

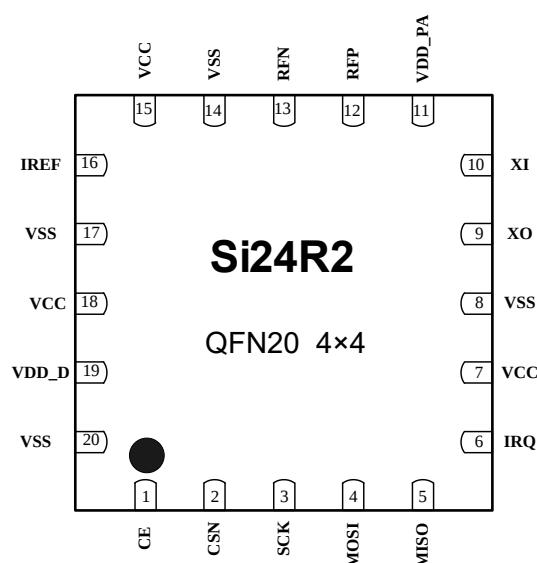
## 超低功耗高性能 2.4GHz GFSK 无线发射器芯片

## 主要特性

- 工作在 2.4GHz ISM 频段
- 调制方式: GFSK/FSK
- 数据速率: 2Mbps/1Mbps/250Kbps
- 超低关断电流: 300nA
- 超低待机电流: 15uA
- 快速启动时间:  $\leq 130\mu\text{s}$
- 内部集成高 PSRR LDO
- 宽电源电压范围: 1.9-3.6V
- 宽数字 I/O 电压范围: 1.9-5.25V
- 低成本晶振:  $16\text{MHz} \pm 60\text{ppm}$
- 最高发射功率: 7dBm
- 发射电流(2Mbps): 13.5mA (0dBm)
- 最高 10MHz 四线 SPI 接口
- 发射数据硬件中断输出
- 极少外围器件,降低系统应用成本
- QFN20 封装或 COB 封装
- 完全兼容 Si24R1 发射功能

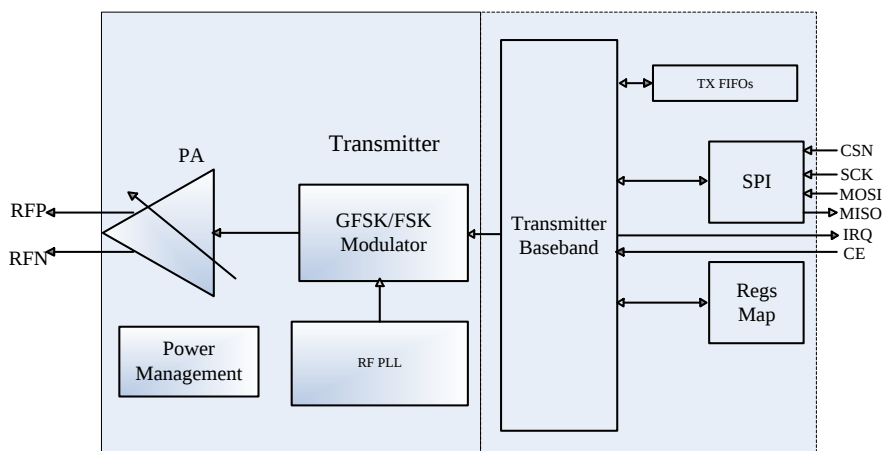
- ◆ 无线遥控、体感设备
- ◆ 有源 RFID、NFC
- ◆ 智能电网、智能家居
- ◆ 无线音频
- ◆ 无线数据传输模块
- ◆ 低功耗自组网无线传感网节点

## 封装图



## 应用范围

## 结构框图



## 术语缩写

| 术语      | 描述                                 | 中文描述     |
|---------|------------------------------------|----------|
| ARQ     | Auto Repeat-reQuest                | 自动重传请求   |
| ART     | Auto ReTransmission                | 自动重发     |
| ARD     | Auto Retransmission Delay          | 自动重传延迟   |
| BER     | Bit Error Rate                     | 误码率      |
| CE      | Chip Enable                        | 芯片使能     |
| CRC     | Cyclic Redundancy Check            | 循环冗余校验   |
| CSN     | Chip Select                        | 片选       |
| DPL     | Dynamic Payload Length             | 动态载波长度   |
| GFSK    | Gaussian Frequency Shift Keying    | 高斯频移键控   |
| IRQ     | Interrupt Request                  | 中断请求     |
| ISM     | Industrial-Scientific-Medical      | 工业-科学-医学 |
| LSB     | Least Significant Bit              | 最低有效位    |
| Mbps    | Megabit per second                 | 兆位每秒     |
| MCU     | Micro Controller Unit              | 微控制器     |
| MHz     | Mega Hertz                         | 兆赫兹      |
| MISO    | Master In Slave Out                | 主机输入从机输出 |
| MOSI    | Master Out Slave In                | 主机输出从机输入 |
| MSB     | Most Significant Bit               | 最高有效位    |
| PA      | Power Amplifier                    | 功率放大器    |
| PID     | Packet Identity                    | 数据包识别位   |
| PLD     | Payload                            | 载波       |
| RX      | RX                                 | 接收端      |
| TX      | TX                                 | 发射端      |
| PWR_DWN | Power Down                         | 掉电       |
| PWR_UP  | Power UP                           | 上电       |
| RF_CH   | Radio Frequency Channel            | 射频通道     |
| RSSI    | Received Signal Strength Indicator | 信号强度指示器  |
| RX      | Receiver                           | 接收机      |
| RX_DR   | Receive Data Ready                 | 接收数据准备就绪 |
| SCK     | SPI Clock                          | SPI 时钟   |
| SPI     | Serial Peripheral Interface        | 串行外设接口   |
| TX      | Transmitter                        | 发射机      |
| TX_DS   | Transmit Data Sent                 | 已发数据     |
| XTAL    | Crystal                            | 晶体振荡器    |

## 目 录

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| 1 简介 .....                              | 4  |
| 2 引脚信息 .....                            | 5  |
| 3 工作模式 .....                            | 6  |
| 3.1 状态转换图 .....                         | 6  |
| 3.1.1 SHUTDOWN 工作模式 .....               | 7  |
| 3.1.2 STANDBY 工作模式 .....                | 7  |
| 3.1.3 IDLE-TX 工作模式 .....                | 7  |
| 3.1.4 TX 工作模式 .....                     | 7  |
| 4 数据包处理协议 .....                         | 8  |
| 4.1 包格式 .....                           | 8  |
| 4.2 通信模式 .....                          | 9  |
| 4.2.1 NO ACK 模式 .....                   | 9  |
| 4.2.2 动态 PAYLOAD 长度与静态 PAYLOAD 长度 ..... | 9  |
| 4.3 兼容模式 .....                          | 9  |
| 5 SPI 数据与控制接口 .....                     | 10 |
| 5.1 SPI 命令 .....                        | 10 |
| 5.2 SPI 时序 .....                        | 10 |
| 6 寄存器映射表 .....                          | 12 |
| 7 主要参数指标 .....                          | 16 |
| 7.1 极限参数 .....                          | 16 |
| 7.2 电气指标 .....                          | 16 |
| 8 封装 .....                              | 18 |
| 9 典型应用原理图 .....                         | 20 |
| 9.1 典型应用原理图 .....                       | 20 |
| 9.2 PCB 布线 .....                        | 21 |
| 10 订单信息 .....                           | 23 |
| 11 技术支持与联系方式 .....                      | 24 |
| 附： 典型配置方案 .....                         | 25 |

## 1 简介

Si24R2 是一颗工作在 2.4GHz ISM 频段，专为低功耗无线场合设计，集成嵌入式发射基带的无线发射芯片。工作频率范围为 2400~2525MHz，共有 126 个 1MHz 带宽的信道。内部集成高 PSRR 的 LDO 电源，保证 1.9-3.6V 宽电源范围内稳定工作。

Si24R2 采用 GFSK/FSK 数字调制与解调技术。数据传输速率与 PA 输出功率都可以调节，支持 2Mbps、1Mbps 和 250Kbps 三种数据速率。高的数据速率可以在更短的时间完成同样的数据收发，因此可以具有更低的功耗。

Si24R2 针对低功耗应用场合进行了特别优化，在关断模式下，所有寄存器值与 FIFO 值保持不变，关断电流仅为 300nA；在待机模式下，时钟保持工作，电流为 15uA，并且可以在最长 130uS 时间内开始数据的发射。

Si24R2 操作方式非常方便，只需要微控制器（MCU）通过 SPI 接口对芯片少数几个寄存器配置即可以实现数据的发射通信。

Si24R2 具有非常低的系统应用成本，只需要一个 MCU 和少量外围无源器件即可以组成一个无线数据发射系统。数字 I/O 兼容 2.5V/3.3V/5V 等多种标准 I/O 电压，可以与各种 MCU 端口直接连接。

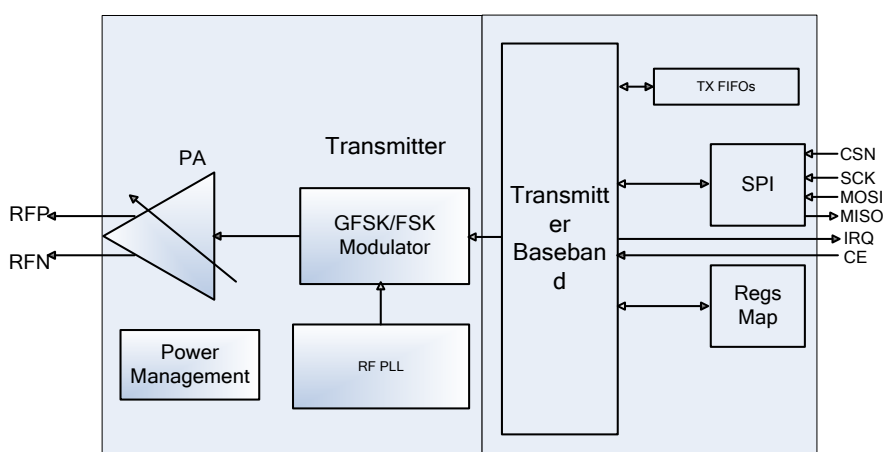


图 1-1 芯片结构框图

## 2 引脚信息

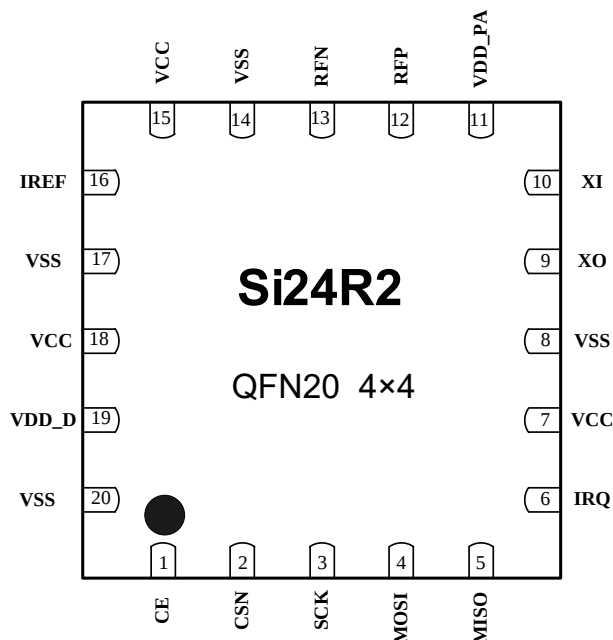


图 2-1 Si24R2 引脚信息图（QFN20 4×4 封装）

表 2.1 引脚功能描述

| 端口            | 端口名称        | 端口类型  | 功能描述                    |
|---------------|-------------|-------|-------------------------|
| 1             | CE          | DI    | 芯片开启信号，激活 RX 或 TX 模式    |
| 2             | CSN         | DI    | SPI 片选信号                |
| 3             | SCK         | DI    | SPI 时钟信号                |
| 4             | MOSI        | DI    | SPI 输入信号                |
| 5             | MISO        | DO    | SPI 输出信号                |
| 6             | IRQ         | DO    | 可屏蔽中断信号，低电平有效           |
| 7, 15, 18     | VCC         | Power | 电源（+1.9 ~ +3.6V，DC）     |
| 8, 14, 17, 20 | VSS         | Power | 地（0V）                   |
| 9             | XO          | AO    | 晶体振荡器输出引脚               |
| 10            | XI          | AI    | 晶体振荡器输入引脚               |
| 11            | VDD_PA      | Power | 给内置 PA 供电的电源输出引脚（+1.8V） |
| 12            | RFP         | RF    | 天线接口 1                  |
| 13            | RFN         | RF    | 天线接口 2                  |
| 16            | IREF        | AI    | 基准电流                    |
| 19            | VDD_D       | PO    | 内部数字电路电源，须接去耦电容         |
|               | Die exposed | Power | 地（0V），推荐与 PCB 大面积地相连    |

## 3 工作模式

### 3.1 状态转换图

Si24R2 芯片内部有状态机，控制着芯片在不同工作模式之间的转换。

Si24R2 可配置为 Shutdown、Standby、Idle-TX、TX 四种工作模式。状态转换图如图 3-1 所示。

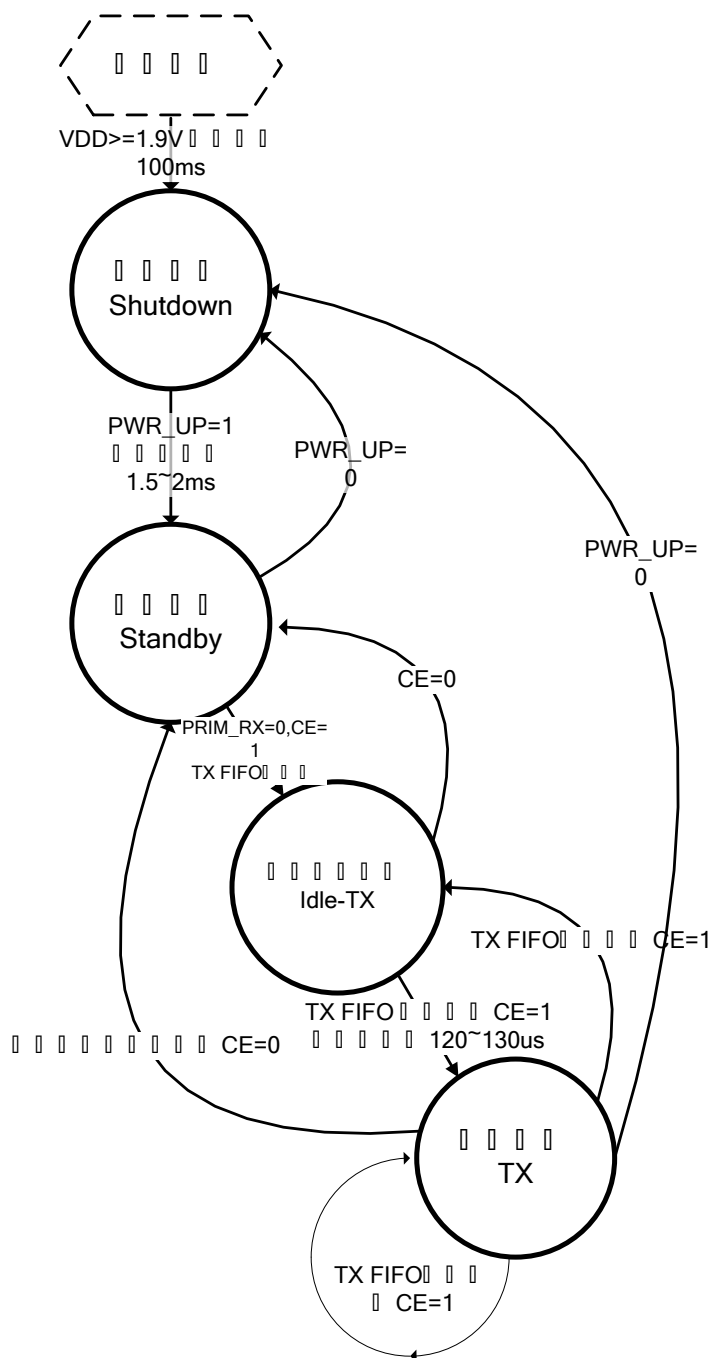


图 3-1 Si24R2 工作模式切换图

### 3.1.1 Shutdown 工作模式

在 Shutdown 工作模式下，Si24R2 所有发射功能模块关闭，芯片停止工作，消耗电流最小，但所有内部寄存器值和 FIFO 值保持不变，仍可通过 SPI 实现对寄存器的读写。设置 CONFIG 寄存器的 PWR\_UP 位的值为 0，芯片立即返回到 Shutdown 工作模式。

### 3.1.2 Standby 工作模式

在 Standby 工作模式，只有晶体振荡器电路工作，保证了芯片在消耗较少电流的同时能够快速启动。设置 CONFIG 寄存器下的 PWR\_UP 位的值为 1，芯片待时钟稳定后进入 Standby 模式。芯片的时钟稳定时间一般为 1.5~2ms，与晶振的性能有关。当引脚 CE=1 时，芯片将由 Standby 模式进入到 Idle-TX 模式，当 CE=0 时，芯片将由 Idle-TX、TX 模式返回到 Standby 模式。

### 3.1.3 Idle-TX 工作模式

在 Idle-TX 工作模式下，晶体振荡器电路及时钟电路工作。相比于 Standby 模式，芯片消耗更多的电流。当发送端 TX FIFO 寄存器为空，并且引脚 CE=1 时，芯片进入到 Idle-TX 模式。在该模式下，如果有新的数据包被送到 TX FIFO 中，芯片内部的电路将立即启动，切换到 TX 模式将数据包发送。

在 Standby 和 Idle-TX 工作模式下，所有内部寄存器值和 FIFO 值保持不变，仍可通过 SPI 实现对寄存器的读写。

### 3.1.4 TX 工作模式

当需要发送数据时，需要切换到 TX 工作模式。芯片进入到 TX 工作模式的条件为：TX FIFO 中有数据，CONFIG 寄存器的 PWR\_UP 位的值为 1，PRIM\_RX 位的值为 0，同时要求引脚 CE 上有一个至少持续 10us 的高脉冲。芯片不会直接由 Standby 模式直接切换到 TX 模式，而是先立即切换到 Idle-TX 模式，再由 Idle-TX 模式自动切换到 TX 模式。Idle-TX 模式切换到 TX 模式的时间为 120us~130us 之间，但不会超过 130us。单包数据发送完成后，如果 CE=1，则由 TX FIFO 的状态来决定芯片所处的工作模式，当 TX FIFO 还有数据，芯片继续保持在 TX 工作模式，并发送下一包数据；当 TX FIFO 没有数据，芯片返回 Idle-TX 模式；如果 CE=0，立即返回 Standby 模式。数据发射完成后，芯片产生数据发射完成中断。

## 4 数据包处理协议

Si24R2 基于包通信，数据包格式与 Si24R1 相同。芯片内部集成基带处理引擎，可以不需要外部微控制器干预，自动实现数据包的处理。基带处理单元支持 1 到 32 字节动态数据长度，数据长度在数据包内。也可以采用固定数据长度，通过寄存器指定；基带处理单元完成数据的自动解包、打包。该处理单元内部有 3 级 FIFO，可以一次发射 3 包数据。

### 4.1 包格式

一个完整的数据包包括前导码、地址、包控制字、负载数据以及 CRC。如图 4-1 显示为一个完整的包。

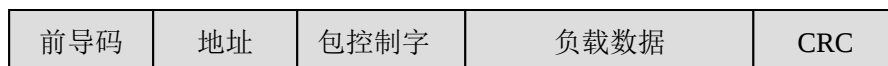


图 4-1 一个完整的数据包

前导码字段主要用于接收数据同步，发射时芯片自动附上，对用户透明。

地址字段为接收数据方地址，只有当该地址与芯片的地址寄存器中地址相同时才会接收。地址长度可以通过配置寄存器 AW 配置为 3、或 4、或 5 字节。

包控制字段长度为 9bit，结构如图 4-2。

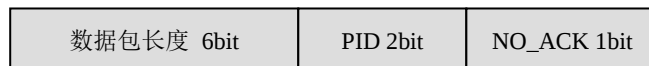


图 4-2 包控制字段格式

数据包长度子字段指定数据包的长度，可以为 0 到 32 字节。

例如：000000 = 0byte(包为空)

100000 = 32 byte(数据包长度为 32 字节)

PID 子字段告知接收端这个包是一个新的包还是一个重发的包，可以防止接收端多次接收同一个包。发射方通过 SPI 写 FIFO，PID 的值自动累加。

单发射芯片不需要接收 ACK 信号，NO\_ACK 子字段固定为 1，则表明发射方告知接收端不需要回 ACK 确认信号。负载数据字段为发射数据内容，可以最长 32 字节。

CRC 字段为包的 CRC 值，CRC 支持 8bit 和 16bit 两种，CRC 的长度通过 CONFIG 寄存器中的 CRCO 位配置。

数据包中应尽量避免出现长串的 0 或 1，否则会容易受到干扰，影响通讯质量。

## 4.2 通信模式

在 TX 模式下，发送端自动将前导码、地址、包控制字、负载数据、CRC 打包。通过射频模块将信号调制通过天线发射。

### 4.2.1 NO ACK 模式

用 W\_TX\_PAYLOAD\_NOACK 命令对发送方写 TX PAYLOAD 时，数据包中 NO\_ACK 标志位置位，发送端发送完一包数据后，立即产生 TX\_DS 中断，并且开始准备发送下一包数据。接收端接收到数据后判断 NO\_ACK 标志置位，且数据有效，则产生 RX\_DR 中断，此时一帧数据通信完成，不再回复 ACK 信号。

### 4.2.2 动态 PAYLOAD 长度与静态 PAYLOAD 长度

发送端通过配置 FEATURE 寄存器中的 EN\_DPL 位与 DYNPD 寄存器中的 DPL\_P0 位，进入动态负载长度模式，发送的数据包中包控制字段中前 6 位为要发送的数据长度。

接收端配置 FEATURE 寄存器中的 EN\_DPL 位，并且开启 DYNPD 寄存器中相应管道的动态使能后，自动以数据包中包控制字中的数据长度来接收数据。因此每次接收到负载数据长度可以不同，并且可以通过 R\_RX\_PL\_WID 命令来读出负载数据的长度。如果默认为静态负载长度，发送端每次传输的负载长度必须一致，且与接收方事先配置好的 RX\_PW\_Px 寄存器值相同。

## 4.3 兼容模式

Si4R2 可以提供另一种数据包格式，发出的包格式如下：

|     |    |      |     |
|-----|----|------|-----|
| 前导码 | 地址 | 负载数据 | CRC |
|-----|----|------|-----|

在兼容模式下，需要设置寄存器 EN\_AA = 0，该模式下不支持动态负载长度模式，设置 DPL\_Px = 0 及 EN\_DPL = 0。在兼容模式下，接收方需要设置 RX\_PW\_Px 为发送方发送的包长度值，且设置 DPL\_Px = 0 及 EN\_DPL = 0。另外，数据速率只能设置为 1Mbps 或 250kbps。

## 5 SPI 数据与控制接口

芯片采用标准的四线 SPI 接口，最高读写速度为 10Mb/S。外部微控制器可以通过 SPI 接口对芯片进行配置，包括读写功能寄存器、读写 FIFO、读芯片状态、清除中断等。

### 5.1 SPI 命令

SPI 命令参见表 6-1。CSN 从高电平翻转为低电平，SPI 接口开始工作。每一次 SPI 操作，MISO 输出的第一字节为状态寄存器的值，之后通过命令来确定是否输出值(不输出为高阻态)。命令格式中命令字按从 MSBit 到 LSBit 的顺序输入，数据格式中按从 LSByte 到 MSByte 的顺序，每字节中按从 MSBit 到 LSBit 的顺序输入。详细请参考 SPI 时序，图 6-1 及图 6-2。

表 6-1

| Command name        | Command word<br>(binary) | # Data bytes         | 操作                                                            |
|---------------------|--------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------|
| R_REGISTER          | 000A AAAA                | 1 to 5 LSByte first  | 读寄存器命令，AAAAA表示寄存器地址（参考寄存器表）。                                  |
| W_REGISTER          | 001A AAAA                | 1 to 5 LSByte first  | 写寄存器命令，AAAAA表示寄存器地址（参考寄存器表），只允许Shutdown、Standby、Idle-TX模式下操作。 |
| FLUSH_TX            | 1110 0001                | 0                    | 清空TX FIFO，适用于发射模式。                                            |
| REUSE_TX_PL         | 1110 0011                | 0                    | 适用于发送方，清空TX FIFO或对FIFO写入新的数据后不能使用该命令。                         |
| W_TX_PAYLOAD_NO ACK | 1011 0000                | 1 to 32 LSByte first | 适用于发射模式，使用这个命令同时需要将AUTOACK位置1。                                |
| NOP                 | 1111 1111                | 0                    | 无操作。可用于返回STATUS值。                                             |

### 5.2 SPI 时序

SPI 操作包括基本的读写操作以及其他的命令操作，时序上如图 5-1 及图 5-2。

注：只能在 Shutdown、Standby 和 Idle-TX 模式下才能对寄存器进行配置。

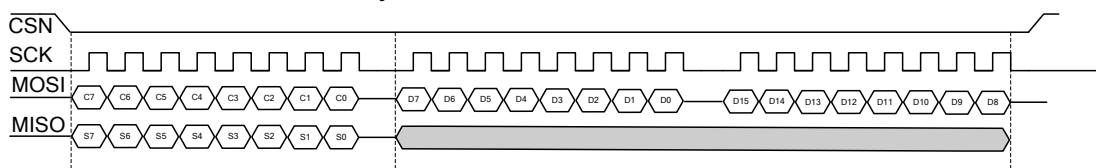


图 5-1 SPI 写操作

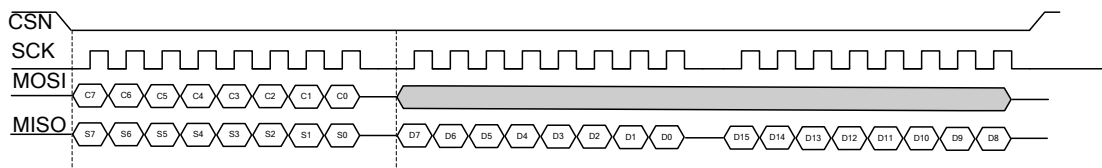


图 5-2 SPI 读操作

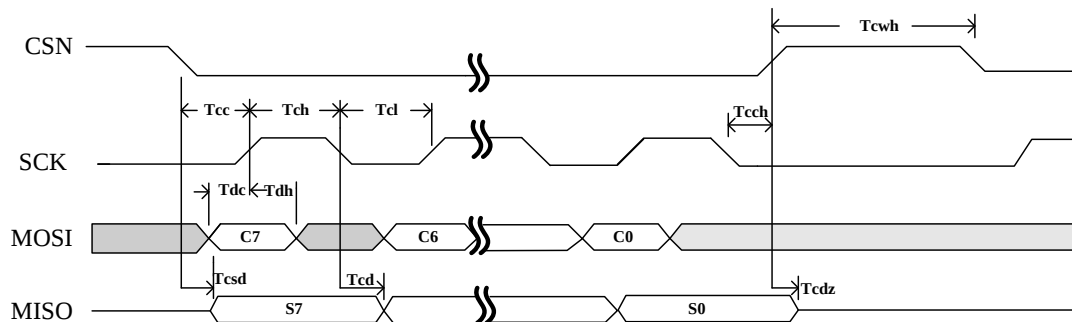


图 5-3 SPI 典型时序

表 5-1 为 SPI 典型时序参数。

表 5-1 SPI 时序参数

| Symbol | Parameters           | Min | Max | Units |
|--------|----------------------|-----|-----|-------|
| Tdc    | Data to SCK Setup    | 2   |     | ns    |
| Tdh    | SCK to Data Hold     | 2   |     | ns    |
| Tcsd   | CSN to Data Valid    |     | 42  | ns    |
| Tcd    | SCK to Data Valid    |     | 58  | ns    |
| Tcl    | SCK Low Time         | 40  |     | ns    |
| Tch    | SCK High Time        | 40  |     | ns    |
| Fsck   | SCK Frequency        | 0   | 10  | MHz   |
| Tr,Tf  | SCK Rise and Fall    |     | 100 | ns    |
| Tcc    | CSN to SCK Setup     | 2   |     | ns    |
| Tcch   | SCK to CSN Hold      | 2   |     | ns    |
| Tcwh   | CSN Inactive time    | 50  |     | ns    |
| Tcdz   | CSN to Output High Z |     | 42  | ns    |

## 6 寄存器映射表

| Address<br>(Hex) | Mnemonic   | Bit | Reset Value | Type | Description                                                                            |
|------------------|------------|-----|-------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 00               | CONFIG     |     |             |      | 配置寄存器                                                                                  |
|                  | Reserved   | 7   | 0           | R/W  | 保留, 0                                                                                  |
|                  | Reserved   | 6   | 0           | R/W  | 保留, 0                                                                                  |
|                  | MASK_TX_DS | 5   | 0           | R/W  | 发射中断屏蔽控制<br>0: 发射中断使能, TX_DS中断标志在IRQ引脚上产生中断信号, 低电平有效<br>1: 发射中断关闭, TX_DS中断标志不影响IRQ引脚输出 |
|                  | Reserved   | 4   | 0           | R/W  | 保留, 0                                                                                  |
|                  | EN_CRC     | 3   | 1           | R/W  | 使能CRC。如果EN_AA不全为零时, EN_CRC必须为1。<br>0: 关闭CRC<br>1: 开启CRC                                |
|                  | CRCO       | 2   | 0           | R/W  | CRC长度配置,<br>0: 1byte<br>1: 2 bytes                                                     |
|                  | PWR_UP     | 1   | 0           | R/W  | 关断/开机模式配置<br>0: 关断模式<br>1: 开机模式                                                        |
|                  | PRIM_RX    | 0   | 0           | R/W  | 固定为0                                                                                   |
| 01               | EN_AA      |     |             |      |                                                                                        |
|                  | 7: 6       |     | Reserved    | R    |                                                                                        |
|                  | 5:0        |     | 111111      | R/W  | NOACK时设置为全1<br>兼容模式下设置为全0                                                              |
| 02               | Reserved   |     |             |      |                                                                                        |
| 03               | SETUP_AW   |     |             |      | 地址宽度配置                                                                                 |
|                  | Reserved   | 7:2 | 000000      | R/W  | 保留, 000000                                                                             |
|                  | AW         | 1:0 | 11          | R/W  | 发射方地址宽度<br>00: 错误值                                                                     |

|    |            |     |         |     |                                                                                                                              |
|----|------------|-----|---------|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |            |     |         |     | 01: 3bytes<br>10: 4bytes<br>11: 5bytes                                                                                       |
| 04 | Reserved   |     |         |     |                                                                                                                              |
| 05 | RF_CH      |     |         |     | 射频信道                                                                                                                         |
|    | Reserved   | 7   | 0       | R/W | 保留, 0                                                                                                                        |
|    | RF_CH      | 6:0 | 0000010 | R/W | 设置芯片工作时的信道, 分别对应第0~125个信道; 信道间隔为1MHz, 默认为02即2402MHz                                                                          |
| 06 | RF_SETUP   |     |         |     | 射频配置                                                                                                                         |
|    | CONT_WAVE  | 7   | 0       | R/W | 为'1'时, 使能恒载波发射模式, 用来测试发射功率                                                                                                   |
|    | Reserved   | 6   | 0       | R/W | 保留, 0                                                                                                                        |
|    | RF_DR_LOW  | 5   | 0       | R/W | 设置射频数据率为250kbps、1Mbps或2Mbps, 与RF_DR_HIGH共同控制                                                                                 |
|    | PLL_LOCK   | 4   | 0       | R/W | 保留字, 必须为0                                                                                                                    |
|    | RF_DR_HIGH | 3   | 1       | R/W | 设置射频数据率<br>[RF_DR_LOW, RF_DR_HIGH]:<br>00: 1Mbps<br>01: 2Mbps<br>10: 250kbps<br>11: 保留                                       |
|    | RF_PWR     | 2:0 | 110     | R/W | 设置TX发射功率<br>111: 7dBm      110: 4dBm<br>101: 3dBm      100: 1dBm<br>011: 0dBm      010: -4dBm<br>001: -6dBm      000: -12dBm |
| 07 | STATUS     |     |         |     | 状态寄存器(SPI操作的第一个字节, 状态寄存器值通过MISO串行输出)。                                                                                        |
|    | Reserved   | 7   | 0       | R/W | 保留,0                                                                                                                         |
|    | Reserved   | 6   | 0       | R/W | 保留,0                                                                                                                         |
|    | TX_DS      | 5   | 0       | R/W | 发射端发射完成中断位, 如果是ACK模式, 则收到ACK确认信号后TX_DS位置'1', 写'1'清除。                                                                         |
|    | Reserved   | 4:1 | 0       | R/W | 保留,0                                                                                                                         |
|    | TX_FULL    | 0   | 0       | R   | TX FIFO满标志位。                                                                                                                 |
| 08 | Reserved   |     |         |     |                                                                                                                              |

|    |             |      |              |     |                                                                                          |
|----|-------------|------|--------------|-----|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 09 | Reserved    |      |              |     |                                                                                          |
| 0A | Reserved    |      |              |     |                                                                                          |
| 0B | Reserved    |      |              |     |                                                                                          |
| 0C | Reserved    |      |              |     |                                                                                          |
| 0D | Reserved    |      |              |     |                                                                                          |
| 0E | Reserved    |      |              |     |                                                                                          |
| 0F | Reserved    |      |              |     |                                                                                          |
| 10 | TX_ADDR     | 39:0 | 0xE7E7E7E7E7 | R/W | 发射方的发射地址(LSByte最先写入), 如果发射放需要收ACK确认信号, 则需要配置RX_ADDR_P0的值等于TX_ADDR, 并使能ARQ。               |
| 11 | Reserved    |      |              |     |                                                                                          |
| 12 | Reserved    |      |              |     |                                                                                          |
| 13 | Reserved    |      |              |     |                                                                                          |
| 14 | Reserved    |      |              |     |                                                                                          |
| 15 | Reserved    |      |              |     |                                                                                          |
| 16 | Reserved    |      |              |     |                                                                                          |
| 17 | FIFO_STATUS |      |              |     | FIFO状态                                                                                   |
|    | Reserved    | 7    | 0            | R/W | 保留, 0                                                                                    |
|    | TX_REUSE    | 6    | 0            | R   | 只用于发射端, FIFO数据重新利用<br>当用REUSE_TX_PL命令后, 发射上次已成功发射的数据, 通过<br>W_TX_PAYLOAD或FLUSH TX命令关闭该功能 |
|    | TX_FULL     | 5    | 0            | R   | TX FIFO满标志<br>1: TX FIFO满<br>0: TX FIFO可写                                                |
|    | TX_EMPTY    | 4    | 1            | R   | TX FIFO空标志<br>1: TX FIFO为空<br>0: TX FIFO有数据                                              |
|    | Reserved    | 3:0  | 00           | R/W | 保留, 0000                                                                                 |

|    |          |     |         |     |             |
|----|----------|-----|---------|-----|-------------|
| 1C | DYNPD    |     |         |     | 使能动态负载长度    |
|    | Reserved | 7:1 | 0000000 |     |             |
|    | DPL_P0   | 0   | 0       |     | 1: 使能动态负载长度 |
|    |          |     |         |     |             |
| 1D | FEATURE  |     |         | R/W | 特征寄存器       |
|    | Reserved | 7:3 | 0       | R/W | 保留,00000    |
|    | EN_DPL   | 2   | 0       | R/W | 1:使能动态负载长度  |
|    | Reserved | 1:0 | 0       | R/W | 保留,01       |

## 7 主要参数指标

### 7.1 极限参数

| 工作条件   | 最小值                             | 最大值        | 单位 |
|--------|---------------------------------|------------|----|
| 电源电压   |                                 |            |    |
| VDD    | -0.3                            | 3.6        | V  |
| VSS    |                                 | 0          | V  |
| 输入电压   |                                 |            |    |
| VI     | -0.3                            | 5.25       | V  |
| 输出电压   |                                 |            |    |
| VO     | VSS to VDD                      | VSS to VDD | V  |
| 总功耗    |                                 |            |    |
|        |                                 | 100        | mW |
| 温度     |                                 |            |    |
| 工作温度范围 | -40                             | +85        | °C |
| 存储温度   | -40                             | +125       | °C |
| ESD 性能 | HBM(Human Body Model): Class 1C |            |    |

### 7.2 电气指标

条件: VDD=3V, VSS=0V TA=27°C, 晶振 CL=12pF

| 符号                     | 参数             | 最小值 | 典型值  | 最大值 | 单位 | 备注 |
|------------------------|----------------|-----|------|-----|----|----|
| OP 参数                  |                |     |      |     |    |    |
| VDD                    | 电源电压范围         | 1.9 |      | 3.6 | V  |    |
| I <sub>SHD</sub>       | Shutdown 模式电流  |     | 0.3  |     | μA |    |
| I <sub>STB</sub>       | Standby 模式电流   |     | 15   |     | μA |    |
| I <sub>IDLE</sub>      | Idle-TX 模式电流   |     | 380  |     | μA |    |
|                        |                |     |      |     |    |    |
|                        |                |     |      |     |    |    |
|                        |                |     |      |     |    |    |
| I <sub>TX@7dBm</sub>   | TX 模式电流 @7dBm  |     | 23   |     | mA |    |
| I <sub>TX@4dBm</sub>   | TX 模式电流 @4dBm  |     | 17   |     | mA |    |
| I <sub>TX@0dBm</sub>   | TX 模式电流 @0dBm  |     | 13.5 |     | mA |    |
| I <sub>TX@-6dBm</sub>  | TX 模式电流 @-6dBm |     | 10   |     | mA |    |
| I <sub>TX@-12dBm</sub> | TX 模式电流        |     | 8.5  |     | mA |    |

|                                |                           |      |       |      |      |                |
|--------------------------------|---------------------------|------|-------|------|------|----------------|
|                                | @-12dBm                   |      |       |      |      |                |
| RF 参数                          |                           |      |       |      |      |                |
| F <sub>OP</sub>                | RF 频率范围                   | 2400 |       | 2525 | MHz  |                |
| F <sub>CH</sub>                | RF 信道间隔                   | 1    |       |      | MHz  | 2Mbps时至少为 2MHz |
| ΔF <sub>MOD</sub> (2Mbps)      | 调制频率偏移                    |      | ± 330 |      | KHz  |                |
| ΔF <sub>MOD</sub> (1M/250Kbps) | 调制频率偏移                    |      | ± 175 |      | KHz  |                |
| R <sub>GFSK</sub>              | 数据速率                      | 250  |       | 2000 | Kbps |                |
| TX 参数                          |                           |      |       |      |      |                |
| P <sub>RF</sub>                | RF 输出功率                   | -30  |       | 7    | dBm  |                |
| P <sub>BW</sub> @2Mbps         | 调制带宽                      |      | 2.1   |      | MHz  |                |
| P <sub>BW</sub> @1Mbps         | 调制带宽                      |      | 1.1   |      | MHz  |                |
| P <sub>BW</sub> @250Kbps       | 调制带宽                      |      | 0.9   |      | MHz  |                |
| P <sub>RF1</sub>               | 1 <sup>st</sup> 邻道功率 2MHz |      |       | -20  | dBm  |                |
| P <sub>RF2</sub>               | 2 <sup>nd</sup> 邻道功率 4MHz |      |       | -46  | dBm  |                |
| 晶振参数                           |                           |      |       |      |      |                |
| F <sub>XO</sub>                | 晶振频率                      |      | 16    |      | MHz  |                |
| ΔF                             | 频偏                        |      | ±60   |      | ppm  |                |
| ESR                            | 等效损耗电阻                    |      | 100   |      | Ω    |                |

## 8 封装

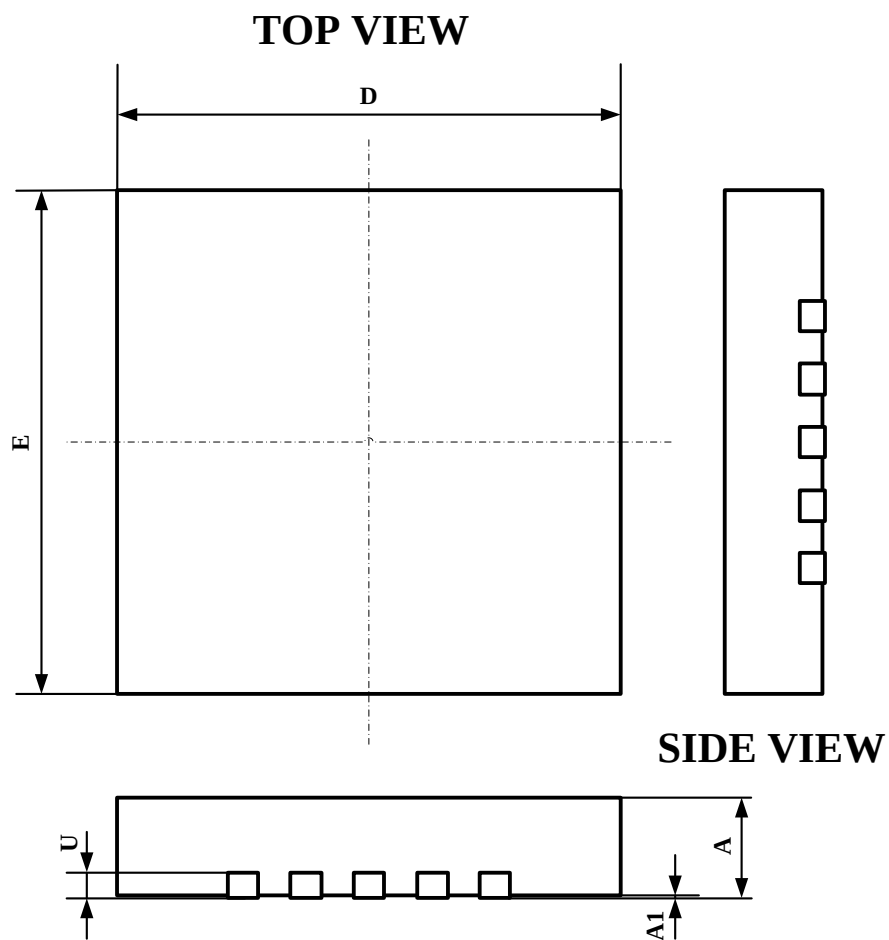


图 8-2 封装尺寸

| 器件名称 | 数值             | 形式   | 描述                    |
|------|----------------|------|-----------------------|
| C1   | 10nF (100uF) * | 0402 | X7R, +/- 10%          |
| C2   | 1nF            | 0402 | X7R, +/- 10%          |
| C3   | 33nF           | 0402 | X7R, +/- 10%          |
| C4   | 12~22pF        | 0402 | NPO, +/- 2%           |
| C5   | 12~22pF        | 0402 | NPO, +/- 2%           |
| C6   | 2.2nF          | 0402 | X7R, +/- 10%          |
| C7   | 4.7pF          | 0402 | NPO, +/- 0.25pF       |
| C8   | 1.5pF          | 0402 | NPO, +/- 0.1pF        |
| C9   | 1.0pF          | 0402 | NPO, +/- 0.1pF        |
| L1   | 6.8nH          | 0402 | chip inductor, +/- 5% |
| L2   | 3.9nH          | 0402 | chip inductor, +/- 5% |
| L3   | 10nH           | 0402 | chip inductor, +/- 5% |

|    |              |             |                   |
|----|--------------|-------------|-------------------|
| R1 | 22K $\Omega$ | 0402        | +/- 1%            |
| R2 | Not mouted   | 0402        |                   |
| Y1 | 16MHz        |             | +/-60ppm, CL=12pF |
| U1 |              | QFN20 04×04 |                   |

注：\*：当系统无法提供稳定电源电压时，例如采用纽扣电池供电，推荐系统采用 100uF 的电容，以稳定电源电压。同时需要注意电容不能有大的漏电流。

引脚 CE, CSN, SCK, MOSI, MISO, IRQ 为与 MCU 的接口，当 MCU 不操作 Si24R2 时，输出引脚 MISO 和 IRQ 悬空，输入引脚 CE, CSN, SCK, MOSI 必须通过 MCU 接口连接电源或地。

## 9.2 PCB 布线

下图所示 PCB 布线是上述电路典型原理图的 PCB 布线例子，这里的 PCB 板均为 FR-4 双面板，在顶层和底层各有一个敷铜面，顶层和底层的敷铜面通过大量过孔连接，而在天线的下面则没有铜面。芯片底部为地，为了保证更好的 RF 性能，推荐芯片底部 Die Exposed 与 PCB 大面积地相连。

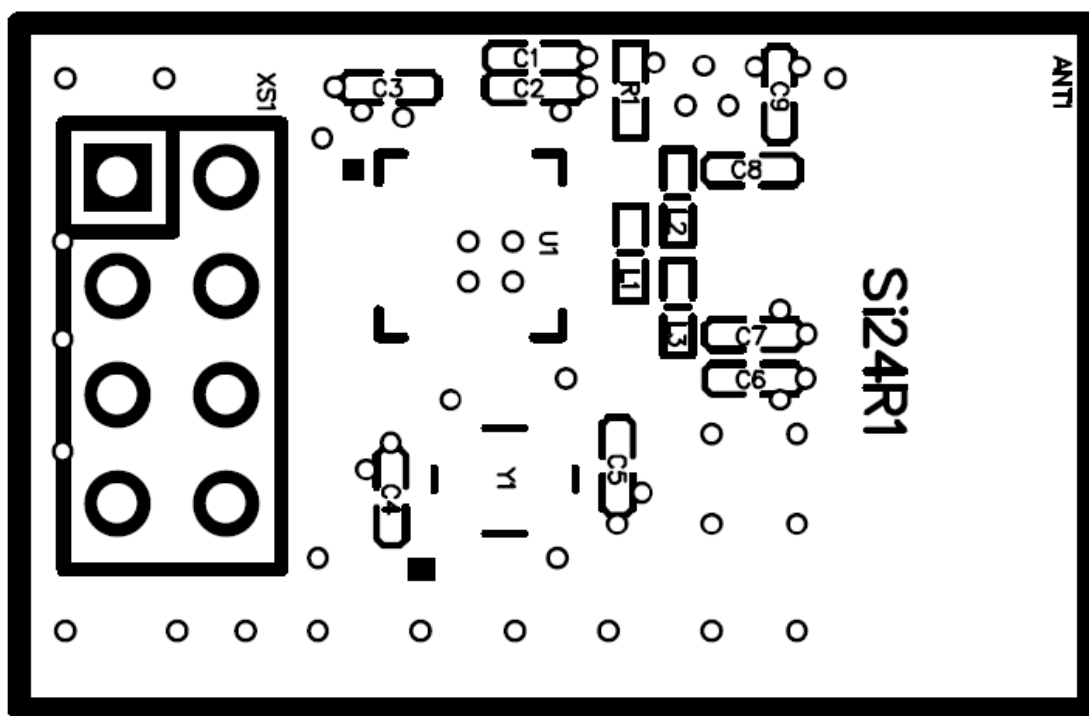


图 9-2 片上天线顶层丝印图（0402 元件）

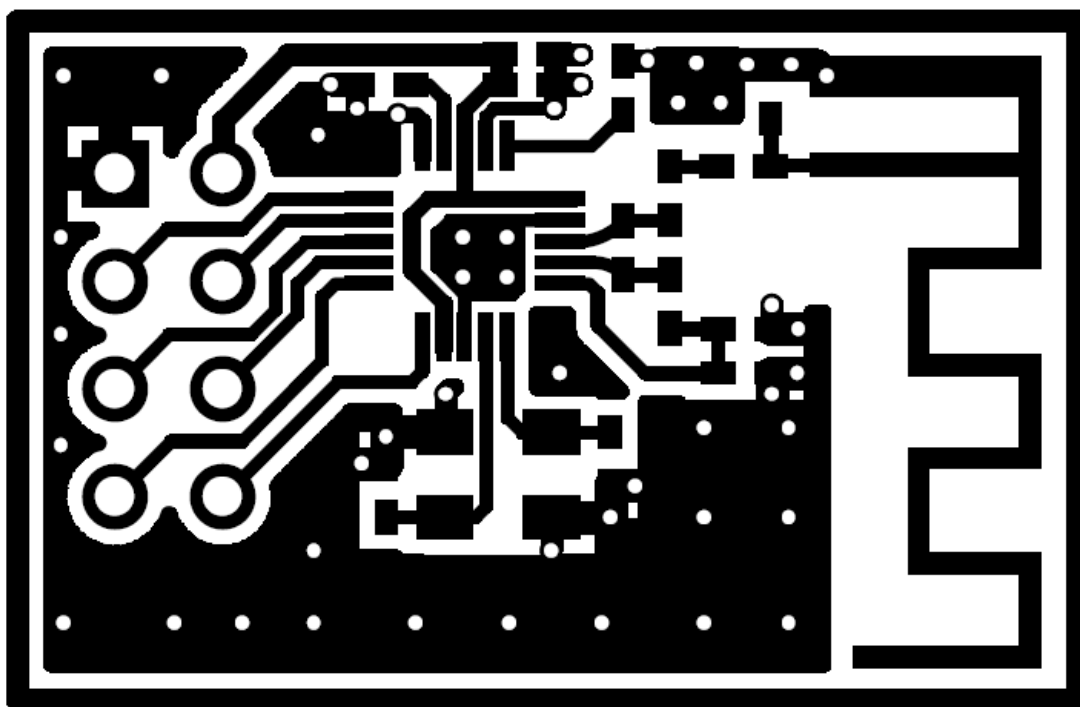


图 9-3 片上天线顶层布线图（0402 元件）

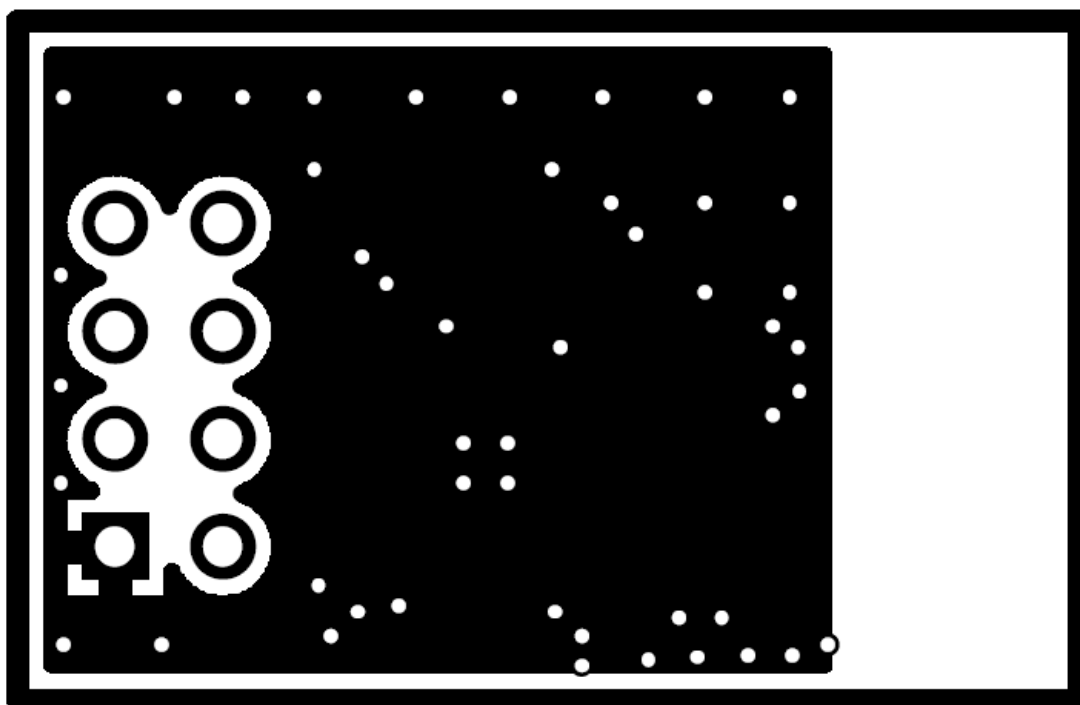


图 9-4 片上天线底层布线图

## 10 订单信息

封装标志

|                   |
|-------------------|
| Si24R2<br>XXXXXXX |
|-------------------|

Si24R2: 芯片代码

AA: 封装工厂代码, 为 HT、NJ 或 WA, 也简写为 H、N 或 W

BB: 封装日期代码

CCC: 生产批次代码

表 10-1 订单信息表

| 订单代码          | 封装               | 包装            | 最小单位 |
|---------------|------------------|---------------|------|
| SI24R2-Sample | 4×4mm 20-pin QFN | Box/Tube      | 5    |
| SI24R2-P      | 4×4mm 20-pin QFN | Tray          | 4K   |
| SI24R2-P      | 4×4mm 20-pin QFN | Tape and reel | 4K   |

## 11 技术支持与联系方式

### 无锡公司

无锡中科微电子工业技术研究院有限责任公司 技术支持中心

地址：无锡市新区菱湖大道 200 号传感网国际创新园 C 座

邮编：214135

电话：0510-85385945

传真：0510-85385947

邮箱：[sales@csmic.ac.cn](mailto:sales@csmic.ac.cn)

### 南京公司

南京中科微电子有限公司 技术支持中心

地址：南京市玄武区玄武大道 699-27 号徐庄软件园研发三区 B 幢 B201

邮编：210042

电话：025-68517778

传真：025-68517764

邮箱：[sales@csmic.ac.cn](mailto:sales@csmic.ac.cn)

## 附： 典型配置方案

发射方配置(Si24R2):

```
spi_write_buf( TX_ADDR, TX_ADDRESS, 5);      // 写入发送地址
spi_rw_reg( FEATURE, 0x01);    // 使能 W_TX_PAYLOAD_NOACK 命令
spi_write_buf(W_TX_PAYLOAD_NOACK, buf, TX_PLOAD_WIDTH);    // 写 FIFO
spi_rw_reg(SETUP_AW, 0x03);      // 5 byte Address width
spi_rw_reg( RF_CH, 0x40);        // 选择射频通道 0x40
spi_rw_reg(RF_SETUP, 0x08);      // 数据传输率 2Mbps
spi_rw_reg( CONFIG, 0x0e);      //配置为发射模式、CRC 为 2Bytes
CE = 1;
```

接收方配置 (Si24R1):

```
spi_write_buf( RX_ADDR_P0, TX_ADDRESS, 5); // 接收地址
spi_rw_reg( EN_RXADDR, 0x01);    // 使能接收通道 0
spi_rw_reg( RF_CH, 0x40);        // 选择射频信道
spi_rw_reg( RX_PW_P0, TX_PLOAD_WIDTH);    //设置接收通道 0 负载数据宽度
spi_rw_reg( RF_SETUP, 0x08);      // 数据传输率 2Mbps,-18dbm TX power
spi_rw_reg( CONFIG, 0x0f);      // 配置为接收方、CRC 为 2Bytes
CE = 1;
```