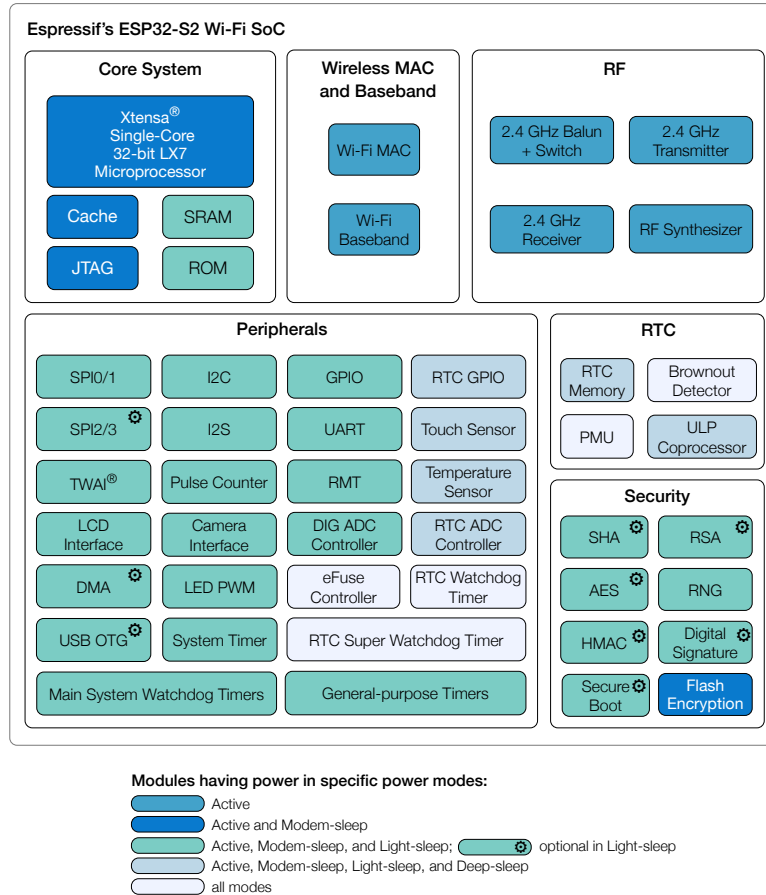


图 1: 功能框图

ESP32-S2 系列芯片是高集成度的低功耗 Wi-Fi 系统级芯片 (SoC)、专为物联网 (IoT)、移动设备、可穿戴电子设备、智能家居等各种应用而设计，具有行业领先的低功耗性能和射频性能。

芯片包括一个功能完备的 Wi-Fi 子系统，符合 IEEE 802.11b/g/n 协议。Wi-Fi 子系统集成了 Wi-Fi MAC、Wi-Fi 射频和基带、天线开关、射频 Balun、功率放大器、低噪声放大器等，提供了一个完整的 Wi-Fi 解决方案。

ESP32-S2 系列芯片搭载 Xtensa® 32 位 LX7 单核处理器，工作频率高达 240 MHz。芯片支持二次开发，无需使用其他微控制器或处理器。

该系列芯片带有 320 KB SRAM，128 KB ROM，可通过 SPI/QSPI/OSPI 接口外接 flash 和片外 RAM。

ESP32-S2 系列芯片支持多种低功耗工作状态，ULP

低功耗协处理器可在超低功耗状态下运行，能够满足各种应用场景的功耗需求。芯片所特有的精细时钟门控、动态电压时钟频率调节、可调节的射频功率放大器的输出功率等特性，可以实现通信距离、数据率和功耗之间的最佳平衡。

ESP32-S2 系列芯片提供丰富的外设接口，包括 SPI，I2S，UART，I2C，LED PWM，LCD 接口，Camera 接口，ADC，DAC，触摸传感器，温度传感器和多达 43 个 GPIO。此外，该系列芯片还包括一个全速 USB On-The-Go (OTG) 接口，可以支持使用 USB 通信。

ESP32-S2 系列芯片具有多种特有的硬件安全机制。硬件加密加速器支持 AES、SHA 和 RSA 算法。RNG、HMAC 和数字签名 (Digital Signature) 模块提供了更多安全性能。其他安全特性还包括 flash 加密和安全启动 (secure boot) 签名验证等。完善的安全机制使芯片能够满足严格的安全要求。

产品特性

Wi-Fi

- 支持 IEEE 802.11 b/g/n 协议
- 在 2.4 GHz 频带支持 20 MHz 和 40 MHz 频宽
- 支持单频 1T1R 模式，数据速率高达 150 Mbps
- 无线多媒体 (WMM)
- 帧聚合 (TX/RX A-MPDU, RX A-MSDU)
- 立即块确认 (Immediate Block ACK)
- 分片和重组 (Fragmentation & defragmentation)
- Beacon 自动监测 (硬件 TSF)
- 4 × 虚拟 Wi-Fi 接口
- 同时支持基础结构型网络 (Infrastructure BSS) Station 模式/SoftAP 模式/混杂模式
请注意 ESP32-S2 系列芯片在 Station 模式下扫描时，SoftAP 信道会同时改变
- 802.11mc FTM

CPU 和存储

- Xtensa® 32 位 LX7 单核处理器，主频高达 240 MHz
- CoreMark® 分数：
 - 单核 240 MHz: 472.73 CoreMark; 1.97 CoreMark/MHz
- 128 KB ROM
- 320 KB SRAM
- 16 KB RTC SRAM
- 嵌入式 flash 和 PSRAM (不同型号有差异，详见章节 1: [产品型号对比](#))
- SPI/QSPI/OSPI 接口外接多个 flash 和片外 RAM
- 通过 cache 加速 flash 访问
- 支持 flash 在电路编程 (ICP)

高级外设接口和传感器

- 43 × GPIO 口
- 数字接口：
 - 4 × SPI
 - 1 × I2S
 - 2 × I2C
 - 2 × UART
 - 1 × RMT (TX/RX)
 - LED PWM 控制器，多达 8 个通道
 - 4 × 脉冲计数器
 - 1 × 全速 USB OTG
 - 1 × DVP 8/16 camera 接口，与 I2S 共用一套硬件资源
 - 1 × LCD 接口 (8 位串口 RGB/8080/6800)，与 SPI2 共用一套硬件资源
 - 1 × LCD 接口 (8/16/24 位并口)，与 I2S
- 共用一套硬件资源
 - DMA 控制器
 - 1 × TWAI® 控制器，兼容 ISO11898-1 (CAN 规范 2.0)
- 模拟接口：
 - 2 × 12 位 SAR 模/数转换器，多达 20 个通道
 - 2 × 8 位数/模转换器
 - 14 × 电容式传感 GPIO
 - 1 × 温度传感器
- 定时器：
 - 1 × 64 位通用定时器
 - 1 × 64 位系统定时器
 - 3 × 看门狗定时器
 - 1 × 超级看门狗定时器
 - 1 × XTAL32K 看门狗定时器

低功耗管理

- 电源管理单元
 - ULP-RISC-V 协处理器
- 超低功耗协处理器 (ULP):
 - ULP-FSM 协处理器

安全机制

- 安全启动
 - Hash (FIPS PUB 180-4)
- Flash 加密
 - RSA
- 4096 位 OTP, 用户可用的高达 1792 位
 - 随机数生成器 (RNG)
- 加密硬件加速器:
 - HMAC
 - 数字签名

应用 (部分举例)

- 通用低功耗 IoT 传感器 Hub
 - 网络音乐播放器
- 通用低功耗 IoT 数据记录器
 - 音频流媒体设备
- 摄像头视频流传输
 - 网络广播
- OTT 电视盒/机顶盒设备
- USB 设备
- 语音识别
- 图像识别
- Mesh 网络
- 家庭自动化
 - 智能照明
 - 智能插座
 - 智能门锁
- 智慧楼宇
 - 照明控制
 - 能耗监测
- 工业自动化
 - 工业无线控制
 - 工业机器人
- 智慧农业
 - 智能温室大棚
 - 智能灌溉
 - 农业机器人
- 音频设备
- 健康/医疗/看护
 - 健康监测
 - 婴儿监控器
- Wi-Fi 玩具
 - 遥控玩具
 - 距离感应玩具
 - 早教机
- 可穿戴电子产品
 - 智能手表
 - 智能手环
- 零售 & 餐饮
 - POS 系统
 - 服务机器人

- 触摸感应交互
 - 防水功能
 - 距离感应
 - 滑条、滚轮设计

说明：

ESP32-S2 触摸传感器目前尚无法通过射频抗扰度测试系统 (CS) 认证，应用场景有所限制。

目录

| | |
|------------------------|----|
| 产品概述 | 3 |
| 产品特性 | 4 |
| 应用 | 5 |
| 1 产品型号对比 | 11 |
| 1.1 ESP32-S2 系列芯片命名 | 11 |
| 1.2 ESP32-S2 系列芯片对比 | 11 |
| 2 管脚定义 | 12 |
| 2.1 管脚布局 | 12 |
| 2.2 管脚描述 | 13 |
| 2.3 电源管理 | 16 |
| 2.4 Strapping 管脚 | 17 |
| 3 功能描述 | 19 |
| 3.1 CPU 和存储 | 19 |
| 3.1.1 CPU | 19 |
| 3.1.2 片上存储 | 19 |
| 3.1.3 外部 Flash 和片外 RAM | 19 |
| 3.1.4 存储器映射 | 20 |
| 3.1.5 Cache | 20 |
| 3.2 系统时钟 | 21 |
| 3.2.1 CPU 时钟 | 21 |
| 3.2.2 RTC 时钟 | 21 |
| 3.2.3 音频 PLL 时钟 | 21 |
| 3.3 模拟外设 | 21 |
| 3.3.1 模/数转换器 (ADC) | 21 |
| 3.3.2 数/模转换器 (DAC) | 21 |
| 3.3.3 温度传感器 | 22 |
| 3.3.4 触摸传感器 | 22 |
| 3.4 数字外设 | 22 |
| 3.4.1 通用输入/输出接口 (GPIO) | 22 |
| 3.4.2 串行外设接口 (SPI) | 22 |
| 3.4.3 LCD 接口 | 24 |
| 3.4.4 通用异步收发器 (UART) | 24 |
| 3.4.5 I2C 接口 | 24 |
| 3.4.6 I2S 接口 | 25 |
| 3.4.7 Camera 接口 | 25 |
| 3.4.8 红外遥控器 | 25 |
| 3.4.9 脉冲计数器 | 25 |
| 3.4.10 LED PWM | 25 |
| 3.4.11 DMA 控制器 | 25 |
| 3.4.12 全速 USB OTG 接口 | 25 |

| | |
|-----------------------------|-----------|
| 3.4.13 TWAI® 控制器 | 26 |
| 3.5 射频和 Wi-Fi | 26 |
| 3.5.1 2.4 GHz 接收器 | 26 |
| 3.5.2 2.4 GHz 发射器 | 26 |
| 3.5.3 时钟生成器 | 27 |
| 3.5.4 Wi-Fi 射频和基带 | 27 |
| 3.5.5 Wi-Fi MAC | 27 |
| 3.5.6 联网特性 | 27 |
| 3.6 RTC 和低功耗管理 | 27 |
| 3.6.1 电源管理单元 (PMU) | 28 |
| 3.6.2 超低功耗协处理器 (ULP) | 28 |
| 3.7 定时器 | 28 |
| 3.7.1 64 位通用定时器 | 28 |
| 3.7.2 看门狗定时器 | 29 |
| 3.8 加密硬件加速器 | 29 |
| 3.9 物理安全特性 | 29 |
| 3.10 外设管脚分配 | 30 |
| 4 电气特性 | 34 |
| 4.1 绝对最大额定值 | 34 |
| 4.2 建议工作条件 | 34 |
| 4.3 VDD_SPI 输出特性 | 34 |
| 4.4 直流电气特性 (3.3 V, 25 °C) | 35 |
| 4.5 ADC 特性 | 35 |
| 4.6 功耗特性 | 36 |
| 4.6.1 Active 模式下的 RF 功耗 | 36 |
| 4.6.2 其他功耗模式下的功耗 | 36 |
| 4.7 可靠性 | 37 |
| 4.8 Wi-Fi 射频 | 38 |
| 4.8.1 Wi-Fi 射频发射器 (TX) 规格 | 38 |
| 4.8.2 Wi-Fi 射频接收器 (RX) 规格 | 39 |
| 5 封装信息 | 41 |
| 6 相关文档和资源 | 43 |
| 附录 A - ESP32-S2 管脚清单 | 44 |
| A.1. IO MUX | 44 |
| A.2. GPIO_Matrix | 45 |
| 修订历史 | 49 |

表格

| | | |
|----|------------------------------|----|
| 1 | ESP32-S2 系列芯片对比 | 11 |
| 2 | 管脚描述 | 13 |
| 3 | ESP32-S2 系列芯片上电、复位时序图参数说明 | 17 |
| 4 | Strapping 管脚 | 17 |
| 5 | ESP32-S2 系列芯片上的电容式传感 GPIO | 22 |
| 6 | SPI 信号总线与芯片管脚的映射关系表 | 23 |
| 7 | 外设和传感器管脚分配 | 30 |
| 8 | 绝对最大额定值 | 34 |
| 9 | 建议工作条件 | 34 |
| 10 | VDD_SPI 输出特性 | 34 |
| 11 | 直流电气特性 (3.3 V, 25 °C) | 35 |
| 12 | ADC 特性 | 35 |
| 13 | RF 功耗 | 36 |
| 14 | Modem-sleep 模式下的功耗 | 36 |
| 15 | 低功耗模式下的功耗 | 37 |
| 16 | 可靠性 | 37 |
| 17 | Wi-Fi 频率 | 38 |
| 18 | 频谱模板和 EVM 符合 802.11 标准时的发射功率 | 38 |
| 19 | 发射 EVM 测试 | 38 |
| 20 | 接收灵敏度 | 39 |
| 21 | 最大接收电平 | 39 |
| 22 | 接收邻道抑制 | 40 |
| 23 | GPIO 交换矩阵 | 45 |

插图

| | | |
|---|---|----|
| 1 | 功能框图 | 3 |
| 2 | ESP32-S2 系列芯片命名 | 11 |
| 3 | ESP32-S2 系列芯片管脚布局（俯视图） | 12 |
| 4 | ESP32-S2 系列芯片数字电源管理 | 16 |
| 5 | ESP32-S2 系列芯片上电、复位时序图 | 17 |
| 6 | 地址映射结构 | 20 |
| 7 | QFN56 (7×7 mm) 封装，用于除 ESP32-S2FN4R2 之外的其他芯片变型 | 41 |
| 8 | QFN56 (7×7 mm) 封装，用于 ESP32-S2FN4R2 | 42 |

1. 产品型号对比

1.1 ESP32-S2 系列芯片命名

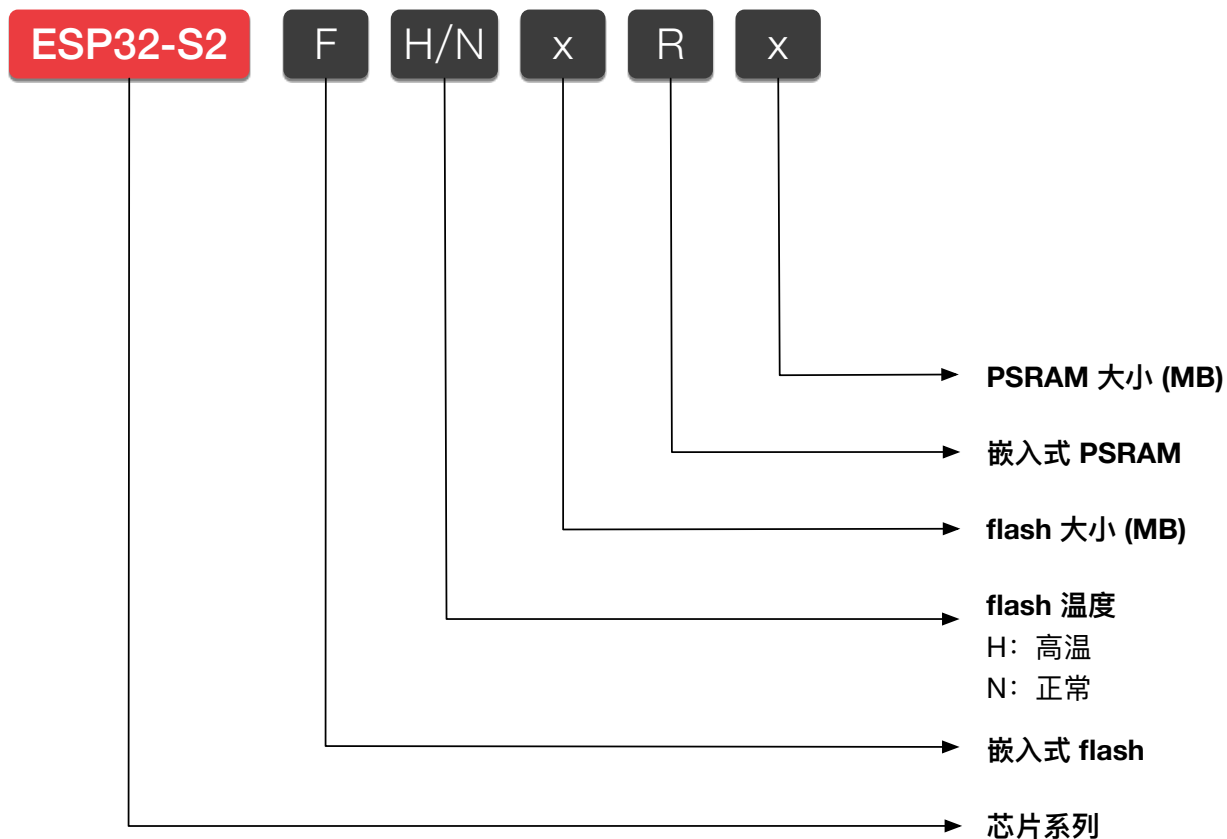


图 2: ESP32-S2 系列芯片命名

1.2 ESP32-S2 系列芯片对比

表 1: ESP32-S2 系列芯片对比

| 订购型号 | 嵌入式 flash | 嵌入式 PSRAM | 环境温度 (°C) |
|---------------|-----------|-----------|-----------|
| ESP32-S2 | — | — | -40 ~ 105 |
| ESP32-S2FH2 | 2 MB | — | -40 ~ 105 |
| ESP32-S2FH4 | 4 MB | — | -40 ~ 105 |
| ESP32-S2FN4R2 | 4 MB | 2 MB | -40 ~ 85 |
| ESP32-S2R2 | — | 2 MB | -40 ~ 85 |

说明:

- ESP32-S2 系列芯片有两个版本，识别方式和具体区别详见 [《ESP32-S2 系列芯片勘误表》](#)。
- 有关结温的信息，请参阅表 9。

2. 管脚定义

2.1 管脚布局

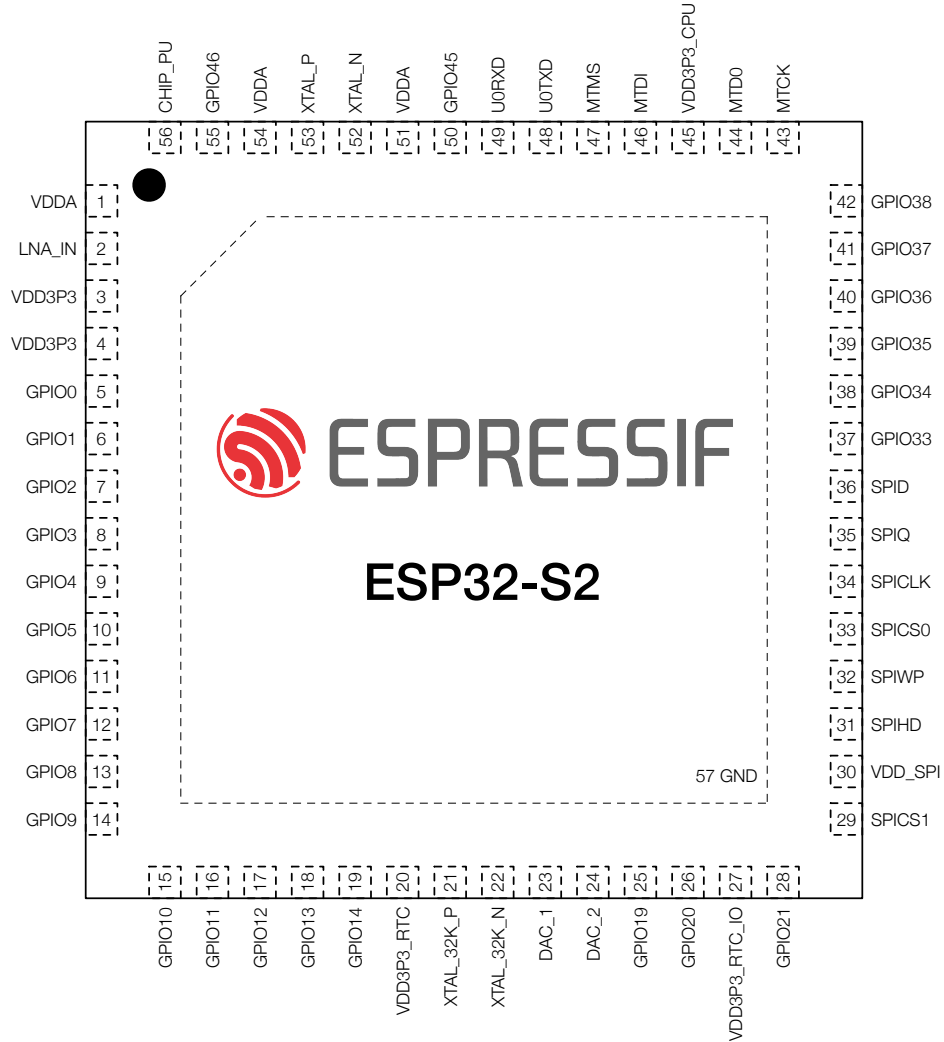


图 3: ESP32-S2 系列芯片管脚布局 (俯视图)

2.2 管脚描述

表 2: 管脚描述

| 名称 | 序号 | 类型 | 电源域 | 功能 |
|------------|----|----------------|---------------|---|
| VDDA | 1 | P _A | — | 模拟电源 |
| LNA_IN | 2 | I/O | — | 射频输入和输出 |
| VDD3P3 | 3 | P _A | — | 模拟电源 |
| VDD3P3 | 4 | P _A | — | 模拟电源 |
| GPIO0 | 5 | I/O/T | VDD3P3_RTC_IO | RTC_GPIO0, GPIO0 |
| GPIO1 | 6 | I/O/T | VDD3P3_RTC_IO | RTC_GPIO1, GPIO1, TOUCH1, ADC1_CH0 |
| GPIO2 | 7 | I/O/T | VDD3P3_RTC_IO | RTC_GPIO2, GPIO2, TOUCH2, ADC1_CH1 |
| GPIO3 | 8 | I/O/T | VDD3P3_RTC_IO | RTC_GPIO3, GPIO3, TOUCH3, ADC1_CH2 |
| GPIO4 | 9 | I/O/T | VDD3P3_RTC_IO | RTC_GPIO4, GPIO4, TOUCH4, ADC1_CH3 |
| GPIO5 | 10 | I/O/T | VDD3P3_RTC_IO | RTC_GPIO5, GPIO5, TOUCH5, ADC1_CH4 |
| GPIO6 | 11 | I/O/T | VDD3P3_RTC_IO | RTC_GPIO6, GPIO6, TOUCH6, ADC1_CH5 |
| GPIO7 | 12 | I/O/T | VDD3P3_RTC_IO | RTC_GPIO7, GPIO7, TOUCH7, ADC1_CH6 |
| GPIO8 | 13 | I/O/T | VDD3P3_RTC_IO | RTC_GPIO8, GPIO8, TOUCH8, ADC1_CH7 |
| GPIO9 | 14 | I/O/T | VDD3P3_RTC_IO | RTC_GPIO9, GPIO9, TOUCH9, ADC1_CH8, FSPiHD |
| GPIO10 | 15 | I/O/T | VDD3P3_RTC_IO | RTC_GPIO10, GPIO10, TOUCH10, ADC1_CH9, FSPiCS0, FSPiIO4 |
| GPIO11 | 16 | I/O/T | VDD3P3_RTC_IO | RTC_GPIO11, GPIO11, TOUCH11, ADC2_CH0, FSPiD, FSPiIO5 |
| GPIO12 | 17 | I/O/T | VDD3P3_RTC_IO | RTC_GPIO12, GPIO12, TOUCH12, ADC2_CH1, FSPiCLK, FSPiIO6 |
| GPIO13 | 18 | I/O/T | VDD3P3_RTC_IO | RTC_GPIO13, GPIO13, TOUCH13, ADC2_CH2, FSPiQ, FSPiIO7 |
| GPIO14 | 19 | I/O/T | VDD3P3_RTC_IO | RTC_GPIO14, GPIO14, TOUCH14, ADC2_CH3, FSPiWP, FSPiDQS |
| VDD3P3_RTC | 20 | P _A | — | 模拟电源 |
| XTAL_32K_P | 21 | I/O/T | VDD3P3_RTC_IO | RTC_GPIO15, GPIO15, U0RTS, ADC2_CH4, XTAL_32K_P |
| XTAL_32K_N | 22 | I/O/T | VDD3P3_RTC_IO | RTC_GPIO16, GPIO16, U0CTS, ADC2_CH5, XTAL_32K_N |
| DAC_1 | 23 | I/O/T | VDD3P3_RTC_IO | RTC_GPIO17, GPIO17, U1TXD, ADC2_CH6, DAC_1 |
| DAC_2 | 24 | I/O/T | VDD3P3_RTC_IO | RTC_GPIO18, GPIO18, U1RXD, ADC2_CH7, DAC_2, CLK_OUT3 |
| GPIO19 | 25 | I/O/T | VDD3P3_RTC_IO | RTC_GPIO19, GPIO19, U1RTS, ADC2_CH8, CLK_OUT2, USB_D- |
| GPIO20 | 26 | I/O/T | VDD3P3_RTC_IO | RTC_GPIO20, GPIO20, U1CTS, ADC2_CH9, CLK_OUT1, USB_D+ |

| 名称 | 序号 | 类型 | 电源域 | 功能 |
|---------------|----|----------------|----------------------|----------------------------|
| VDD3P3_RTC_IO | 27 | P _D | VDD3P3_RTC_IO | RTC IO 电源输入 |
| GPIO21 | 28 | I/O/T | VDD3P3_RTC_IO | RTC_GPIO21, GPIO21 |
| SPICS1 | 29 | I/O/T | VDD_SPI | SPICS1, GPIO26 |
| VDD_SPI | 30 | P _D | — | 1.8 V 或 VDD3P3_RTC_IO 电源输出 |
| SPIHD | 31 | I/O/T | VDD_SPI | SPIHD, GPIO27 |
| SPIWP | 32 | I/O/T | VDD_SPI | SPIWP, GPIO28 |
| SPICS0 | 33 | I/O/T | VDD_SPI | SPICS0, GPIO29 |
| SPICLK | 34 | I/O/T | VDD_SPI | SPICLK, GPIO30 |
| SPIQ | 35 | I/O/T | VDD_SPI | SPIQ, GPIO31 |
| SPID | 36 | I/O/T | VDD_SPI | SPID, GPIO32 |
| GPIO33 | 37 | I/O/T | VDD3P3_CPU / VDD_SPI | SPIIO4, GPIO33, FSPIHD |
| GPIO34 | 38 | I/O/T | VDD3P3_CPU / VDD_SPI | SPIIO5, GPIO34, FSPICS0 |
| GPIO35 | 39 | I/O/T | VDD3P3_CPU / VDD_SPI | SPIIO6, GPIO35, FSPID |
| GPIO36 | 40 | I/O/T | VDD3P3_CPU / VDD_SPI | SPIIO7, GPIO36, FSPICLK |
| GPIO37 | 41 | I/O/T | VDD3P3_CPU / VDD_SPI | SPIDQS, GPIO37, FSPIQ |
| GPIO38 | 42 | I/O/T | VDD3P3_CPU | GPIO38, FSPIWP |
| MTCK | 43 | I/O/T | VDD3P3_CPU | MTCK, GPIO39, CLK_OUT3 |
| MTDO | 44 | I/O/T | VDD3P3_CPU | MTDO, GPIO40, CLK_OUT2 |
| VDD3P3_CPU | 45 | P _D | — | CPU IO 电源输入 |
| MTDI | 46 | I/O/T | VDD3P3_CPU | MTDI, GPIO41, CLK_OUT1 |
| MTMS | 47 | I/O/T | VDD3P3_CPU | MTMS, GPIO42 |
| U0TXD | 48 | I/O/T | VDD3P3_CPU | U0TXD, GPIO43, CLK_OUT1 |
| U0RXD | 49 | I/O/T | VDD3P3_CPU | U0RXD, GPIO44, CLK_OUT2 |
| GPIO45 | 50 | I/O/T | VDD3P3_CPU | GPIO45 |
| VDDA | 51 | P _A | — | 模拟电源 |
| XTAL_N | 52 | — | — | 外部主晶振输出 |
| XTAL_P | 53 | — | — | 外部主晶振输入 |
| VDDA | 54 | P _A | — | 模拟电源 |
| GPIO46 | 55 | I | VDD3P3_CPU | GPIO46 |

| 名称 | 序号 | 类型 | 电源域 | 功能 |
|---------|----|----|---------------|---|
| CHIP_PU | 56 | I | VDD3P3_RTC_IO | 高电平：芯片使能； 低电平：芯片关闭； 注意不能让 CHIP_PU 管脚浮空。 |
| GND | 57 | G | — | 接地 |

说明：

- P：电源管脚；I：输入；O：输出；T：可以被设置为高阻。
- ESP32-S2FH2、ESP32-S2FH4 和 ESP32-S2FN4R2 中合封的 flash 端口与芯片管脚对应关系为：
 - CS# = SPICS0
 - DI = SPID
 - DO = SPIQ
 - CLK = SPICLK
 - WP# = SPIWP
 - HOLD# = SPIHD

ESP32-S2FN4R2 和 ESP32-S2R2 中合封的 PSRAM 端口与芯片管脚对应关系为：

- CE# = SPICS1
- SI/SIO0 = SPID
- SO/SIO1 = SPIQ
- SCLK = SPICLK
- SIO2 = SPIWP
- SIO3 = SPIHD

以上管脚不建议用于其他功能。

- ESP32-S2 系列芯片和外接 flash 芯片的数据端口连接关系请参考章节 3.4.2。
- GPIO33、GPIO34、GPIO35、GPIO36、GPIO37 的电源域默认为 VDD3P3_CPU，也可由软件配置为 VDD_SPI。
- 本表中管脚功能仅指部分固定设置，对于可通过 GPIO 矩阵输入输出的信号，不受本表的限制。有关 GPIO 交换矩阵的更多信息，请参考表 23。

2.3 电源管理

ESP32-S2 系列芯片的数字管脚可分为 4 种不同的电源域：

- VDD3P3_RTC_IO
- VDD3P3_CPU
- VDD_SPI
- VDD3P3_RTC

VDD3P3_RTC_IO 同时是 RTC 和 CPU 的输入电源。

VDD3P3_CPU 是 CPU 的输入电源。

VDD_SPI 可以作为输入电源或输出电源。VDD_SPI 与一个内置 LDO 的输出相连，该内置 LDO 的输入是 VDD3P3_RTC_IO。VDD_SPI 可以与 VDD3P3_RTC_IO 连接在相同的电源上，这时内置 LDO 应该被关闭。

VDD3P3_RTC 是 RTC 模拟的输入电源。

ESP32-S2 系列芯片的数字电源管理如图 4 所示：

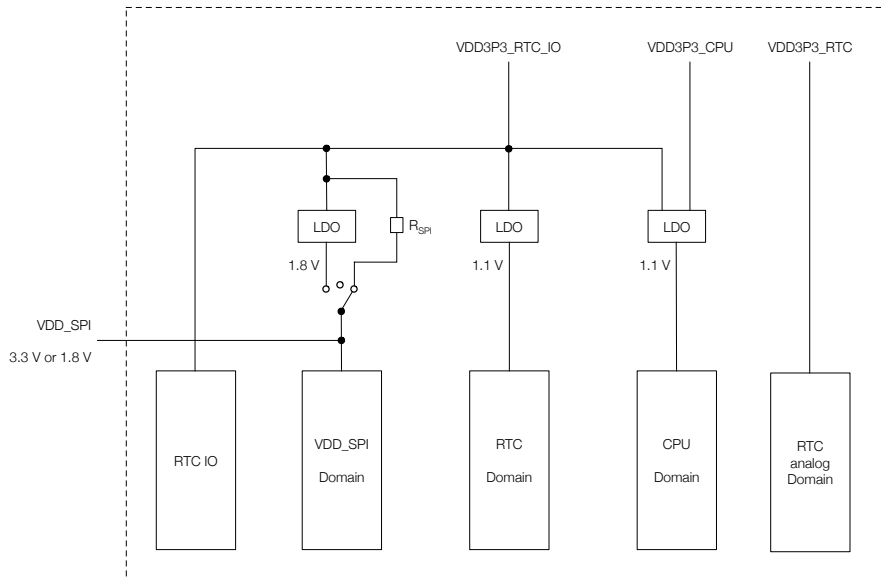


图 4: ESP32-S2 系列芯片数字电源管理

VDD_SPI 可选择由内置 LDO 供电（电压为 1.8 V）或由 VDD3P3_RTC_IO 通过电阻 R_{SPI} 后供电（电压典型值为 3.3 V）。ESP32-S2FH2、ESP32-S2FH4、ESP32-S2FN4R2 和 ESP32-S2R2 由于内置 3.3 V SPI flash、PSRAM，VDD_SPI 必须由 VDD3P3_RTC_IO 通过电阻 R_{SPI} 后供电。在 Deep-sleep 模式下，为了使 flash 漏电降到最低，可以通过软件关闭 VDD_SPI 电源。

关于 CHIP_PU 的说明：

下图为 ESP32-S2 系列芯片上电、复位时序图。各参数说明如表 3 所示。

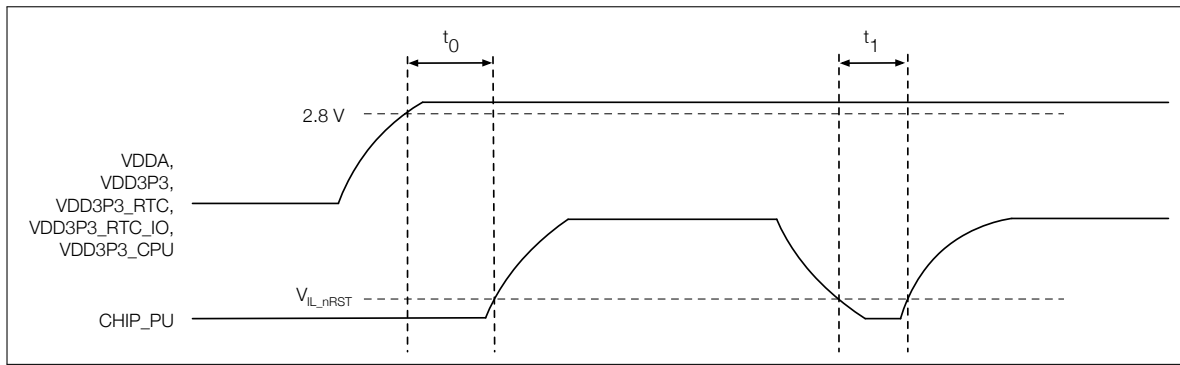


图 5: ESP32-S2 系列芯片上电、复位时序图

表 3: ESP32-S2 系列芯片上电、复位时序图参数说明

| 参数 | 描述 | 最小值 | 单位 |
|-------|--|-----|---------------|
| t_0 | CHIP_PU 管脚上电晚于 VDDA、VDD3P3、VDD3P3_RTC、VDD3P3_RTC_IO、VDD3P3_CPU 上电的延时时间 | 50 | μs |
| t_1 | CHIP_PU 电平低于 V_{IL_nRST} (其值可在表 11 直流电气特性中查看) 的时间 | 50 | μs |

2.4 Strapping 管脚

ESP32-S2 系列芯片共有三个 Strapping 管脚。

- GPIO0
- GPIO45
- GPIO46

软件可以读取寄存器“GPIO_STRAPPING”中这几个管脚 strapping 的值。

在芯片的系统复位（上电复位、RTC 看门狗复位、欠压复位、模拟超级看门狗 (analog super watchdog) 复位、晶振时钟毛刺检测复位）过程中，Strapping 管脚对自己管脚上的电平采样并存储到锁存器中，锁存值为“0”或“1”，并一直保持到芯片掉电或关闭。

GPIO0、GPIO45、GPIO46 默认连接内部弱上拉/下拉。如果这些管脚没有外部连接或者连接的外部线路处于高阻抗状态，内部弱上拉/下拉将决定这几个管脚输入电平的默认值。

为改变 Strapping 的值，用户可以应用外部下拉/上拉电阻，或者应用主机 MCU 的 GPIO 控制 ESP32-S2 系列芯片上电复位时的 Strapping 管脚电平。

复位放开后，Strapping 管脚和普通管脚功能相同。

配置 Strapping 管脚的详细启动模式请参阅表 4。

表 4: Strapping 管脚

| VDD_SPI 电压 ^{1 2} | | | |
|---------------------------|----|----------|--------|
| 管脚 | 默认 | 3.3 V | 1.8 V |
| GPIO45 | 下拉 | 0 | 1 |
| 系统启动模式 ³ | | | |
| 管脚 | 默认 | SPI 启动模式 | 下载启动模式 |
| GPIO0 | 上拉 | 1 | 0 |
| GPIO46 | 下拉 | 无关项 | 0 |

| 系统启动过程中，控制 ROM Code 打印 ^{4 5} | | | |
|---------------------------------------|----|--------|--------|
| 管脚 | 默认 | 正常打印 | 上电不打印 |
| GPIO46 | 下拉 | 详见说明 5 | 详见说明 5 |

说明：

1. VDD_SPI 电压由 GPIO45 的 strapping 值或 eFuse 中 VDD_SPI_TIEH 决定。eFuse 中 VDD_SPI_FORCE 选择决定方式：0：由 GPIO45 的 strapping 值决定；1：由 eFuse 中 VDD_SPI_TIEH 决定。
2. ESP32-S2FH2、ESP32-S2FH4、ESP32-S2FN4R2 和 ESP32-S2R2 由于内置 3.3 V SPI flash、PSRAM，VDD_SPI 必须配置成 3.3 V。
3. GPIO46 = 1 且 GPIO0 = 0 不可使用。
4. ROM Code 上电打印默认通过 U0TXD 管脚，可以由 eFuse 位控制切换到 DAC_1 管脚。
5. eFuse 的 UART_PRINT_CONTROL 为
 - 0 时，上电正常打印，不受 GPIO46 控制。
 - 1 时，GPIO46 为 0：上电正常打印；GPIO46 为 1：上电不打印。
 - 2 时，GPIO46 为 0：上电不打印；GPIO46 为 1：上电正常打印。
 - 3 时，上电不打印，不受 GPIO46 控制。

3. 功能描述

本章描述 ESP32-S2 系列芯片的各个功能模块。

3.1 CPU 和存储

3.1.1 CPU

ESP32-S2 系列芯片搭载低功耗 Xtensa® LX7 32 位单核处理器，具有以下特性：

- 7 级流水线架构，支持高达 240 MHz 的时钟频率
- 16 位 / 24 位指令集提供高代码密度
- 支持 32 位乘法器、32 位除法器
- 非缓存 GPIO 指令
- 支持 6 级 32 个中断
- 支持 windowed ABI，64 个物理通用寄存器
- 支持带 TRAX 压缩模块的 trace 功能，最大 16 KB trace memory
- 用于调试的 JTAG 接口

有关 Xtensa® 指令集架构 (ISA) 的说明可以参考 [Xtensa® Instruction Set Architecture \(ISA\) Summary](#)。

3.1.2 片上存储

ESP32-S2 系列芯片片上存储包括：

- **128 KB ROM**：用于程序启动和内核功能调用
- **320 KB 片上 SRAM**：用于数据和指令存储，时钟频率可配置，最大 240 MHz。
- **RTC 快速存储器**：为 8 KB SRAM，可被主 CPU 访问，在 Deep-sleep 模式下可以保存数据
- **RTC 慢速存储器**：为 8 KB SRAM，可被主 CPU 或协处理器访问，在 Deep-sleep 模式下可以保存数据
- **4 Kbit eFuse**：其中 1792 位保留给用户使用，例如用于存储密钥和设备 ID
- **嵌入式 flash 和 PSRAM**：不同型号有区别，详见章节 1：[产品型号对比](#)

3.1.3 外部 Flash 和片外 RAM

ESP32-S2 系列芯片支持多个外部 QSPI/OSPI flash 和片外 RAM。该系列芯片还支持基于 XTS-AES 的硬件加解密功能，从而保护开发者 flash 和片外 RAM 中的程序和数据。

CPU 的指令空间、只读数据空间可以映射到外部 flash 和片外 RAM，CPU 的数据空间还可以映射到片外 RAM。外部 flash 和片外 RAM 各可以最大支持 1 GB。

通过高速缓存，ESP32-S2 系列芯片一次最多可以同时有：

- 7.5 MB 的指令空间映射到 flash 与片外 RAM。如果实际使用指令空间大小超出 3.5 MB，则可能由于 CPU 的内部流水线特性导致 cache 性能略有降低。
- 4 MB 的只读数据空间以 64 KB 的块映射到 flash 或片外 RAM，支持 8 位、16 位、32 位读取。
- 10.5 MB 的数据空间以 64 KB 的块映射到片外 RAM。支持 8 位、16 位、32 位读写。10.5 MB 也可以是只读数据空间，映射到 flash。

说明:

芯片启动完成后，软件可以自定义片外 RAM 或 flash 到 CPU 地址空间的映射。

3.1.4 存储器映射

ESP32-S2 系列芯片的地址映射结构如图 6 所示。

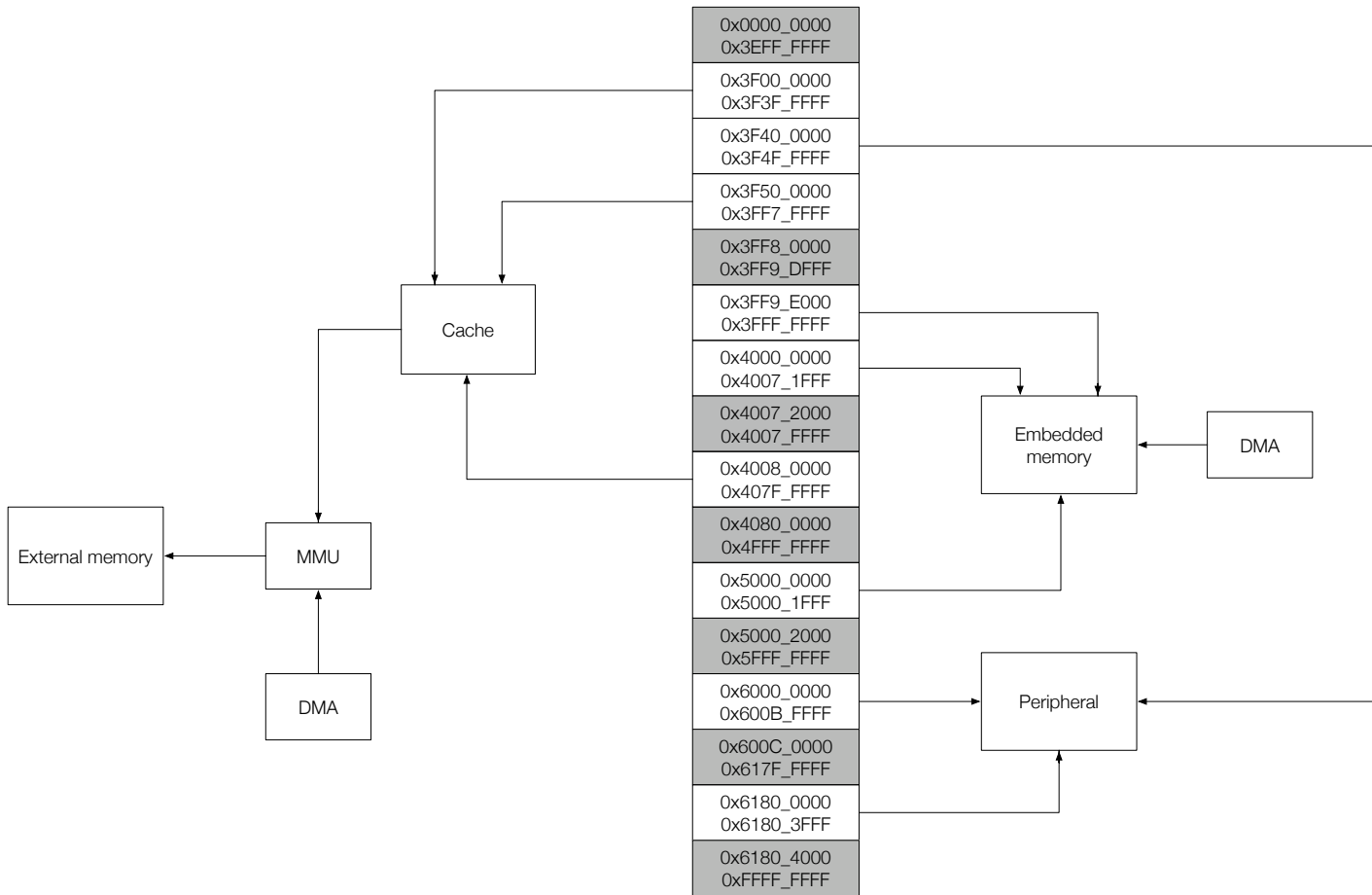


图 6: 地址映射结构

说明:

图中灰色背景标注的地址空间不可用。

3.1.5 Cache

ESP32-S2 系列芯片包含独立的指令和数据 cache，具有以下特性：

- 可独立配置大小，8 KB 或 16 KB
- 4 路组关联
- 块大小支持 16 字节或 32 字节
- 支持 pre-load 功能
- 支持 lock 功能
- 支持关键字优先 (critical word first) 和提前重启 (early restart)

3.2 系统时钟

3.2.1 CPU 时钟

CPU 时钟有 4 种可能的时钟源：

- 外置 40 MHz 主晶振时钟
- 内置 8 MHz 振荡器时钟
- PLL 时钟
- 音频 PLL 时钟

应用程序可以在外置主晶振、PLL 时钟、音频 PLL 时钟和内置 8 MHz 时钟中选择一个作为时钟源。根据不同的应用程序，被选择的时钟源直接或在分频之后驱动 CPU 时钟。

说明：

ESP32-S2 必须有外置主晶振时钟才可运行。

3.2.2 RTC 时钟

RTC 慢速时钟有 3 种可能的时钟源：

- 外置低速 (32 kHz) 晶振时钟
- 内置 RC 振荡器（通常为 90 kHz，频率可调节）
- 内置 31.25 kHz 时钟（由内置 8 MHz 振荡器时钟经 256 分频生成）

RTC 快速时钟有 2 种可能的时钟源：

- 外置主晶振的 4 分频时钟
- 内置 8 MHz 振荡器的 N 分频时钟

RTC 慢速时钟应用于 RTC 计数器、RTC 看门狗和低功耗控制器；RTC 快速时钟应用于 RTC 外设和传感器控制器。

3.2.3 音频 PLL 时钟

音频时钟由超低噪声小数分频 PLL 生成。

3.3 模拟外设

3.3.1 模/数转换器 (ADC)

ESP32-S2 系列芯片集成了 2 个 12 位 SAR ADC，共支持 20 个模拟通道输入。为了实现更低功耗，ESP32-S2 系列芯片的 ULP 协处理器也可以在睡眠方式下测量电压，此时，可通过设置阈值或其他触发方式唤醒 CPU。

最多可配置 20 个管脚的 ADC，用于电压模数转换。

有关 ADC 特性，请参考表 12。

3.3.2 数/模转换器 (DAC)

ESP32-S2 系列芯片有 2 个 8 位 DAC 通道，将 2 路数字信号分别转化为 2 个模拟电压信号输出，两个通道可以独立地工作。DAC 电路由内置电阻串和 1 个缓冲器组成。DAC 的参考电压为 VDD3P3_RTC_IO。

3.3.3 温度传感器

温度传感器生成一个随温度变化的电压。内部 ADC 将传感器电压转化为一个数字量。

温度传感器的测量范围为-20 °C 到 110 °C。温度传感器一般只适用于监测芯片内部温度的变化，该温度值会随着微控制器时钟频率或 IO 负载的变化而变化。一般来讲，芯片内部温度会高于工作环境温度。

3.3.4 触摸传感器

ESP32-S2 系列芯片提供了多达 14 个电容式传感 GPIO，能够探测由手指或其他物品直接接触或接近而产生的电容差异。这种设计具有低噪声和高灵敏度的特点，可以用于支持使用相对较小的触摸板。设计中也可以使用触摸板阵列以探测更大区域或更多点。ESP32-S2 系列芯片的触摸传感器同时还支持防水和数字滤波等功能来进一步提高传感器的性能。表 5 列出了 14 个电容式传感 GPIO。

表 5: ESP32-S2 系列芯片上的电容式传感 GPIO

| 电容式传感信号名称 | 管脚名称 |
|-----------|--------|
| TOUCH1 | GPIO1 |
| TOUCH2 | GPIO2 |
| TOUCH3 | GPIO3 |
| TOUCH4 | GPIO4 |
| TOUCH5 | GPIO5 |
| TOUCH6 | GPIO6 |
| TOUCH7 | GPIO7 |
| TOUCH8 | GPIO8 |
| TOUCH9 | GPIO9 |
| TOUCH10 | GPIO10 |
| TOUCH11 | GPIO11 |
| TOUCH12 | GPIO12 |
| TOUCH13 | GPIO13 |
| TOUCH14 | GPIO14 |

3.4 数字外设

3.4.1 通用输入/输出接口 (GPIO)

ESP32-S2 系列芯片共有 43 个 GPIO 管脚，通过配置对应的寄存器，可以为这些管脚分配不同的功能。除作为数字信号管脚外，部分 GPIO 管脚也可配置为模拟功能管脚，比如 ADC、DAC、touch 等管脚。

除 GPIO46 为固定下拉外，其余 GPIO 都可以被配置为内部上拉/下拉，或者被设置为高阻。GPIO 配置为输入管脚时，软件可通过读取寄存器获取其输入值。输入管脚也可经设置产生边缘触发或电平触发的 CPU 中断。除 GPIO46 只有输入功能外，其他数字 IO 管脚都是双向、非反相和三态的，包括带有三态控制的输入和输出缓冲器。这些管脚可以复用作其他功能，例如 UART、SPI 等。当芯片低功耗运行时，GPIO 可设定为保持状态。

3.4.2 串行外设接口 (SPI)

ESP32-S2 系列芯片共有 4 个 SPI (SPI0, SPI1, SPI2 和 SPI3)。SPI0 和 SPI1 只可以配置成 SPI 存储器模式，SPI2 既可以配置成 SPI 存储器模式又可以配置成通用 SPI 模式；SPI3 只可以配置成通用 SPI 模式。

• SPI 存储器 (SPI Memory) 模式

SPI 存储器模式 (SPI0, SPI1 和 SPI2) 用于连接 SPI 接口的外部存储器。SPI 存储器模式下数据传输长度以字节为单位, 最高支持 8 线 STR/DDR 读写操作。时钟频率可配置, STR 模式下支持的最高时钟频率为 80 MHz, DDR 模式下支持的最高时钟频率为 40 MHz。

• SPI2 通用 SPI (GP-SPI) 模式

SPI2 作为通用 SPI 时, 既可以配置成主机模式, 又可以配置成从机模式。主机模式支持 2 线全双工和 1/2/4/8 线半双工通信; 从机模式支持 2 线全双工和 1/2/4 线半双工通信。通用 SPI 的主机时钟频率可配置; 数据传输长度以字节为单位; 时钟极性 (CPOL) 和相位 (CPHA) 可配置; 可连接 DMA 通道。

- 在 2 线全双工通信模式下, 主机的时钟最高频率为 80 MHz, 从机的时钟最高频率为 40 MHz。支持 SPI 传输的 4 种时钟模式。
- 在主机 1/2/4/8 线半双工通信模式下, 时钟频率最高为 80 MHz, 支持 SPI 传输的 4 种时钟模式。
- 在从机 1/2/4 线半双工通信模式下, 时钟频率最高为 40 MHz, 也支持 SPI 传输的 4 种时钟模式。

• SPI3 通用 SPI (GP-SPI) 模式

SPI3 只能作为通用 SPI, 既可以配置成主机模式, 又可以配置成从机模式, 具有 2 线全双工和 1 线半双工通信功能。通用 SPI 的主机时钟频率可配置; 数据传输长度以字节为单位; 时钟极性 (CPOL) 和相位 (CPHA) 可配置; 可连接 DMA 通道。

- 在 2 线全双工通信模式下, 主机的时钟频率最高为 80 MHz, 从机的时钟频率最高为 40 MHz。支持 SPI 传输的 4 种时钟模式。
- 在 1 线半双工通信模式下, 主机的时钟频率最高为 80 MHz, 支持 SPI 传输的 4 种时钟模式; 从机的时钟频率最高为 40 MHz, 也支持 SPI 传输的 4 种时钟模式。

SPI 信号与 GPIO 管脚的映射关系如表 6 所示:

表 6: SPI 信号总线与芯片管脚的映射关系表

| 标准 SPI | | 扩展 SPI | | | |
|----------|----------|---------|------------|-------------|--------------|
| 全双工通信 | 半双工通信 | 芯片管脚信号 | | | |
| SPI 信号总线 | SPI 信号总线 | 管脚功能 | SPI 信号总线 | FSPI 信号总线 | SPI3 信号总线 |
| MOSI | MOSI | D | SPID | FSPID | SPI3_D |
| MISO | (MISO) | Q | SPIQ | FSPIQ | SPI3_Q |
| CS | CS | CS | SPICS0 ~ 1 | FSPICS0 ~ 5 | SPI3_CS0 ~ 2 |
| CLK | CLK | CLK | SPICLK | FSPICLK | SPI3_CLK |
| — | — | WP | SPIWP | FSPIWP | — |
| — | — | HD | SPIHD | FSPIHD | SPI3_HD |
| — | — | CD | — | FSPICD | SPI3_CD |
| — | — | DQS | SPIDQS | FSPIDQS | SPI3_DQS |
| — | — | IO4 ~ 7 | SPIIO4 ~ 7 | FSPIIO4 ~ 7 | — |
| — | — | VSYNC | — | FSPI_VSYNC | — |
| — | — | HSYNC | — | FSPI_HSYNC | — |
| — | — | DE | — | FSPI_DE | — |

通常情况下, ESP32-S2 系列芯片和外接 flash 芯片的数据端口连接关系是:

SPI 8 线模式时：

- SPID (SPID) = IO0
- SPIQ (SPIQ) = IO1
- SPIWP (SPIWP) = IO2
- SPIHD (SPIHD) = IO3
- GPIO33 = IO4
- GPIO34 = IO5
- GPIO35 = IO6
- GPIO36 = IO7
- GPIO37 = DQS

SPI 4 线模式时：

- SPID (SPID) = IO0
- SPIQ (SPIQ) = IO1
- SPIWP (SPIWP) = IO2
- SPIHD (SPIHD) = IO3

SPI 2 线模式时：

- SPID (SPID) = IO0
- SPIQ (SPIQ) = IO1

SPI 1 线模式时：

- SPID (SPID) = DI
- SPIQ (SPIQ) = DO
- SPIWP (SPIWP) = WP#
- SPIHD (SPIHD) = HOLD#

3.4.3 LCD 接口

SPI2 模块支持并行 8 位 RGB、I8080、Moto6800 接口，I2S 模块支持 8/16/24 位并行接口 (I8080)。

3.4.4 通用异步收发器 (UART)

ESP32-S2 系列芯片有 2 个 UART 接口，即 UART0、UART1，支持异步通信 (RS232 和 RS485) 和 IrDA，通信速率可达到 5 Mbps。UART 支持 CTS 和 RTS 信号的硬件管理以及软件流控 (XON 和 XOFF)。这两个接口均可被 DMA 访问或者 CPU 直接访问。

3.4.5 I2C 接口

ESP32-S2 系列芯片有 2 个 I2C 总线接口，根据用户的配置，总线接口可以用作 I2C 主机或从机模式。I2C 接口支持：

- 标准模式 (100 Kbit/s)
- 快速模式 (400 Kbit/s)
- 速度最高可达 5 MHz，但受制于 SDA 上拉强度

- 7 位/10 位寻址模式
- 双寻址模式

用户可以配置指令寄存器来控制 I2C 接口，从而实现更多灵活的应用。

3.4.6 I2S 接口

ESP32-S2 系列芯片有 1 个标准 I2S 接口，可以以主机或从机模式，在全双工或半双工模式下工作，并且可被配置为 8/16/24/32 位的输入输出通道，支持频率从 10 kHz 到 40 MHz 的 BCK 时钟。

I2S 接口有专用的 DMA 控制器。支持 PCM 接口。

3.4.7 Camera 接口

ESP32-S2 系列芯片支持 8 位或 16 位 DVP 图像传感器接口，最高时钟频率支持到 40 MHz，但与 I2S 接口共用一套硬件资源。

3.4.8 红外遥控器

红外遥控器支持 4 通道的红外发射和接收。通过程序控制脉冲波形，遥控器可以支持多种红外协议和单线协议。4 个通道共用 1 个 256 × 32 位的存储模块来存放收发的波形。

3.4.9 脉冲计数器

脉冲计数器通过多种模式捕捉脉冲并对脉冲边沿计数。内部有 4 个通道，每个通道一次可同时捕捉 4 个信号。每组 4 个输入包括 2 个脉冲信号和 2 个控制信号。

3.4.10 LED PWM

LED PWM 控制器可以用于生成 8 路独立的数字波形。它具有如下特性：

- 波形的周期和占空比可配置，在信号周期为 1 ms 时，占空比精确度可达 18 位
- 多种时钟源选择，包括：APB 总线时钟、外置主晶振时钟
- 可在 Light-sleep 模式下工作
- 支持硬件自动步进式地增加或减少占空比，可用于 LED RGB 彩色梯度发生器

3.4.11 DMA 控制器

ESP32-S2 系列芯片包含一个 DMA 控制器，在外设与存储器之间以及存储器与存储器之间提供高速数据传输。该控制器具有以下特性：

- AHB 总线架构
- 支持半双工和全双工收发数据
- 数据传输以字节为单位，传输数据量可软件编程
- 访问内部 RAM 时，支持 INCR burst 传输
- DMA 能够访问的内部 RAM 最大地址空间为 320 KB
- DMA 能够访问的最大外部地址空间为 10.5 MB
- 通过 DMA 实现高速数据传输

3.4.12 全速 USB OTG 接口

ESP32-S2 系列芯片带有一个集成了收发器的全速 USB OTG 外设，符合 USB 2.0 规范（注意，该外设不支持 480 Mbit/s 的高速传输模式）。它具有以下特性：

- 软件可配置的端点设置，支持挂起/恢复。
- 支持动态 FIFO 大小
- 会话请求协议 (SRP) 和主机协商协议 (HNP)。
- 芯片内部已集成全速 USB PHY。

3.4.13 TWAI[®] 控制器

ESP32-S2 系列带有一个 TWAI[®] 控制器，具有如下特性：

- 兼容 ISO 11898-1 协议（CAN 规范 2.0）
- 支持标准格式（11-bit 标识符）和扩展格式（29-bit 标识符）
- 支持 1 Kbit/s ~ 1 Mbit/s 位速率
- 支持多种操作模式：正常模式、只听模式和自测模式
- 64 字节接收 FIFO
- 特殊发送：单次发送和自发自收
- 接收滤波器（支持单滤波器和双滤波器模式）
- 错误检测与处理：错误计数、错误报警限制可配置、错误代码捕捉和仲裁丢失捕捉

3.5 射频和 Wi-Fi

ESP32-S2 系列芯片射频包含以下主要模块：

- 2.4 GHz 接收器
- 2.4 GHz 发射器
- 偏置 (Bias) 和线性稳压器
- Balun 和收发切换器
- 时钟生成器

3.5.1 2.4 GHz 接收器

2.4 GHz 接收器将 2.4 GHz 射频信号解调为正交基带信号，并用 2 个高精度、高速的 ADC 将后者转为数字信号。为了适应不同的信道情况，ESP32-S2 系列芯片集成了 RF 滤波器、自动增益控制 (AGC)、DC 偏移补偿电路和基带滤波器。

3.5.2 2.4 GHz 发射器

2.4 GHz 发射器将正交基带信号调制为 2.4 GHz 射频信号，使用大功率互补金属氧化物半导体 (CMOS) 功率放大器驱动天线。数字校准进一步改善了功率放大器的线性。

为了抵消射频接收器的瑕疵，ESP32-S2 系列芯片还另增了校准措施，例如：

- 载波泄露消除
- I/Q 幅度/相位匹配
- 基带非线性抑制
- 射频非线性抑制
- 天线匹配

这些内置校准措施缩短了产品测试的成本和时间，并且不再需要测试设备。

3.5.3 时钟生成器

时钟生成器为接收器和发射器生成 2.4 GHz 正交时钟信号，所有部件均集成于芯片上，包括电感、变容二极管、环路滤波器、线性稳压器和分频器。

时钟生成器带有内置校准电路和自测电路。运用自主知识产权的优化算法，对正交时钟的相位和相位噪声进行优化处理，使接收器和发射器都有最好的性能表现。

3.5.4 Wi-Fi 射频和基带

ESP32-S2 系列芯片 Wi-Fi 射频和基带支持以下特性：

- 802.11b/g/n
- 802.11n MCS0-7 支持 20 MHz 和 40 MHz 带宽
- 802.11n MCS32
- 802.11n 0.4 μ s 保护间隔
- 数据率高达 150 Mbps
- STBC RX (单空间流)
- 可调节的发射功率

3.5.5 Wi-Fi MAC

ESP32-S2 系列芯片完全遵循 802.11 b/g/n Wi-Fi MAC 协议栈，支持分布式控制功能 (DCF) 下的基本服务集 (BSS) STA 和 SoftAP 操作。支持通过最小化主机交互来优化有效工作时长，以实现功耗管理。

ESP32-S2 系列芯片 Wi-Fi MAC 自行支持的底层协议功能如下：

- 4 × 虚拟 Wi-Fi 接口
- 同时支持基础结构型网络 (Infrastructure BSS) Station 模式/SoftAP 模式/混杂模式
- RTS 保护，CTS 保护，立即块确认 (Immediate Block ACK)
- 分片和重组 (Fragmentation & defragmentation)
- TX/RX A-MPDU, RX A-MSDU
- 传输机会 (TXOP)
- 无线多媒体 (WMM)
- CCMP, TKIP, WAPI, WEP, BIP
- 自动 Beacon 监测 (硬件 TSF)
- 802.11mc FTM

3.5.6 联网特性

乐鑫提供的固件支持 TCP/IP 联网、ESP-MESH 联网或其他 Wi-Fi 联网协议，同时也支持 TLS 1.0, 1.1, 1.2。

3.6 RTC 和低功耗管理

3.6.1 电源管理单元 (PMU)

ESP32-S2 系列芯片采用了先进的电源管理技术，可以在不同的功耗模式之间切换。ESP32-S2 系列芯片支持的功耗模式有：

- Active 模式：CPU 和芯片射频处于工作状态。芯片可以接收、发射和侦听信号。
- Modem-sleep 模式：CPU 可运行，时钟频率可配置。Wi-Fi 基带和射频关闭，但 Wi-Fi 可保持连接。
- Light-sleep 模式：CPU 暂停运行。RTC 外设以及 ULP 协处理器运行。任何唤醒事件（MAC、主机、RTC 定时器或外部中断）都会唤醒芯片。Wi-Fi 可保持连接。
- Deep-sleep 模式：CPU 和大部分外设都会掉电，只有 RTC 存储器和 RTC 外设处于工作状态。Wi-Fi 连接数据存储在 RTC 中。ULP 协处理器可以工作。
- Hibernation 模式：内置的 8 MHz 振荡器和 ULP 协处理器均被禁用。RTC 存储器的电源被切断。只有 1 个位于低速时钟上的 RTC 时钟定时器和某些 RTC GPIO 在工作。RTC 时钟定时器或 RTC GPIO 可以将芯片从 Hibernation 模式中唤醒。

设备在不同的功耗模式下有不同的电流消耗，详情请见表 4.6.2。

3.6.2 超低功耗协处理器 (ULP)

ULP 处理器可以用于在正常工作模式下协助 CPU，也可以用于在系统休眠时代替 CPU 来执行任务。ULP 处理器和 RTC 存储器在 Deep-sleep 模式下仍保持工作状态。因此，开发者可以将 ULP 协处理器的程序存放在 RTC 慢速存储器中，使其能够在 Deep-sleep 模式下访问 RTC GPIO、RTC 外设、RTC 定时器和内置传感器。

ESP32-S2 系列芯片集成了两个协处理器，分别基于 RISC-V 指令集 (ULP-RISC-V) 和有限状态机 FSM 架构 (ULP-FSM)。协处理器的时钟为内置 8 MHz 振荡器。

ULP-RISC-V 协处理器具有以下特性：

- 支持 [RV32IMC](#) 指令集
- 32 个 32 位通用寄存器
- 32 位乘除法器
- 支持中断
- 支持被主 CPU、专用定时器、RTC GPIO 启动

ULP-FSM 协处理器具有以下特性：

- 支持常用指令，包括运算、跳转、控制等
- 支持传感器专用指令
- 支持被主 CPU、专用定时器、RTC GPIO 启动

注意：两个协处理器不能同时使用。

3.7 定时器

3.7.1 64 位通用定时器

ESP32-S2 系列芯片内置 4 个 64 位通用定时器，具有 16 位分频器和 64 位可自动重载的向上/向下计时器。

定时器具有如下功能：

- 16 位时钟预分频器，分频系数为 1-65536

- 64 位时基计数器可配置成递增或递减
- 可读取时基计数器的实时值
- 暂停和恢复时基计数器
- 可配置的报警产生机制
- 计数器值重新加载（报警时自动重新加载或软件控制的即时重新加载）
- 电平触发中断和边沿触发中断机制

3.7.2 看门狗定时器

ESP32-S2 系列芯片中有三个看门狗定时器：两个定时器组中各一个（称作主系统看门狗定时器，缩写为 MWDT），RTC 模块中一个（称作 RTC 看门狗定时器，缩写为 RWDT）。看门狗在运行期间会经历四个阶段（除非看门狗被按时喂狗或者处于关闭状态），每个阶段均可配置单独的超时时间和超时动作，其中除了 RWDT 支持四种超时动作外，其它两个看门狗仅支持三种。超时动作包括：中断、CPU 复位、内核复位和系统复位。其中，只有 RWDT 能够触发系统复位，即复位芯片内部所有的数字电路，包括 RTC 和主系统。每个阶段的超时时间都可单独设置。

在引导加载 flash 固件期间，RWDT 和第一个 MWDT 会自动使能，以检测引导过程中发生的错误，并恢复运行。

看门狗定时器具有如下特性：

- 四个阶段，每个阶段都可配置超时时间。每阶段都可单独配置、使能和关闭。
- 如在某个阶段发生超时，则会采取三或四种（分别针对 MWDT 和 RWDT）动作中的一种（中断、CPU 复位、内核复位和系统复位）。
- 保护 32 位超时计数器，防止 RWDT 和 MWDT 的配置被无意间更改。
- Flash 启动保护
如果在预定时间内 SPI flash 的引导过程没有完成，看门狗会重启整个主系统。

3.8 加密硬件加速器

ESP32-S2 系列芯片配备硬件加速器，支持一些通用加密算法，比如 AES (FIPS PUB 197)、ECB/CBC/OFB/CFB/CTR (NIST SP 800-38A)、GCM (NIST SP 800-38D)、SHA (FIPS PUB 180-4) 和 RSA 等，还支持大数乘法、大数模乘等独立运算，其中 RSA 和大数模乘运算最大长度可达 4096 位，大数乘法的因子最大长度可达 2048 位。

3.9 物理安全特性

- 外部 flash 和片外 RAM 通过 AES-XTS 算法进行加密，加密算法使用的密钥无法被软件读写，因此用户的应用程序代码与数据不会被非法获取。
- 安全启动功能确保只启动已签名（具有 RSA-PSS 签名）的固件，此功能的可信度是根植于硬件逻辑。
- HMAC 模块可以使用软件无法访问的安全密钥来生成用于身份验证或其他用途的 MAC 签名。
- 数字签名模块可以使用软件无法访问的 RSA 密钥生成用于身份验证的 RSA 签名。

3.10 外设管脚分配

表 7: 外设和传感器管脚分配

| 接口 | 信号 | 管脚 | 功能 |
|-------|----------|------------|------------------|
| ADC | ADC1_CH0 | GPIO1 | 2 个 12 位 SAR ADC |
| | ADC1_CH1 | GPIO2 | |
| | ADC1_CH2 | GPIO3 | |
| | ADC1_CH3 | GPIO4 | |
| | ADC1_CH4 | GPIO5 | |
| | ADC1_CH5 | GPIO6 | |
| | ADC1_CH6 | GPIO7 | |
| | ADC1_CH7 | GPIO8 | |
| | ADC1_CH8 | GPIO9 | |
| | ADC1_CH9 | GPIO10 | |
| | ADC2_CH0 | GPIO11 | |
| | ADC2_CH1 | GPIO12 | |
| | ADC2_CH2 | GPIO13 | |
| | ADC2_CH3 | GPIO14 | |
| | ADC2_CH4 | XTAL_32K_P | |
| | ADC2_CH5 | XTAL_32K_N | |
| | ADC2_CH6 | DAC_1 | |
| | ADC2_CH7 | DAC_2 | |
| | ADC2_CH8 | GPIO19 | |
| | ADC2_CH9 | GPIO20 | |
| DAC | DAC_1 | DAC_1 | 2 个 8 位 DAC |
| | DAC_2 | DAC_2 | |
| 触摸传感器 | TOUCH1 | GPIO1 | 电容式触摸传感器 |
| | TOUCH2 | GPIO2 | |
| | TOUCH3 | GPIO3 | |
| | TOUCH4 | GPIO4 | |
| | TOUCH5 | GPIO5 | |
| | TOUCH6 | GPIO6 | |
| | TOUCH7 | GPIO7 | |
| | TOUCH8 | GPIO8 | |
| | TOUCH9 | GPIO9 | |
| | TOUCH10 | GPIO10 | |
| | TOUCH11 | GPIO11 | |
| | TOUCH12 | GPIO12 | |
| | TOUCH13 | GPIO13 | |
| | TOUCH14 | GPIO14 | |
| JTAG | MTDI | MTDI | 软件调试 JTAG |
| | MTCK | MTCK | |
| | MTMS | MTMS | |
| | MTDO | MTDO | |

| 接口 | 信号 | 管脚 | 功能 |
|----------------|--------------------|------------|---|
| UART | U0RXD_in | 任意 GPIO 管脚 | 2 个 UART 通道，支持硬件流控制和 DMA |
| | U0CTS_in | | |
| | U0DSR_in | | |
| | U0TXD_out | | |
| | U0RTS_out | | |
| | U0DTR_out | | |
| | U1RXD_in | | |
| | U1CTS_in | | |
| | U1TXD_out | | |
| | U1RTS_out | | |
| I2C | I2CEXT0_SCL_in | 任意 GPIO 管脚 | 2 个 I2C 通道，支持主机或从机模式 |
| | I2CEXT0_SDA_in | | |
| | I2CEXT1_SCL_in | | |
| | I2CEXT1_SDA_in | | |
| | I2CEXT0_SCL_out | | |
| | I2CEXT0_SDA_out | | |
| | I2CEXT1_SCL_out | | |
| | I2CEXT1_SDA_out | | |
| LED PWM | ledc_ls_sig_out0~7 | 任意 GPIO 管脚 | 8 路独立通道；时钟可选择 80 MHz 时钟/RTC 时钟/XTAL 时钟。占空比精确度：18 位 |
| I2S | I2S0I_DATA_in0~15 | 任意 GPIO 管脚 | 用于串行立体声数据的输入输出，并行 LCD 数据的输出，camera 并行数据的输入 |
| | I2S0O_BCK_in | | |
| | I2S0O_WS_in | | |
| | I2S0I_BCK_in | | |
| | I2S0I_WS_in | | |
| | I2S0I_H_SYNC | | |
| | I2S0I_V_SYNC | | |
| | I2S0I_H_ENABLE | | |
| | I2S0O_BCK_out | | |
| | I2S0O_WS_out | | |
| | I2S0I_BCK_out | | |
| | I2S0I_WS_out | | |
| | I2S0O_DATA_out0~23 | | |
| | 红外遥控器 | | |
| RMT_SIG_OUT0~3 | | | |
| SPI0/1 | SPICLK_out | SPICLK | 支持 Standard SPI、Dual SPI、QSPI、QPI、OSPI 和 OPI，支持 STR 和 DDR 模式，可以连接外部 flash 和片外 RAM |
| | SPICS0_out | SPICS0 | |
| | SPICS1_out | SPICS1 | |
| | SPID_in/out | SPID | |
| | SPIQ_in/out | SPIQ | |
| | SPIWP_in/out | SPIWP | |
| | SPIHD_in/out | SPIHD | |
| | SPID4_in/out | GPIO33 | |
| | SPID5_in/out | GPIO34 | |
| | SPID6_in/out | GPIO35 | |

| 接口 | 信号 | 管脚 | 功能 |
|---------|--------------------|------------|--|
| | SPID7_in/out | GPIO36 | |
| | SPIDQS_in/out | GPIO37 | |
| SPI2 | FSPICLK_in/out | 任意 GPIO 管脚 | 支持 SPI 接口，可连接至 LCD 等外设设备，支持以下功能： <ul style="list-style-type: none"> • 主机和从机模式 • SPI 传输的 4 种时钟模式 • 可配置的 SPI 频率； • 72 字节缓存或 DMA 数据缓存 支持 Standard SPI、Dual SPI、QSPI、QPI、OSPI 和 OPI，支持 STR 和 DDR 模式，可以连接外部 flash 和片外 RAM |
| | FSPICS0_in/out | | |
| | FSPICS1 ~ 5_out | | |
| | FSPID_in/out | | |
| | FSPIQ_in/out | | |
| | FSPIWP_in/out | | |
| | FSPIHD_in/out | | |
| | FSPPIO4 ~ 7_in/out | | |
| | FSPIDQS_out | | |
| | FSPICD_out | | |
| | FSPI_VSYNC_out | | |
| | FSPI_HSYNC_out | | |
| | FSPI_DE_out | | |
| SPI3 | SPI3_CLK_in/out | 任意 GPIO 管脚 | 支持 Standard SPI 接口，包括以下功能： <ul style="list-style-type: none"> • 主机和从机模式 • SPI 传输的 4 种时钟模式 • 可配置的 SPI 频率 • 72 字节缓存或 DMA 数据缓存 |
| | SPI3_CS0_in/out | | |
| | SPI3_CS1_out | | |
| | SPI3_CS2_out | | |
| | SPI3_D_in/out | | |
| | SPI3_Q_in/out | | |
| | SPI3_HD_in/out | | |
| | SPI3_DQS_out | | |
| | SPI3_CD_out | | |
| 脉冲计数器 | pcnt_sig_ch0_in0 | 任意 GPIO 管脚 | 脉冲计数器通过多种模式捕捉脉冲并对脉冲边沿计数 |
| | pcnt_sig_ch1_in0 | | |
| | pcnt_ctrl_ch0_in0 | | |
| | pcnt_ctrl_ch1_in0 | | |
| | pcnt_sig_ch0_in1 | | |
| | pcnt_sig_ch1_in1 | | |
| | pcnt_ctrl_ch0_in1 | | |
| | pcnt_ctrl_ch1_in1 | | |
| | pcnt_sig_ch0_in2 | | |
| | pcnt_sig_ch1_in2 | | |
| | pcnt_ctrl_ch0_in2 | | |
| | pcnt_ctrl_ch1_in2 | | |
| | pcnt_sig_ch0_in3 | | |
| | pcnt_sig_ch1_in3 | | |
| | pcnt_ctrl_ch0_in3 | | |
| | pcnt_ctrl_ch1_in3 | | |
| USB OTG | D- | GPIO19 | 全速 USB OTG |
| | D+ | GPIO20 | |
| TWAI | twai_rx | 任意 GPIO 管脚 | 兼容 ISO 11898-1 协议 |
| | twai_tx | | |
| | twai_bus_off_on | | |

| 接口 | 信号 | 管脚 | 功能 |
|----|-------------|----|----|
| | twai_clkout | | |

说明:

- GPIO46 只有输入功能，不能用于输出信号。

4. 电气特性

4.1 绝对最大额定值

超出绝对最大额定值可能导致器件永久性损坏。这只是强调的额定值，不涉及器件的功能性操作。

表 8: 绝对最大额定值

| 符号 | 参数 | 最小值 | 最大值 | 单位 |
|---|--------|------|-----|----|
| VDDA, VDD3P3, VDD3P3_RTC, VDD3P3_CPU, VDD_SPI, VDD3P3_RTC_IO | 电源管脚电压 | -0.3 | 3.6 | V |
| T _{STORE} | 存储温度 | -40 | 150 | °C |

4.2 建议工作条件

表 9: 建议工作条件

| 符号 | 参数 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|-------------------------------|-----------|-----|-----|-----|----|
| VDDA, VDD3P3, VDD3P3_RTC | 电源管脚电压 | 2.8 | 3.3 | 3.6 | V |
| VDD_SPI (作为输入电源) ¹ | — | 1.8 | 3.3 | 3.6 | V |
| VDD3P3_RTC_IO ² | — | 3.0 | 3.3 | 3.6 | V |
| VDD3P3_CPU ³ | 电源管脚电压 | 2.8 | 3.3 | 3.6 | V |
| I _{VDD} ⁴ | 外部电源的供电电流 | 0.5 | — | — | A |
| T _J | 结温 | -40 | — | 125 | °C |

说明:

1. 更多信息请参考章节 2.3 电源管理。
2. 在使用 VDD_SPI 为外设供电的使用场景中，VDD3P3_RTC_IO 还应满足外设的使用要求，详见表 10。
3. 写 eFuse 时，VDD3P3_CPU 应不超过 3.3 V。
4. 使用单电源供电时，输出电流需要达到 500 mA 及以上。

4.3 VDD_SPI 输出特性

表 10: VDD_SPI 输出特性

| 符号 | 参数 | 典型值 | 单位 |
|------------------|--------------|-----|----|
| R _{SPI} | 3.3 V 模式导通电阻 | 5 | Ω |
| I _{SPI} | 1.8 V 模式输出电流 | 40 | mA |

说明:

在实际使用情况下，当 VDD_SPI 为 3.3 V 输出模式的时候，VDD3P3_RTC_IO 需要考虑到 R_{SPI} 的影响。比如在外接 3.3 V flash 的情况下：

$$VDD3P3_RTC_IO > VDD_flash_min + I_flash_max * R_{SPI}$$

其中，VDD_flash_min 为 flash 的最低工作电压，I_flash_max 为 flash 的最大工作电流。

更多信息请参考章节 2.3 电源管理。

4.4 直流电气特性 (3.3 V, 25 °C)

表 11: 直流电气特性 (3.3 V, 25 °C)

| 符号 | 参数 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|----------------|--|------------------------|-----|------------------------|------------|
| C_{IN} | 管脚电容 | — | 2 | — | pF |
| V_{IH} | 高电平输入电压 | $0.75 \times V_{DD}^1$ | — | $V_{DD}^1 + 0.3$ | V |
| V_{IL} | 低电平输入电压 | -0.3 | — | $0.25 \times V_{DD}^1$ | V |
| I_{IH} | 高电平输入电流 | — | — | 50 | nA |
| I_{IL} | 低电平输入电流 | — | — | 50 | nA |
| V_{OH}^2 | 高电平输出电压 | $0.8 \times V_{DD}^1$ | — | — | V |
| V_{OL}^2 | 低电平输出电压 | — | — | $0.1 \times V_{DD}^1$ | V |
| I_{OH} | 高电平拉电流 ($V_{DD}^1 = 3.3 \text{ V}$, $V_{OH} \geq 2.64 \text{ V}$, PAD_DRIVER = 3) | — | 40 | — | mA |
| I_{OL} | 低电平灌电流 ($V_{DD}^1 = 3.3 \text{ V}$, $V_{OL} = 0.495 \text{ V}$, PAD_DRIVER = 3) | — | 28 | — | mA |
| R_{PU} | 上拉电阻 | — | 45 | — | k Ω |
| R_{PD} | 下拉电阻 | — | 45 | — | k Ω |
| V_{IH_nRST} | 芯片复位释放电压 | $0.75 \times V_{DD}^1$ | — | $V_{DD}^1 + 0.3$ | V |
| V_{IL_nRST} | 芯片复位电压 | -0.3 | — | $0.25 \times V_{DD}^1$ | V |

说明:

1. VDD 是 I/O 的供电电源。
2. V_{OH} 和 V_{OL} 为负载是高阻条件下的测试值。

4.5 ADC 特性

表 12: ADC 特性

| 参数 | 描述 | 最小值 | 最大值 | 单位 |
|--------------------------|-------------------------------|-----|-----|-----|
| DNL (差分非线性) ² | RTC 控制器; ADC 外接 100 nF 电容; | -7 | 7 | LSB |
| INL (积分非线性) | 输入为 DC 信号; 常温 25 °C; Wi-Fi 关闭 | -12 | 12 | LSB |

说明:

1. 当测量值大于 3,000 (电压值约为 2,450 mV), 精度会比上表所述低。
2. 使用滤波器多次采样或计算平均值可以获得更好的 DNL 结果。
3. kSPS (kilo samples-per-second) 表示每秒采样千次。
4. MSPS (million samples-per-second) 表示每秒采样百万次。

4.6 功耗特性

4.6.1 Active 模式下的 RF 功耗

下列功耗数据是基于 3.3 V 电源、25 °C 环境温度，在 RF 接口处完成的测试结果。所有发射数据均基于 100% 的占空比测得。

表 13: RF 功耗

| 模式 | 描述 | 峰值 (mA) | |
|---------------|----|------------------------------------|-----|
| Active (射频工作) | TX | 802.11b, 20 MHz, 1 Mbps, @19.5 dBm | 310 |
| | | 802.11g, 20 MHz, 54 Mbps, @15 dBm | 220 |
| | | 802.11n, 20 MHz, MCS7, @13 dBm | 200 |
| | | 802.11n, 40 MHz, MCS7, @13 dBm | 160 |
| | RX | 802.11b/g/n, 20 MHz | 63 |
| | | 802.11n, 40 MHz | 68 |

说明:

测量 RX 功耗数据时，外设处于关闭状态，CPU 处于 idle 状态。

4.6.2 其他功耗模式下的功耗

以下功耗数据适用于 ESP32-S2、ESP32-S2FH2 和 ESP32-S2FH4 芯片。ESP32-S2FN4R2 及 ESP32-S2R2 由于合封了 PSRAM，功耗数据可能略高于下表数据。

表 14: Modem-sleep 模式下的功耗

| 模式 | CPU 频率 (MHz) | 描述 | 典型值 | |
|----------------------------|--------------|--------|-------------|--------------------------|
| | | | 外设时钟全关 (mA) | 外设时钟全开 (mA) ¹ |
| Modem-sleep ^{2,3} | 240 | CPU 空闲 | 20.0 | 28.0 |
| | | CPU 工作 | 23.0 | 32.0 |
| | 160 | CPU 空闲 | 14.0 | 21.0 |
| | | CPU 工作 | 16.0 | 24.0 |
| | 80 | CPU 空闲 | 10.5 | 18.4 |
| | | CPU 工作 | 12.0 | 20.0 |

¹ 实际情况下，外设在不同工作状态下电流会有所差异。

² Modem sleep 模式下，Wi-Fi 设有时钟门控。

³ Modem-sleep 模式下，访问 flash 时功耗会增加。若 flash 速率为 80 Mbit/s，SPI 2 线模式下 flash 的功耗为 10 mA。

表 15: 低功耗模式下的功耗

| 模式 | 描述 | 功耗典型值 (μA) | |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-----|
| Light-sleep ¹ | VDD_SPI 和 Wi-Fi 掉电, 所有 GPIO 设置为高阻状态 | 750 | |
| Deep-sleep | ULP 协处理器处于工作状态 ² | ULP-FSM | 170 |
| | | ULP-RISC-V | 190 |
| | 超低功耗传感器监测模式 ³ | | 22 |
| | RTC 定时器 + RTC 存储器 | | 25 |
| | 仅有 RTC 定时器处于工作状态 | 20 | |
| 关闭 | CHIP_PU 脚拉低, 芯片处于关闭状态 | 1 | |

¹ Light-sleep 模式下, SPI 相关管脚上拉, 合封 PSRAM 的功耗典型值为 $140 \mu\text{A}$ 。带有合封 PSRAM 的芯片包括 ESP32-S2FN4R2 及 ESP32-S2R2。

² Deep-sleep 模式下, 仅 ULP 协处理器处于工作状态时, 可以操作 GPIO 及低功耗 I2C。

³ 当系统处于超低功耗传感器监测模式时, ULP 协处理器或传感器周期性工作。触摸传感器以 1% 占空比工作, 系统功耗典型值为 $22 \mu\text{A}$ 。

4.7 可靠性

表 16: 可靠性

| 测试项目 | 测试条件 | 测试标准 |
|-----------------------|--|----------------------------------|
| HTOL (高温工作寿命) | 125 °C, 1000 小时 | JESD22-A108 |
| ESD (静电放电敏感度) | HBM (人体放电模式) ¹ $\pm 2000 \text{ V}$ | JS-001 |
| | CDM (充电器件模式) ² $\pm 500 \text{ V}$ | JS-002 |
| 闩锁测试 (Latch-up) | 过电流 $\pm 200 \text{ mA}$ | JESD78 |
| | 过电压 $1.5 \times VDD_{max}$ | |
| 预处理测试 | 烘烤: 125 °C, 24 小时 浸泡: 三级 (30 °C, 60% RH, 192 小时) 回流焊: 260 + 0 °C, 20 秒, 三次 | J-STD-020、JESD47、 JESD22-A113 |
| TCT (温度循环测试) | -65 °C / 150 °C, 500 次循环 | JESD22-A104 |
| uHAST (无偏压高加速温湿度应力试验) | 130 °C, 85% RH, 96 小时 | JESD22-A118 |
| HTSL (高温贮存寿命) | 150 °C, 1000 小时 | JESD22-A103 |
| LTSL (低温存储寿命) | -40 °C, 1000 小时 | JESD22-A119 |

1. JEDEC 文档 JEP155 规定: 500 V HBM 能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。

2. JEDEC 文档 JEP157 规定: 250 V CDM 能够在标准 ESD 控制流程下安全生产。

4.8 Wi-Fi 射频

表 17: Wi-Fi 频率

| 参数 | 最小值 (MHz) | 典型值 (MHz) | 最大值 (MHz) |
|----------|--------------|--------------|--------------|
| 工作信道中心频率 | 2412 | — | 2484 |

4.8.1 Wi-Fi 射频发射器 (TX) 规格

表 18: 频谱模板和 EVM 符合 802.11 标准时的发射功率

| 速率 | 最小值 (dBm) | 典型值 (dBm) | 最大值 (dBm) |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|
| 802.11b, 1 Mbps | — | 19.5 | — |
| 802.11b, 11 Mbps | — | 19.5 | — |
| 802.11g, 6 Mbps | — | 18.0 | — |
| 802.11g, 54 Mbps | — | 18.0 | — |
| 802.11n, HT20, MCS0 | — | 18.0 | — |
| 802.11n, HT20, MCS7 | — | 17.0 | — |
| 802.11n, HT40, MCS0 | — | 18.0 | — |
| 802.11n, HT40, MCS7 | — | 16.5 | — |

表 19: 发射 EVM 测试

| 速率 | 最小值 (dB) | 典型值 (dB) | 标准限值 (dB) |
|--------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| 802.11b, 1 Mbps, @19.5 dBm | — | -25 | -10 |
| 802.11b, 11 Mbps, @19.5 dBm | — | -25 | -10 |
| 802.11g, 6 Mbps, @18 dBm | — | -28 | -5 |
| 802.11g, 54 Mbps, @18 dBm | — | -28 | -25 |
| 802.11n, HT20, MCS0, @18 dBm | — | -26 | -5 |
| 802.11n, HT20, MCS7, @17 dBm | — | -30 | -27 |
| 802.11n, HT40, MCS0, @18 dBm | — | -28 | -5 |
| 802.11n, HT40, MCS7, @16.5 dBm | — | -30 | -27 |

4.8.2 Wi-Fi 射频接收器 (RX) 规格

表 20: 接收灵敏度

| 速率 | 最小值 (dBm) | 典型值 (dBm) | 最大值 (dBm) |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| 802.11b, 1 Mbps | — | -97 | — |
| 802.11b, 2 Mbps | — | -95 | — |
| 802.11b, 5.5 Mbps | — | -93 | — |
| 802.11b, 11 Mbps | — | -88 | — |
| 802.11g, 6 Mbps | — | -92 | — |
| 802.11g, 9 Mbps | — | -91 | — |
| 802.11g, 12 Mbps | — | -89 | — |
| 802.11g, 18 Mbps | — | -87 | — |
| 802.11g, 24 Mbps | — | -84 | — |
| 802.11g, 36 Mbps | — | -80 | — |
| 802.11g, 48 Mbps | — | -76 | — |
| 802.11g, 54 Mbps | — | -75 | — |
| 802.11n, HT20, MCS0 | — | -92 | — |
| 802.11n, HT20, MCS1 | — | -88 | — |
| 802.11n, HT20, MCS2 | — | -85 | — |
| 802.11n, HT20, MCS3 | — | -83 | — |
| 802.11n, HT20, MCS4 | — | -79 | — |
| 802.11n, HT20, MCS5 | — | -75 | — |
| 802.11n, HT20, MCS6 | — | -74 | — |
| 802.11n, HT20, MCS7 | — | -72 | — |
| 802.11n, HT40, MCS0 | — | -89 | — |
| 802.11n, HT40, MCS1 | — | -86 | — |
| 802.11n, HT40, MCS2 | — | -83 | — |
| 802.11n, HT40, MCS3 | — | -80 | — |
| 802.11n, HT40, MCS4 | — | -76 | — |
| 802.11n, HT40, MCS5 | — | -72 | — |
| 802.11n, HT40, MCS6 | — | -71 | — |
| 802.11n, HT40, MCS7 | — | -69 | — |

表 21: 最大接收电平

| 速率 | 最小值 (dBm) | 典型值 (dBm) | 最大值 (dBm) |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| 802.11b, 1 Mbps | — | 5 | — |
| 802.11b, 11 Mbps | — | 5 | — |
| 802.11g, 6 Mbps | — | 5 | — |
| 802.11g, 54 Mbps | — | 0 | — |
| 802.11n, HT20, MCS0 | — | 5 | — |
| 802.11n, HT20, MCS7 | — | 0 | — |

见下页

表 21 – 接上页

| 速率 | 最小值 (dBm) | 典型值 (dBm) | 最大值 (dBm) |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|
| 802.11n, HT40, MCS0 | — | 5 | — |
| 802.11n, HT40, MCS7 | — | 0 | — |

表 22: 接收邻道抑制

| 速率 | 最小值 (dB) | 典型值 (dB) | 最大值 (dB) |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|
| 802.11b, 1 Mbps | — | 35 | — |
| 802.11b, 11 Mbps | — | 35 | — |
| 802.11g, 6 Mbps | — | 31 | — |
| 802.11g, 54 Mbps | — | 14 | — |
| 802.11n, HT20, MCS0 | — | 31 | — |
| 802.11n, HT20, MCS7 | — | 13 | — |
| 802.11n, HT40, MCS0 | — | 19 | — |
| 802.11n, HT40, MCS7 | — | 8 | — |

5. 封装信息

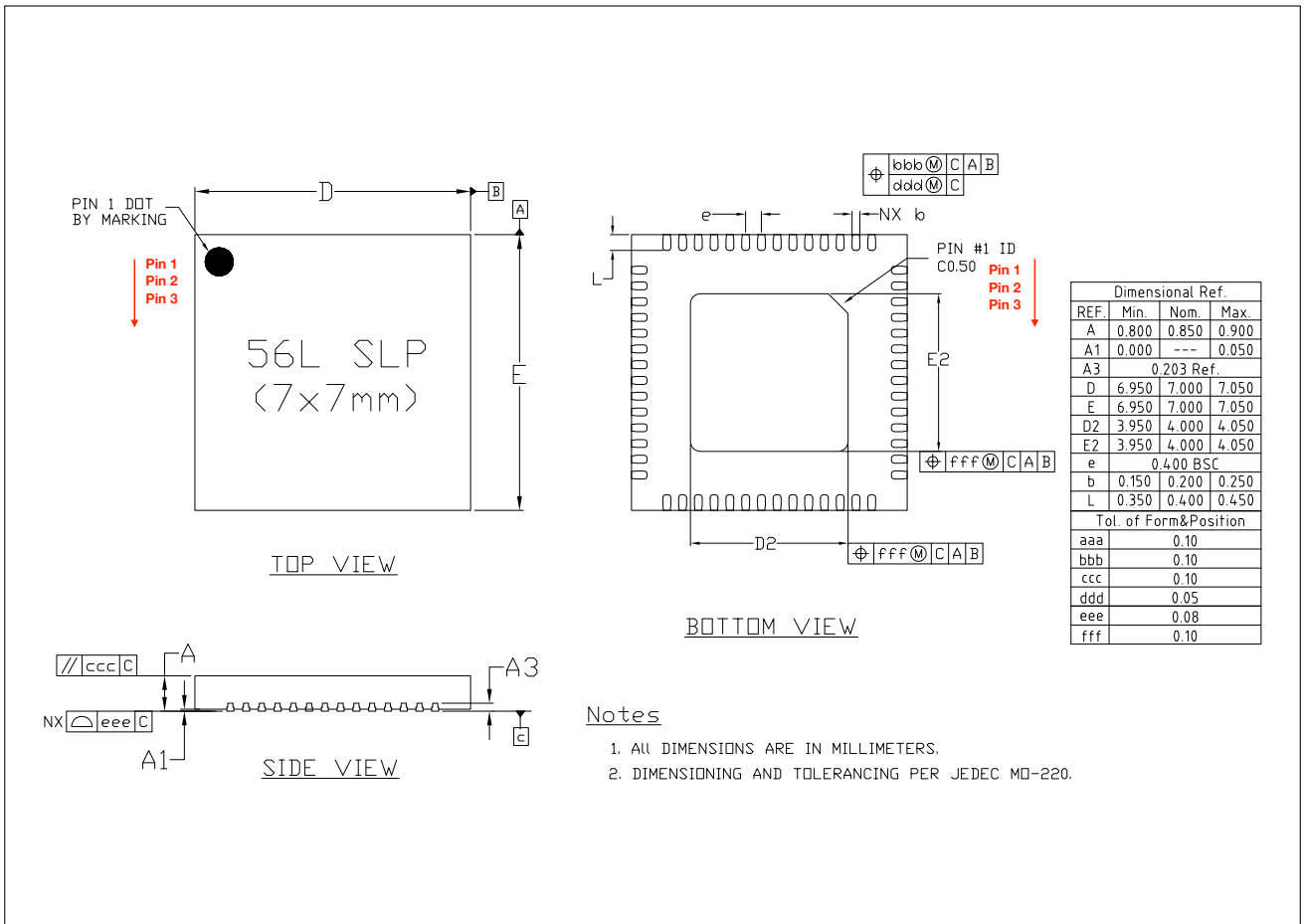


图 7: QFN56 (7x7 mm) 封装, 用于除 ESP32-S2FN4R2 之外的其他芯片变型

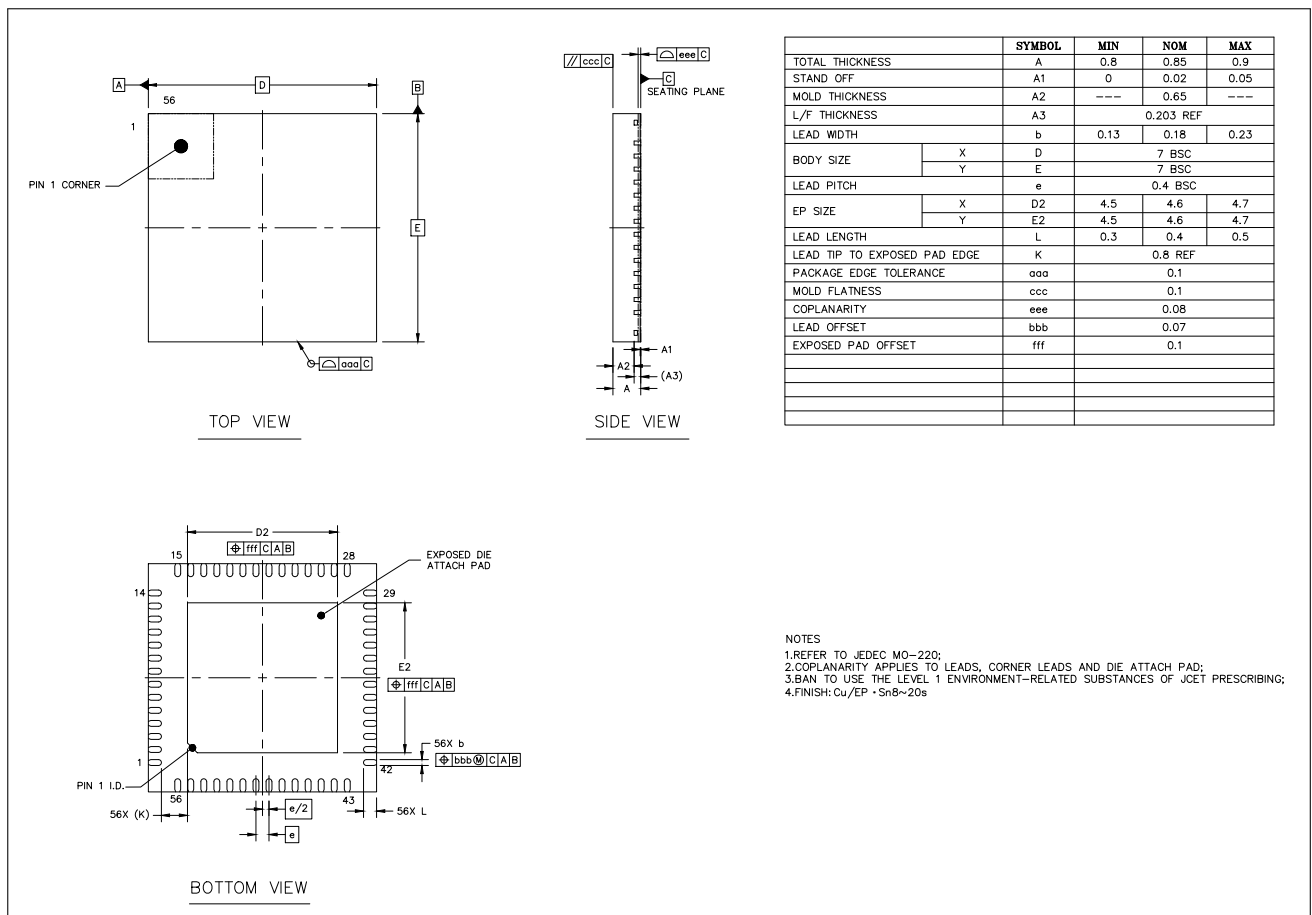


图 8: QFN56 (7×7 mm) 封装, 用于 ESP32-S2FN4R2

说明:

- 两款封装仅 EPAD 大小不同;
- 从封装俯视图看, 芯片管脚从 Pin 1 位置开始按逆时针方向进行编号;
- [推荐 PCB 封装图源文件 \(dxf\)](#) 可使用 [Autodesk Viewer](#) 查看;
- 有关卷带、载盘和产品标签的信息, 请参阅 [《乐鑫芯片包装信息》](#)。

6. 相关文档和资源

相关文档

- [《ESP32-S2 技术参考手册》](#) – 提供 ESP32-S2 芯片的存储器和外设的详细使用说明。
- [《ESP32-S2 硬件设计指南》](#) – 提供基于 ESP32-S2 芯片的产品设计规范。
- [《ESP32-S2 系列芯片勘误表》](#) – 描述 ESP32-S2 系列芯片的已知错误。
- 证书
<https://espressif.com/zh-hans/support/documents/certificates>
- ESP32-S2 产品/工艺变更通知 (PCN)
<https://espressif.com/zh-hans/support/documents/pcns?keys=ESP32-S2>
- ESP32-S2 公告 – 提供有关安全、bug、兼容性、器件可靠性的信息
<https://espressif.com/zh-hans/support/documents/advisories?keys=ESP32-S2>
- 文档更新和订阅通知
<https://espressif.com/zh-hans/support/download/documents>

开发者社区

- [《ESP32-S2 ESP-IDF 编程指南》](#) – ESP-IDF 开发框架的文档中心。
- ESP-IDF 及 GitHub 上的其它开发框架
<https://github.com/espressif>
- ESP32 论坛 – 工程师对工程师 (E2E) 的社区，您可以在这里提出问题、解决问题、分享知识、探索观点。
<https://esp32.com/>
- *The ESP Journal* – 分享乐鑫工程师的最佳实践、技术文章和工作随笔。
<https://blog.espressif.com/>
- SDK 和演示、App、工具、AT 等下载资源
<https://espressif.com/zh-hans/support/download/sdks-demos>

产品

- ESP32-S2 系列芯片 – ESP32-S2 全系列芯片。
<https://espressif.com/zh-hans/products/socs?id=ESP32-S2>
- ESP32-S2 系列模组 – ESP32-S2 全系列模组。
<https://espressif.com/zh-hans/products/modules?id=ESP32-S2>
- ESP32-S2 系列开发板 – ESP32-S2 全系列开发板。
<https://espressif.com/zh-hans/products/devkits?id=ESP32-S2>
- ESP Product Selector (乐鑫产品选型工具) – 通过筛选性能参数、进行产品对比快速定位您所需要的产品。
<https://products.espressif.com/#/product-selector?language=zh>

联系我们

- 商务问题、技术支持、电路原理图 & PCB 设计审阅、购买样品 (线上商店)、成为供应商、意见与建议
<https://espressif.com/zh-hans/contact-us/sales-questions>

附录 A - ESP32-S2 系列芯片管脚清单

A.1. IO MUX

| IO_MUX | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|------------------|------------|-------------|----------------------|------------------|------------------|------------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|------|-------------------|-------|--------------------------|-----------------|-----------------|--|
| Pin No. | Power Supply Pin | Analog Pin | Digital Pin | Power Domain | Analog Function0 | Analog Function1 | RTC_GPIO | Digital Function0 | Type | Digital Function1 | Type | Digital Function2 | Type | Digital Function3 | Type | Digital Function4 | Type | Drive Strength (Default) | At Reset | After Reset | |
| 1 | VDDA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | LNA_IN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | VDD3P3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | VDD3P3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | GPIO0 | VDD3P3_RTC_IO | | | RTC_GPIO0 | GPIO0 | I/O/T | GPIO0 | I/O/T | | | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=1, wpu | oe=0, ie=1, wpu | |
| 6 | | | GPIO1 | VDD3P3_RTC_IO | TOUCH1 | ADC1_CH0 | RTC_GPIO1 | GPIO1 | I/O/T | GPIO1 | I/O/T | | | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=1 | oe=0, ie=1 | |
| 7 | | | GPIO2 | VDD3P3_RTC_IO | TOUCH2 | ADC1_CH1 | RTC_GPIO2 | GPIO2 | I/O/T | GPIO2 | I/O/T | | | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=1 | oe=0, ie=1 | |
| 8 | | | GPIO3 | VDD3P3_RTC_IO | TOUCH3 | ADC1_CH2 | RTC_GPIO3 | GPIO3 | I/O/T | GPIO3 | I/O/T | | | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=1 | oe=0, ie=1 | |
| 9 | | | GPIO4 | VDD3P3_RTC_IO | TOUCH4 | ADC1_CH3 | RTC_GPIO4 | GPIO4 | I/O/T | GPIO4 | I/O/T | | | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=1 | oe=0, ie=1 | |
| 10 | | | GPIO5 | VDD3P3_RTC_IO | TOUCH5 | ADC1_CH4 | RTC_GPIO5 | GPIO5 | I/O/T | GPIO5 | I/O/T | | | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=0 | |
| 11 | | | GPIO6 | VDD3P3_RTC_IO | TOUCH6 | ADC1_CH5 | RTC_GPIO6 | GPIO6 | I/O/T | GPIO6 | I/O/T | | | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=0 | |
| 12 | | | GPIO7 | VDD3P3_RTC_IO | TOUCH7 | ADC1_CH6 | RTC_GPIO7 | GPIO7 | I/O/T | GPIO7 | I/O/T | | | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=0 | |
| 13 | | | GPIO8 | VDD3P3_RTC_IO | TOUCH8 | ADC1_CH7 | RTC_GPIO8 | GPIO8 | I/O/T | GPIO8 | I/O/T | | | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=0 | |
| 14 | | | GPIO9 | VDD3P3_RTC_IO | TOUCH9 | ADC1_CH8 | RTC_GPIO9 | FSPHD | I/O/T | GPIO9 | I/O/T | | | | | FSPHD | I/O/T | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=1 | |
| 15 | | | GPIO10 | VDD3P3_RTC_IO | TOUCH10 | ADC1_CH9 | RTC_GPIO10 | FSPIC50 | I/O/T | GPIO10 | I/O/T | FSPIC4 | I/O/T | | | FSPIC50 | I/O/T | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=1 | |
| 16 | | | GPIO11 | VDD3P3_RTC_IO | TOUCH11 | ADC2_CH0 | RTC_GPIO11 | FSPHD | I/O/T | GPIO11 | I/O/T | FSPIC5 | I/O/T | | | FSPHD | I/O/T | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=1 | |
| 17 | | | GPIO12 | VDD3P3_RTC_IO | TOUCH12 | ADC2_CH1 | RTC_GPIO12 | FSPICLK | I/O/T | GPIO12 | I/O/T | FSPIC5 | I/O/T | | | FSPICLK | I/O/T | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=1 | |
| 18 | | | GPIO13 | VDD3P3_RTC_IO | TOUCH13 | ADC2_CH2 | RTC_GPIO13 | FSPICQ | I/O/T | GPIO13 | I/O/T | FSPIC7 | I/O/T | | | FSPICQ | I/O/T | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=1 | |
| 19 | | | GPIO14 | VDD3P3_RTC_IO | TOUCH14 | ADC2_CH3 | RTC_GPIO14 | FSPWP | I/O/T | GPIO14 | I/O/T | FSPIC50S | I/O/T | | | FSPWP | I/O/T | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=1 | |
| 20 | VDD3P3_RTC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | | | XTAL_32K_P | VDD3P3_RTC_IO | XTAL_32K_P | ADC2_CH4 | RTC_GPIO15 | GPIO15 | I/O/T | GPIO15 | I/O/T | UORTS | O | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=0 | |
| 22 | | | XTAL_32K_N | VDD3P3_RTC_IO | XTAL_32K_N | ADC2_CH5 | RTC_GPIO16 | GPIO16 | I/O/T | GPIO16 | I/O/T | UOCTS | I1 | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=0 | |
| 23 | | | DAC_1 | VDD3P3_RTC_IO | DAC_1 | ADC2_CH6 | RTC_GPIO17 | GPIO17 | I/O/T | GPIO17 | I/O/T | U1TXD | O | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=0 | |
| 24 | | | DAC_2 | VDD3P3_RTC_IO | DAC_2 | ADC2_CH7 | RTC_GPIO18 | GPIO18 | I/O/T | GPIO18 | I/O/T | U1RXD | I1 | CLK_OUT3 | O | | | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=1, wpu | |
| 25 | | | GPIO19 | VDD3P3_RTC_IO | USB_D- | ADC2_CH8 | RTC_GPIO19 | GPIO19 | I/O/T | GPIO19 | I/O/T | U1RTS | O | CLK_OUT2 | O | | | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=0 | |
| 26 | | | GPIO20 | VDD3P3_RTC_IO | USB_D+ | ADC2_CH9 | RTC_GPIO20 | GPIO20 | I/O/T | GPIO20 | I/O/T | U1CTS | I1 | CLK_OUT1 | O | | | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=0 | |
| 27 | VDD3P3_RTC_IO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | | | GPIO21 | VDD3P3_RTC_IO | | | RTC_GPIO21 | GPIO21 | I/O/T | GPIO21 | I/O/T | | | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=0 | |
| 29 | | | SPIC51 | VDD_SPI | | | | SPIC51 | I/O/T | GPIO26 | I/O/T | | | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=1, wpu | oe=1, ie=1, wpu | |
| 30 | VDD_SPI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 31 | | | SPHD | VDD_SPI | | | | SPHD | I/O/T | GPIO27 | I/O/T | | | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=1, wpu | oe=0, ie=1, wpu | |
| 32 | | | SPWP | VDD_SPI | | | | SPWP | I/O/T | GPIO28 | I/O/T | | | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=1, wpu | oe=0, ie=1, wpu | |
| 33 | | | SPIC50 | VDD_SPI | | | | SPIC50 | I/O/T | GPIO29 | I/O/T | | | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=1, wpu | oe=1, ie=1, wpu | |
| 34 | | | SPICLK | VDD_SPI | | | | SPICLK | I/O/T | GPIO30 | I/O/T | | | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=1, wpu | oe=1, ie=1, wpu | |
| 35 | | | SPIQ | VDD_SPI | | | | SPIQ | I/O/T | GPIO31 | I/O/T | | | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=1, wpu | oe=0, ie=1, wpu | |
| 36 | | | SPID | VDD_SPI | | | | SPID | I/O/T | GPIO32 | I/O/T | | | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=1, wpu | oe=0, ie=1, wpu | |
| 37 | | | GPIO33 | VDD3P3_CPU / VDD_SPI | | | | GPIO33 | I/O/T | GPIO33 | I/O/T | FSPHD | I/O/T | | | SPIQ4 | I/O/T | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=1 | |
| 38 | | | GPIO34 | VDD3P3_CPU / VDD_SPI | | | | GPIO34 | I/O/T | GPIO34 | I/O/T | FSPIC50 | I/O/T | | | SPIQ5 | I/O/T | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=1 | |
| 39 | | | GPIO35 | VDD3P3_CPU / VDD_SPI | | | | GPIO35 | I/O/T | GPIO35 | I/O/T | FSPID | I/O/T | | | SPIQ6 | I/O/T | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=1 | |
| 40 | | | GPIO36 | VDD3P3_CPU / VDD_SPI | | | | GPIO36 | I/O/T | GPIO36 | I/O/T | FSPICLK | I/O/T | | | SPIQ7 | I/O/T | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=1 | |
| 41 | | | GPIO37 | VDD3P3_CPU / VDD_SPI | | | | GPIO37 | I/O/T | GPIO37 | I/O/T | FSPICQ | I/O/T | | | SPIC50S | I/O/T | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=1 | |
| 42 | | | GPIO38 | VDD3P3_CPU | | | | GPIO38 | I/O/T | GPIO38 | I/O/T | FSPWP | I/O/T | | | GPIO38 | I/O/T | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=1 | |
| 43 | | | MTCK | VDD3P3_CPU | | | | MTCK | I1 | GPIO39 | I/O/T | CLK_OUT3 | O | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=1 | |
| 44 | | | MTDO | VDD3P3_CPU | | | | MTDO | O/T | GPIO40 | I/O/T | CLK_OUT2 | O | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=1 | |
| 45 | VDD3P3_CPU | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 46 | | | MTDI | VDD3P3_CPU | | | | MTDI | I1 | GPIO41 | I/O/T | CLK_OUT1 | O | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=1 | |
| 47 | | | MTMS | VDD3P3_CPU | | | | MTMS | I0 | GPIO42 | I/O/T | | | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=0 | oe=0, ie=1 | |
| 48 | | | U0TXD | VDD3P3_CPU | | | | U0TXD | O | GPIO43 | I/O/T | CLK_OUT1 | O | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=1, wpu | oe=1, ie=1, wpu | |
| 49 | | | U0RXD | VDD3P3_CPU | | | | U0RXD | I1 | GPIO44 | I/O/T | CLK_OUT2 | O | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=1, wpu | oe=0, ie=1, wpu | |
| 50 | | | GPIO45 | VDD3P3_CPU | | | | GPIO45 | I/O/T | GPIO45 | I/O/T | | | | | | | 2'Ω | oe=0, ie=1, wpd | oe=0, ie=1, wpd | |
| 51 | VDDA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 52 | | XTAL_N | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 53 | | XTAL_P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 54 | VDDA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 55 | | | GPIO46 | VDD3P3_CPU | | | | GPIO46 | I | GPIO46 | I | | | | | | | | oe=0, wpd, ie=1 | oe=0, wpd, ie=1 | |
| 56 | | CHIP_PU | | VDD3P3_RTC_IO | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total | 10 | 3 | 43 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

说明:

- GPIO33、GPIO34、GPIO35、GPIO36、GPIO37 的电源域默认为 VDD3P3_CPU，也可由软件配置为 VDD_SPI。
- ESP32-S2FH2 和 ESP32-S2FH4 的管脚 SPIHD、SPWP、SPIC50、SPICLK、SPIQ 和 SPID 已连接内置 flash，不建议作其他用途。
- wpu: weak pull-up
- wpd: weak pull-down
- ie: input enable
- oe: output enable
- 每个数字 Function 栏均对应一列 Type，请参考下列描述来理解每个 Function 所对应 Type 的意义。对于功能 Function-N 而言，Type 所指的是：
 - I: 仅为输入。如果选择了 Function-N 以外的其他功能，则该管脚的输入信号仍会连接到 Function-N 的输入信号。
 - I1: 仅为输入。如果选择了 Function-N 以外的其他功能，则 Function-N 的输入信号恒为 1。
 - I0: 仅为输入。如果选择 Function-N 以外的其他功能，则 Function-N 的输入信号恒为 0。
 - O: 仅为输出。
 - T: 高阻抗。
 - I/O/T: 该功能信号包含输入、输出和高阻抗组合。
 - I1/O/T: 该函数信号包含输入、输出和高阻抗组合。如果选择了 Function-N 以外的其他功能，则 Function-N 的输入信号恒为 1。

A.2. GPIO 交换矩阵

表 23: GPIO 交换矩阵

| 序号 | 输入信号 | 默认值 * | 信号可经由 IO MUX 输出 | 输出信号 | 输出信号的输出使能 信号 |
|----|-------------------|-------|--------------------|------------------|-----------------|
| 0 | SPIQ_in | 0 | yes | SPIQ_out | SPIQ_oe |
| 1 | SPID_in | 0 | yes | SPID_out | SPID_oe |
| 2 | SPIHD_in | 0 | yes | SPIHD_out | SPIHD_oe |
| 3 | SPIWP_in | 0 | yes | SPIWP_out | SPIWP_oe |
| 4 | - | - | - | SPICLK_out_mux | SPICLK_oe |
| 5 | - | - | - | SPICS0_out | SPICS0_oe |
| 6 | - | - | - | SPICS1_out | SPICS1_oe |
| 7 | SPID4_in | 0 | yes | SPID4_out | SPID4_oe |
| 8 | SPID5_in | 0 | yes | SPID5_out | SPID5_oe |
| 9 | SPID6_in | 0 | yes | SPID6_out | SPID6_oe |
| 10 | SPID7_in | 0 | yes | SPID7_out | SPID7_oe |
| 11 | SPIDQS_in | 0 | yes | SPIDQS_out | SPIDQS_oe |
| 14 | U0RXD_in | 0 | yes | U0TXD_out | 1'd1 |
| 15 | U0CTS_in | 0 | yes | U0RTS_out | 1'd1 |
| 16 | U0DSR_in | 0 | no | U0DTR_out | 1'd1 |
| 17 | U1RXD_in | 0 | yes | U1TXD_out | 1'd1 |
| 18 | U1CTS_in | 0 | yes | U1RTS_out | 1'd1 |
| 21 | U1DSR_in | 0 | no | U1DTR_out | 1'd1 |
| 23 | I2S0O_BCK_in | 0 | no | I2S0O_BCK_out | 1'd1 |
| 25 | I2S0O_WS_in | 0 | no | I2S0O_WS_out | 1'd1 |
| 27 | I2S0I_BCK_in | 0 | no | I2S0I_BCK_out | 1'd1 |
| 28 | I2S0I_WS_in | 0 | no | I2S0I_WS_out | 1'd1 |
| 29 | I2CEXT0_SCL_in | 1 | no | I2CEXT0_SCL_out | I2CEXT0_SCL_oe |
| 30 | I2CEXT0_SDA_in | 1 | no | I2CEXT0_SDA_out | I2CEXT0_SDA_oe |
| 39 | pcnt_sig_ch0_in0 | 0 | no | gpio_wlan_prio | 1'd1 |
| 40 | pcnt_sig_ch1_in0 | 0 | no | gpio_wlan_active | 1'd1 |
| 41 | pcnt_ctrl_ch0_in0 | 0 | no | - | 1'd1 |
| 42 | pcnt_ctrl_ch1_in0 | 0 | no | - | 1'd1 |
| 43 | pcnt_sig_ch0_in1 | 0 | no | - | 1'd1 |
| 44 | pcnt_sig_ch1_in1 | 0 | no | - | 1'd1 |
| 45 | pcnt_ctrl_ch0_in1 | 0 | no | - | 1'd1 |
| 46 | pcnt_ctrl_ch1_in1 | 0 | no | - | 1'd1 |
| 47 | pcnt_sig_ch0_in2 | 0 | no | - | 1'd1 |
| 48 | pcnt_sig_ch1_in2 | 0 | no | - | 1'd1 |
| 49 | pcnt_ctrl_ch0_in2 | 0 | no | - | 1'd1 |
| 50 | pcnt_ctrl_ch1_in2 | 0 | no | - | 1'd1 |
| 51 | pcnt_sig_ch0_in3 | 0 | no | - | 1'd1 |
| 52 | pcnt_sig_ch1_in3 | 0 | no | - | 1'd1 |
| 53 | pcnt_ctrl_ch0_in3 | 0 | no | - | 1'd1 |

| 序号 | 输入信号 | 默认值 * | 信号可经由 IO MUX 输出 | 输出信号 | 输出信号的输出使能 信号 |
|-----|----------------------|-------|--------------------|---------------------|-----------------|
| 54 | pcnt_ctrl_ch1_in3 | 0 | no | - | 1'd1 |
| 64 | usb_otg_iddig_in | 0 | no | - | 1'd1 |
| 65 | usb_otg_avalid_in | 0 | no | - | 1'd1 |
| 66 | usb_srp_bvalid_in | 0 | no | usb_otg_idpullup | 1'd1 |
| 67 | usb_otg_vbusvalid_in | 0 | no | usb_otg_dppulldown | 1'd1 |
| 68 | usb_srp_sessend_in | 0 | no | usb_otg_dmpulldown | 1'd1 |
| 69 | - | - | - | usb_otg_drvvbus | 1'd1 |
| 70 | - | - | - | usb_srp_chrgvbus | 1'd1 |
| 71 | - | - | - | usb_srp_dischrgvbus | 1'd1 |
| 72 | SPI3_CLK_in | 0 | no | SPI3_CLK_out_mux | SPI3_CLK_oe |
| 73 | SPI3_Q_in | 0 | no | SPI3_Q_out | SPI3_Q_oe |
| 74 | SPI3_D_in | 0 | no | SPI3_D_out | SPI3_D_oe |
| 75 | SPI3_HD_in | 0 | no | SPI3_HD_out | SPI3_HD_oe |
| 76 | SPI3_CS0_in | 0 | no | SPI3_CS0_out | SPI3_CS0_oe |
| 77 | - | - | - | SPI3_CS1_out | SPI3_CS1_oe |
| 78 | - | - | - | SPI3_CS2_out | SPI3_CS2_oe |
| 79 | - | - | - | ledc_ls_sig_out0 | 1'd1 |
| 80 | - | - | - | ledc_ls_sig_out1 | 1'd1 |
| 81 | - | - | - | ledc_ls_sig_out2 | 1'd1 |
| 82 | - | - | - | ledc_ls_sig_out3 | 1'd1 |
| 83 | rmt_sig_in0 | 0 | no | ledc_ls_sig_out4 | 1'd1 |
| 84 | rmt_sig_in1 | 0 | no | ledc_ls_sig_out5 | 1'd1 |
| 85 | rmt_sig_in2 | 0 | no | ledc_ls_sig_out6 | 1'd1 |
| 86 | rmt_sig_in3 | 0 | no | ledc_ls_sig_out7 | 1'd1 |
| 87 | - | - | - | rmt_sig_out0 | 1'd1 |
| 88 | - | - | - | rmt_sig_out1 | 1'd1 |
| 89 | - | - | - | rmt_sig_out2 | 1'd1 |
| 90 | - | - | - | rmt_sig_out3 | 1'd1 |
| 95 | I2CEXT1_SCL_in | 1 | no | I2CEXT1_SCL_out | I2CEXT1_SCL_oe |
| 96 | I2CEXT1_SDA_in | 1 | no | I2CEXT1_SDA_out | I2CEXT1_SDA_oe |
| 100 | - | - | - | gpio_sd0_out | 1'd1 |
| 101 | - | - | - | gpio_sd1_out | 1'd1 |
| 102 | - | - | - | gpio_sd2_out | 1'd1 |
| 103 | - | - | - | gpio_sd3_out | 1'd1 |
| 104 | - | - | - | gpio_sd4_out | 1'd1 |
| 105 | - | - | - | gpio_sd5_out | 1'd1 |
| 106 | - | - | - | gpio_sd6_out | 1'd1 |
| 107 | - | - | - | gpio_sd7_out | 1'd1 |
| 108 | FSPICLK_in | 0 | yes | FSPICLK_out_mux | FSPICLK_oe |
| 109 | FSPIQ_in | 0 | yes | FSPIQ_out | FSPIQ_oe |
| 110 | FSPID_in | 0 | yes | FSPID_out | FSPID_oe |
| 111 | FSPIDH_in | 0 | yes | FSPIDH_out | FSPIDH_oe |

| 序号 | 输入信号 | 默认值 * | 信号可经由 IO MUX 输出 | 输出信号 | 输出信号的输出使能 信号 |
|-----|-----------------|-------|--------------------|-------------------|-----------------|
| 112 | FSPIWP_in | 0 | yes | FSPIWP_out | FSPIWP_oe |
| 113 | FSPIIO4_in | 0 | yes | FSPIIO4_out | FSPIIO4_oe |
| 114 | FSPIIO5_in | 0 | yes | FSPIIO5_out | FSPIIO5_oe |
| 115 | FSPIIO6_in | 0 | yes | FSPIIO6_out | FSPIIO6_oe |
| 116 | FSPIIO7_in | 0 | yes | FSPIIO7_out | FSPIIO7_oe |
| 117 | FSPICS0_in | 0 | yes | FSPICS0_out | FSPICS0_oe |
| 118 | - | - | - | FSPICS1_out | FSPICS1_oe |
| 119 | - | - | - | FSPICS2_out | FSPICS2_oe |
| 120 | - | - | - | FSPICS3_out | FSPICS3_oe |
| 121 | - | - | - | FSPICS4_out | FSPICS4_oe |
| 122 | - | - | - | FSPICS5_out | FSPICS5_oe |
| 123 | twai_rx | 1 | no | twai_tx | 1'd1 |
| 124 | - | - | - | twai_bus_off_on | 1'd1 |
| 125 | - | - | - | twai_clkout | 1'd1 |
| 126 | - | - | - | SUBSPICLK_out_mux | SUBSPICLK_oe |
| 127 | SUBSPIQ_in | 0 | yes | SUBSPIQ_out | SUBSPIQ_oe |
| 128 | SUBSPID_in | 0 | yes | SUBSPID_out | SUBSPID_oe |
| 129 | SUBSPIHD_in | 0 | yes | SUBSPIHD_out | SUBSPIHD_oe |
| 130 | SUBSPIWP_in | 0 | yes | SUBSPIWP_out | SUBSPIWP_oe |
| 131 | - | - | - | SUBSPICS0_out | SUBSPICS0_oe |
| 132 | - | - | - | SUBSPICS1_out | SUBSPICS1_oe |
| 133 | - | - | - | FSPIDQS_out | FSPIDQS_oe |
| 134 | - | - | - | FSPI_HSYNC_out | FSPI_HSYNC_oe |
| 135 | - | - | - | FSPI_VSYNC_out | FSPI_VSYNC_oe |
| 136 | - | - | - | FSPI_DE_out | FSPI_DE_oe |
| 137 | - | - | - | FSPICD_out | FSPICD_oe |
| 139 | - | - | - | SPI3_CD_out | SPI3_CD_oe |
| 140 | - | - | - | SPI3_DQS_out | SPI3_DQS_oe |
| 143 | I2S0I_DATA_in0 | 0 | no | I2S0O_DATA_out0 | 1'd1 |
| 144 | I2S0I_DATA_in1 | 0 | no | I2S0O_DATA_out1 | 1'd1 |
| 145 | I2S0I_DATA_in2 | 0 | no | I2S0O_DATA_out2 | 1'd1 |
| 146 | I2S0I_DATA_in3 | 0 | no | I2S0O_DATA_out3 | 1'd1 |
| 147 | I2S0I_DATA_in4 | 0 | no | I2S0O_DATA_out4 | 1'd1 |
| 148 | I2S0I_DATA_in5 | 0 | no | I2S0O_DATA_out5 | 1'd1 |
| 149 | I2S0I_DATA_in6 | 0 | no | I2S0O_DATA_out6 | 1'd1 |
| 150 | I2S0I_DATA_in7 | 0 | no | I2S0O_DATA_out7 | 1'd1 |
| 151 | I2S0I_DATA_in8 | 0 | no | I2S0O_DATA_out8 | 1'd1 |
| 152 | I2S0I_DATA_in9 | 0 | no | I2S0O_DATA_out9 | 1'd1 |
| 153 | I2S0I_DATA_in10 | 0 | no | I2S0O_DATA_out10 | 1'd1 |
| 154 | I2S0I_DATA_in11 | 0 | no | I2S0O_DATA_out11 | 1'd1 |
| 155 | I2S0I_DATA_in12 | 0 | no | I2S0O_DATA_out12 | 1'd1 |
| 156 | I2S0I_DATA_in13 | 0 | no | I2S0O_DATA_out13 | 1'd1 |

| 序号 | 输入信号 | 默认值 * | 信号可经由 IO MUX 输出 | 输出信号 | 输出信号的输出使能 信号 |
|-----|-------------------|-------|--------------------|--------------------|-----------------|
| 157 | I2S0I_DATA_in14 | 0 | no | I2S0O_DATA_out14 | 1'd1 |
| 158 | I2S0I_DATA_in15 | 0 | no | I2S0O_DATA_out15 | 1'd1 |
| 159 | - | - | - | I2S0O_DATA_out16 | 1'd1 |
| 160 | - | - | - | I2S0O_DATA_out17 | 1'd1 |
| 161 | - | - | - | I2S0O_DATA_out18 | 1'd1 |
| 162 | - | - | - | I2S0O_DATA_out19 | 1'd1 |
| 163 | - | - | - | I2S0O_DATA_out20 | 1'd1 |
| 164 | - | - | - | I2S0O_DATA_out21 | 1'd1 |
| 165 | - | - | - | I2S0O_DATA_out22 | 1'd1 |
| 166 | - | - | - | I2S0O_DATA_out23 | 1'd1 |
| 167 | SUBSPID4_in | 0 | yes | SUBSPID4_out | SUBSPID4_oe |
| 168 | SUBSPID5_in | 0 | yes | SUBSPID5_out | SUBSPID5_oe |
| 169 | SUBSPID6_in | 0 | yes | SUBSPID6_out | SUBSPID6_oe |
| 170 | SUBSPID7_in | 0 | yes | SUBSPID7_out | SUBSPID7_oe |
| 171 | SUBSPIDQS_in | 0 | yes | SUBSPIDQS_out | SUBSPIDQS_oe |
| 193 | I2S0I_H_SYNC | 0 | no | - | 1'd1 |
| 194 | I2S0I_V_SYNC | 0 | no | - | 1'd1 |
| 195 | I2S0I_H_ENABLE | 0 | no | - | 1'd1 |
| 215 | - | - | - | ant_sel0 | 1'd1 |
| 216 | - | - | - | ant_sel1 | 1'd1 |
| 217 | - | - | - | ant_sel2 | 1'd1 |
| 218 | - | - | - | ant_sel3 | 1'd1 |
| 219 | - | - | - | ant_sel4 | 1'd1 |
| 220 | - | - | - | ant_sel5 | 1'd1 |
| 221 | - | - | - | ant_sel6 | 1'd1 |
| 222 | - | - | - | ant_sel7 | 1'd1 |
| 223 | sig_in_func_223 | 0 | no | sig_in_func223 | 1'd1 |
| 224 | sig_in_func_224 | 0 | no | sig_in_func224 | 1'd1 |
| 225 | sig_in_func_225 | 0 | no | sig_in_func225 | 1'd1 |
| 226 | sig_in_func_226 | 0 | no | sig_in_func226 | 1'd1 |
| 227 | sig_in_func_227 | 0 | no | sig_in_func227 | 1'd1 |
| 235 | pro_alonegpio_in0 | 0 | no | pro_alonegpio_out0 | 1'd1 |
| 236 | pro_alonegpio_in1 | 0 | no | pro_alonegpio_out1 | 1'd1 |
| 237 | pro_alonegpio_in2 | 0 | no | pro_alonegpio_out2 | 1'd1 |
| 238 | pro_alonegpio_in3 | 0 | no | pro_alonegpio_out3 | 1'd1 |
| 239 | pro_alonegpio_in4 | 0 | no | pro_alonegpio_out4 | 1'd1 |
| 240 | pro_alonegpio_in5 | 0 | no | pro_alonegpio_out5 | 1'd1 |
| 241 | pro_alonegpio_in6 | 0 | no | pro_alonegpio_out6 | 1'd1 |
| 242 | pro_alonegpio_in7 | 0 | no | pro_alonegpio_out7 | 1'd1 |
| 251 | - | - | - | clk_i2s_mux | 1'd1 |

修订历史

| 日期 | 版本 | 发布说明 |
|---------|------|---|
| 2022.12 | v1.5 | <ul style="list-style-type: none"> 删除特性“天线分集”； 删除特性“支持外部功率放大器”； 在章节 3.1.1 CPU 增加 Xtensa® 指令集架构 (ISA) 的说明； 在章节 5 封装信息 新增 ESP32-S2FN4R2 的封装图。 |
| 2022.09 | v1.4 | <ul style="list-style-type: none"> 芯片版本 v0.0 升级为芯片版本 v1.0 更新图功能框图，显示功耗模式； 在产品特性中增加 CoreMark 分数； 在产品特性和章节 3.3.1 模/数转换器 (ADC) 更新 SAR ADC 的精度 在章节 3.2.1 CPU 时钟 增加外置主晶振时钟的说明； 增加表 SPI 信号总线与芯片管脚的映射关系表； 增加章节 3.4.11 DMA 控制器； 在章节 3.6.2 超低功耗协处理器 (ULP) 增加 ULP 协处理器的时钟； 在表建议工作条件中增加第三条说明； 更新章节 4.6 功耗特性； 更新章节 4.8 Wi-Fi 射频； 在附录 A.1. IO MUX 中更新管脚 DAC_2 复位后的配置； 更新章节学习资源，并更名为 相关文档和资源； 其他措辞更新。 |
| 2021.06 | v1.3 | <ul style="list-style-type: none"> 增加芯片型号 ESP32-S2R2； 更新表 16 可靠性； 在章节 5 封装信息 新增推荐 PCB 封装图的链接 增加章节 6 相关文档和资源； 其他微小改动。 |
| 2021.02 | v1.2 | <ul style="list-style-type: none"> 增加芯片型号 ESP32-S2FN4R2； 增加 TWAI® 控制器 相关信息； 将表 1 ESP32-S2 系列芯片对比 的工作温度更新为环境温度； 更新表 13 RF 功耗； 在表 4.6.2 其他功耗模式下的功耗 中增加 ULP-FSM 和 ULP-RISC-V 各自处于工作工作状态时的功耗。 |
| 2020.09 | v1.1 | <ul style="list-style-type: none"> 增加芯片型号 ESP32-S2FH2、ESP32-S2FH4； 增加章节 1 产品型号对比。 |

| 日期 | 版本 | 发布说明 |
|---------|------|---|
| 2020.04 | v1.0 | <ul style="list-style-type: none"> • 修改表 4 <i>Strapping</i> 管脚 下方第二条说明。 • 将章节 3.2.2 <i>RTC</i> 时钟 中内置 RC 振荡器的频率由 150 kHz 改为 90 kHz； • 将章节 3.6.2 超低功耗协处理器 (<i>ULP</i>) 中 RISC-V 改为 RISC-V, ULP-RISC-V 改为 ULP-RISC-V； • 修改表 4.6.2 其他功耗模式下的功耗 中几个功耗典型值； • 在表 11 直流电气特性 (3.3 V, 25 °C) 下方增加关于 V_{OH} 和 V_{OL} 的说明； • 增加表 16 可靠性； • 其他微小改动。 |
| 2019.11 | v0.4 | <ul style="list-style-type: none"> • 更新章节 3.6.2 超低功耗协处理器 (<i>ULP</i>)； • 更新章节 3.7 定时器； • 更新表 23 <i>GPIO</i> 交换矩阵； • 增加文档反馈链接； • 修正格式问题； • 其他微小改动。 |
| 2019.08 | v0.3 | 全面更新。 |
| 2019.06 | v0.2 | <ul style="list-style-type: none"> • 更新图 4 <i>ESP32-S2</i> 系列芯片数字电源管理； • 更新章节 2.4 <i>Strapping</i> 管脚； • 更新图 6 地址映射结构； • 更新章节 4 电气特性。 |
| 2019.04 | v0.1 | 预发布版本。 |



免责声明和版权公告

本档中的信息，包括供参考的 URL 地址，如有变更，恕不另行通知。

本档可能引用了第三方的信息，所有引用的信息均为“按现状”提供，乐鑫不对信息的准确性、真实性做任何保证。

乐鑫不对本档的内容做任何保证，包括内容的适销性、是否适用于特定用途，也不提供任何其他乐鑫提案、规格书或样品在他处提到的任何保证。

乐鑫不对本档是否侵犯第三方权利做任何保证，也不对使用本档内信息导致的任何侵犯知识产权的行为负责。本档在此未以禁止反言或其他方式授予任何知识产权许可，不管是明示许可还是暗示许可。

Wi-Fi 联盟成员标志归 Wi-Fi 联盟所有。蓝牙标志是 Bluetooth SIG 的注册商标。

文档中提到的所有商标名称、商标和注册商标均属其各自所有者的财产，特此声明。

版权归 © 2022 乐鑫信息科技（上海）股份有限公司。保留所有权利。