



**SMARTSENS**

SmartSens™

# SC2335 数据手册

---

**Preliminary V0.6**

**2020.4.21**

## 应用

- 安防监控摄像头
- 物联网摄像头
- 网络摄像机
- 行车记录仪
- 可移动设备相机
- 视频电话会议设备

## 特性

- 高光敏度
- 高信噪比
- 850nm/940nm 近红外增强
- 低功耗
- 16 x 模拟增益, 32 x 数字增益
- 高速 DPC
- 外部控制帧率及多 sensor 同步
- 水平/垂直窗口调整
- 水平/垂直窗口翻转
- 2 x 2 binning 模式
- I<sup>2</sup>C 接口寄存器编程

## 关键指标 (典型值)

- 分辨率: 200 万
- 像素阵列: 1928H x 1088V
- 像素尺寸: 2.9  $\mu\text{m}$  x 2.9  $\mu\text{m}$
- 镜头光学尺寸: 1/2.8"
- 最大图像传输速率:
  - 1920H x 1080V@30fps 10bit
- 输出接口:
  - 10/8-bit 1/2Lane MIPI
  - 10-bit DVP
- 输出格式: RAW RGB
- CRA: 15°
- 灵敏度: 4650 mV/lux · s
- 动态范围:
  - 线性模式: 74 dB
- 信噪比: 39 dB
- 工作温度范围: -30°C ~ +85°C
- 最佳工作温度范围: -20°C ~ +60°C
- 电源电压:
  - Analog = 2.8V  $\pm$  0.1V
  - Digital = 1.2V  $\pm$  0.1V
  - I/O = 1.8V  $\pm$  0.1V
- 封装: 41-pin CSP, 48-pin PLCC
- 封装尺寸:
  - CSP: 6.230 mm x 4.069 mm
  - PLCC: 10.16 mm x 10.16 mm
- ESD 等级:
  - HBM: Classification 3A
  - CDM: Classification C3

## 目录

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| 目录.....                   | 3         |
| 图片索引 .....                | 5         |
| 表格索引 .....                | 6         |
| <b>1. 系统描述 .....</b>      | <b>7</b>  |
| 1.1. 芯片概述 .....           | 7         |
| 1.2. 系统框架 .....           | 7         |
| 1.3. 引脚描述 .....           | 9         |
| 1.3.1. CSP .....          | 9         |
| 1.3.2. PLCC .....         | 11        |
| 1.4. 芯片初始化 .....          | 13        |
| 1.4.1. 上电时序.....          | 13        |
| 1.4.2. 睡眠模式.....          | 13        |
| 1.4.3. 复位模式.....          | 13        |
| 1.5. 配置接口 .....           | 14        |
| 1.6. Sensor ID .....      | 16        |
| 1.7. 数据接口 .....           | 16        |
| 1.7.1. DVP .....          | 16        |
| 1.7.2. MIPI .....         | 17        |
| 1.8. 锁相环 .....            | 20        |
| <b>2. 功能介绍 .....</b>      | <b>21</b> |
| 2.1. SLAVE MODE .....     | 21        |
| 2.2. AEC/AGC .....        | 23        |
| 2.2.1. AEC/AGC 的控制策略..... | 23        |
| 2.2.2. AEC 控制寄存器说明.....   | 23        |
| 2.2.3. AGC 控制寄存器说明 .....  | 24        |
| 2.3. GROUP HOLD .....     | 34        |
| 2.4. DPC .....            | 34        |
| 2.5. 视频输出模式 .....         | 35        |
| 2.5.1. 读取顺序.....          | 35        |
| 2.5.2. 输出窗口.....          | 36        |
| 2.6. 帧率计算 .....           | 37        |
| 2.7. 测试模式 .....           | 37        |
| <b>3. 电气特性 .....</b>      | <b>38</b> |
| <b>4. 光学特性 .....</b>      | <b>40</b> |
| 4.1. QE 曲线.....           | 40        |
| 4.2. 主光线入射角 (CRA) .....   | 40        |
| <b>5. 封装信息 .....</b>      | <b>41</b> |
| 5.1. CSP .....            | 41        |

|                 |    |
|-----------------|----|
| 5.2. PLCC ..... | 43 |
| 6. 订购信息 .....   | 44 |
| 7. 版本变更记录 ..... | 45 |

SmartSens Confidential - NDA only

## 图片索引

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 图 1-1 SC2335 结构图 .....               | 7  |
| 图 1-2 典型应用示意图 .....                  | 8  |
| 图 1-3 SC2335 封装引脚图(CSP) .....        | 10 |
| 图 1-4 SC2335 封装引脚图(PLCC) .....       | 12 |
| 图 1-5 上电时序图 .....                    | 13 |
| 图 1-6 I <sup>2</sup> C 接口时序 .....    | 15 |
| 图 1-7 DVP 时序 .....                   | 16 |
| 图 1-8 MIPI 接口示意图 .....               | 17 |
| 图 1-9 MIPI 底层数据包示意图 .....            | 18 |
| 图 1-10 MIPI 长/短数据包结构示意图 .....        | 18 |
| 图 1-11 MIPI 1/2lane 模式数据包传输示意图 ..... | 18 |
| 图 1-12 MIPI 数据包 DI 结构 .....          | 19 |
| 图 1-13 PLL 控制示意图 .....               | 20 |
| 图 2-1 Slave Mode 时序图 .....           | 21 |
| 图 2-2 Slave Mode 曝光实现图 .....         | 22 |
| 图 2-3 像素阵列图一 .....                   | 35 |
| 图 2-4 像素阵列图二 .....                   | 35 |
| 图 2-5 镜像和倒置实例 .....                  | 36 |
| 图 2-6 测试模式 .....                     | 37 |
| 图 3-1 外部时钟 (EXTCLK) 波形图 .....        | 39 |
| 图 4-1 QE Curve .....                 | 40 |
| 图 4-2 CRA Curve .....                | 40 |
| 图 5-1 SC2335 封装示意图(CSP) .....        | 41 |
| 图 5-2 SC2335 封装示意图(PLCC) .....       | 43 |

## 表格索引

|  |    |
|--|----|
| 表 1-1 SC2335 PIN 脚描述(CSP).....                 | 9  |
| 表 1-2 SC2335 PIN 脚描述(PLCC).....                | 11 |
| 表 1-3 睡眠模式控制寄存器 .....                          | 13 |
| 表 1-4 软复位控制寄存器 .....                           | 13 |
| 表 1-5 I <sup>2</sup> C 设备地址控制 .....            | 14 |
| 表 1-6 I <sup>2</sup> C 接口时序详细参数 .....          | 15 |
| 表 1-7 SENSOR ID 寄存器 .....                      | 16 |
| 表 1-8 DVP 同步调整寄存器 .....                        | 17 |
| 表 1-9 MIPI 数据类型 .....                          | 19 |
| 表 1-10 MIPI 调整寄存器 .....                        | 19 |
| 表 2-1 Slave mode 控制寄存器 .....                   | 22 |
| 表 2-2 曝光的手动控制寄存器.....                          | 23 |
| 表 2-3 增益寄存器控制 .....                            | 24 |
| 表 2-4 模拟 gain 值控制寄存器 .....                     | 25 |
| 表 2-5 数字 gain 值控制寄存器 .....                     | 29 |
| 表 2-6 Group hold 控制寄存器 .....                   | 34 |
| 表 2-7 DPC 控制寄存器 .....                          | 34 |
| 表 2-8 镜像和倒置模式控制寄存器.....                        | 36 |
| 表 2-9 输出窗口寄存器 .....                            | 36 |
| 表 2-10 帧率相关寄存器 .....                           | 37 |
| 表 2-11 测试模式控制寄存器 .....                         | 37 |
| 表 3-1 绝对最大额定值（以上所有电压都是 to pad 电压） .....        | 38 |
| 表 3-2 直流电气特性（以上所有电压都是 to pad 电压） .....         | 38 |
| 表 3-3 交流特性（TA=25°C，AVDD=2.8V，DOVDD=1.8V） ..... | 39 |
| 表 5-1 封装尺寸表 .....                              | 42 |
| 表 6-1 订购信息表 .....                              | 44 |

## 1. 系统描述

### 1.1. 芯片概述

SC2335 是监控相机领域先进的数字 CMOS 图像传感器，最高支持 1920H x 1080V @ 30fps 的传输速率。SC2335 输出 raw 格式图像，有效像素窗口为 1928H x 1088V，支持复杂的片上操作——例如窗口化、水平镜像、垂直倒置等。

SC2335 可以通过标准的 I<sup>2</sup>C 接口读写寄存器。

SC2335 可以通过 EFSYNC/FSYNC 引脚实现外部控制曝光。

### 1.2. 系统框架

图 1-1 展示了 SC2335 图像传感器的功能模块。图 1-2 展示了一个典型的应用示例。

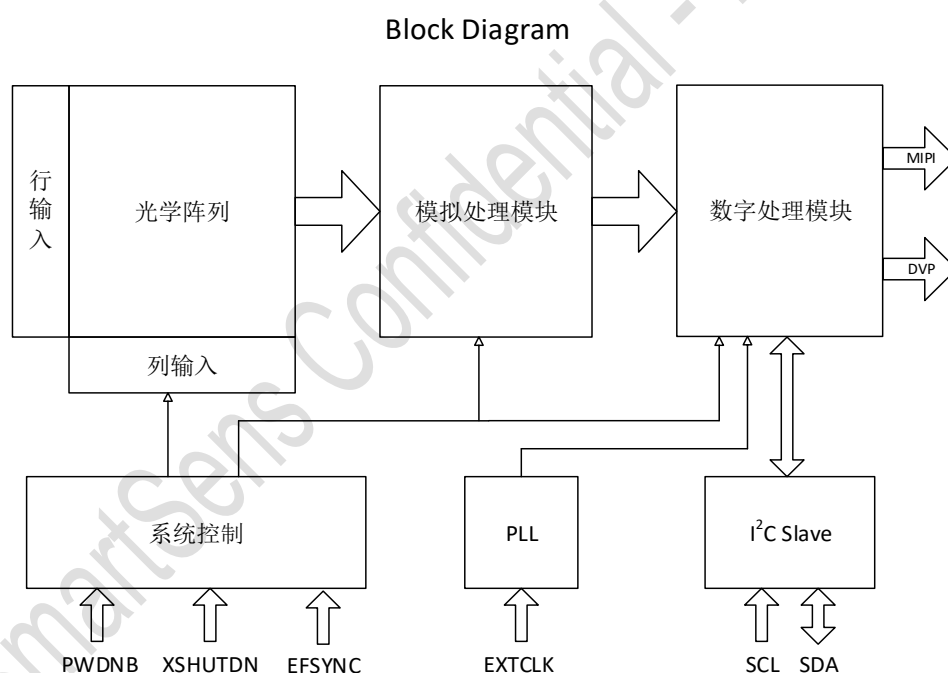


图 1-1 SC2335 结构图

SC2335 支持 DVP、MIPI 接口，以 MIPI 接口为例：

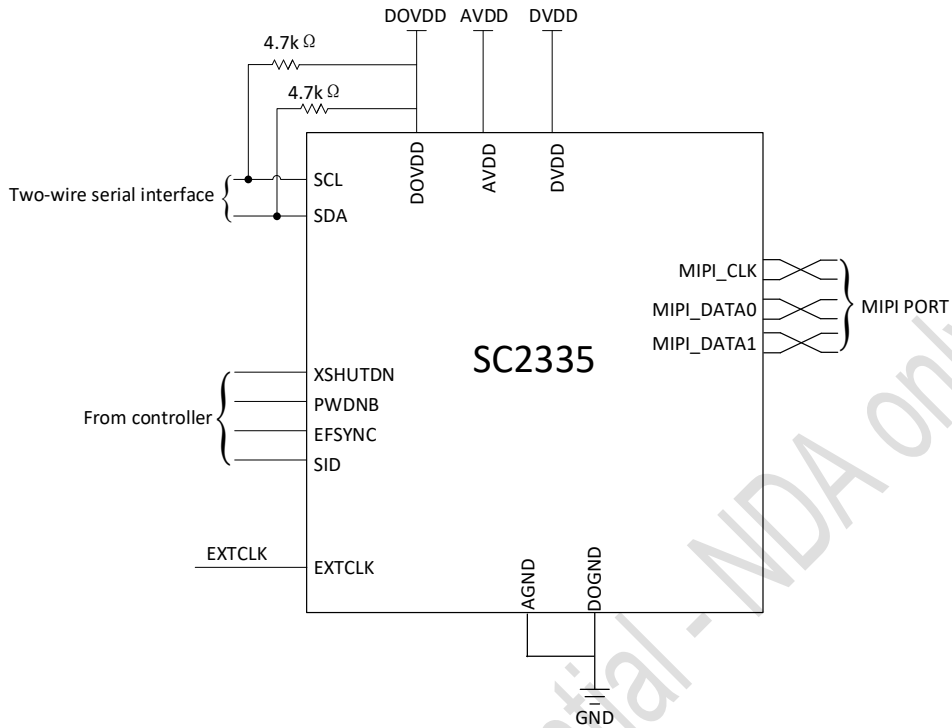


图 1-2 典型应用示意图



## 1.3. 引脚描述

### 1.3.1. CSP

下表列出了 SC2335 图像传感器的引脚信息(CSP)及相关描述。

表 1-1 SC2335 PIN 脚描述(CSP)

| 序号 | 编号 | 信号名       | 引脚类型  | 描述   |
|----|----|-----------|-------|--|
| 1  | A1 | AVDD      | 电源    | 2.8V 模拟电源  |
| 2  | A2 | LREF      | 输出    | DVP 行同步  |
| 3  | A3 | SCL       | 输入    | I <sup>2</sup> C 时钟线   |
| 4  | A4 | PWDNB     | 输入    | Power Down 信号输入（内置上拉电阻，低电位有效）                                  |
| 5  | A5 | SID       | 输入    | I <sup>2</sup> C Device ID（内置下拉电阻，默认为低电平，对应 Device ID 是 7'h30） |
| 6  | A6 | NC        | -     | -  |
| 7  | A7 | AVDD      | 电源    | 2.8V 模拟电源  |
| 8  | B1 | AGND      | 地线    | 模拟地  |
| 9  | B2 | FSYNC     | 输入/输出 | 输入时作为外部帧同步信号<br>输出时作为 DVP 帧同步信号                                |
| 10 | B3 | SDA       | 输入/输出 | I <sup>2</sup> C 数据线(open drain)                               |
| 11 | B5 | DVDD      | 电源    | 1.2V 数字电源  |
| 12 | B6 | EFSYNC    | 输入    | 外部帧同步信号  |
| 13 | B7 | AGND      | 地线    | 模拟地  |
| 14 | C1 | DVDD      | 电源    | 1.2V 数字电源  |
| 15 | C2 | EXTCLK    | 输入    | 时钟输入   |
| 16 | C3 | DOGND     | 地线    | I/O 地  |
| 17 | C4 | XSHUTDOWN | 输入    | 复位信号输入（内置上拉电阻，低电位有效）   |
| 18 | C5 | D<11>     | 输出    | DVP 输出 bit[11]   |
| 19 | C6 | NC        | -     | -  |
| 20 | C7 | AVDD      | 电源    | 2.8V 模拟电源  |
| 21 | D1 | D<0>      | 输出    | DVP 输出 bit[0]  |
| 22 | D2 | DOGND     | 地线    | I/O 地  |
| 23 | D3 | D<4>      | 输出    | DVP 输出 bit[4]  |
| 24 | D4 | DOVDD     | 电源    | 1.8V I/O 电源  |
| 25 | D5 | D<10>     | 输出    | DVP 输出 bit[10]   |
| 26 | D6 | DVDD      | 电源    | 1.2V 数字电源  |
| 27 | D7 | NC        | -     | -  |
| 28 | E1 | D<1>      | 输出    | DVP 输出 bit[1]  |
| 29 | E2 | DOVDD     | 电源    | 1.8V I/O 电源  |
| 30 | E3 | D<5>/MD1N | 输出    | DVP 输出 bit[5]/MIPI 数据 1 负极信号                                   |

| 序号 | 编号 | 信号名       | 引脚类型 | 描述                           |
|----|----|-----------|------|------------------------------|
| 31 | E4 | D<7>/MCN  | 输出   | DVP 输出 bit[7]/MIPI 时钟负极信号    |
| 32 | E5 | D<9>/MD0P | 输出   | DVP 输出 bit[9]/MIPI 数据 0 正极信号 |
| 33 | E6 | DOGND     | 地线   | I/O 地                        |
| 34 | E7 | VREFN     | 输出   | 内部参考电压（外接电容至 AGND）           |
| 35 | F1 | D<2>      | 输出   | DVP 输出 bit[2]                |
| 36 | F2 | D<3>      | 输出   | DVP 输出 bit[3]                |
| 37 | F3 | D<6>/MD1P | 输出   | DVP 输出 bit[6]/MIPI 数据 1 正极信号 |
| 38 | F4 | PCLK/MCP  | 输出   | DVP 时钟/MIPI 时钟正极信号           |
| 39 | F5 | D<8>/MD0N | 输出   | DVP 输出 bit[8]/MIPI 数据 0 负极信号 |
| 40 | F6 | DOGND     | 地线   | I/O 地                        |
| 41 | F7 | NC        | -    | -                            |

Top View

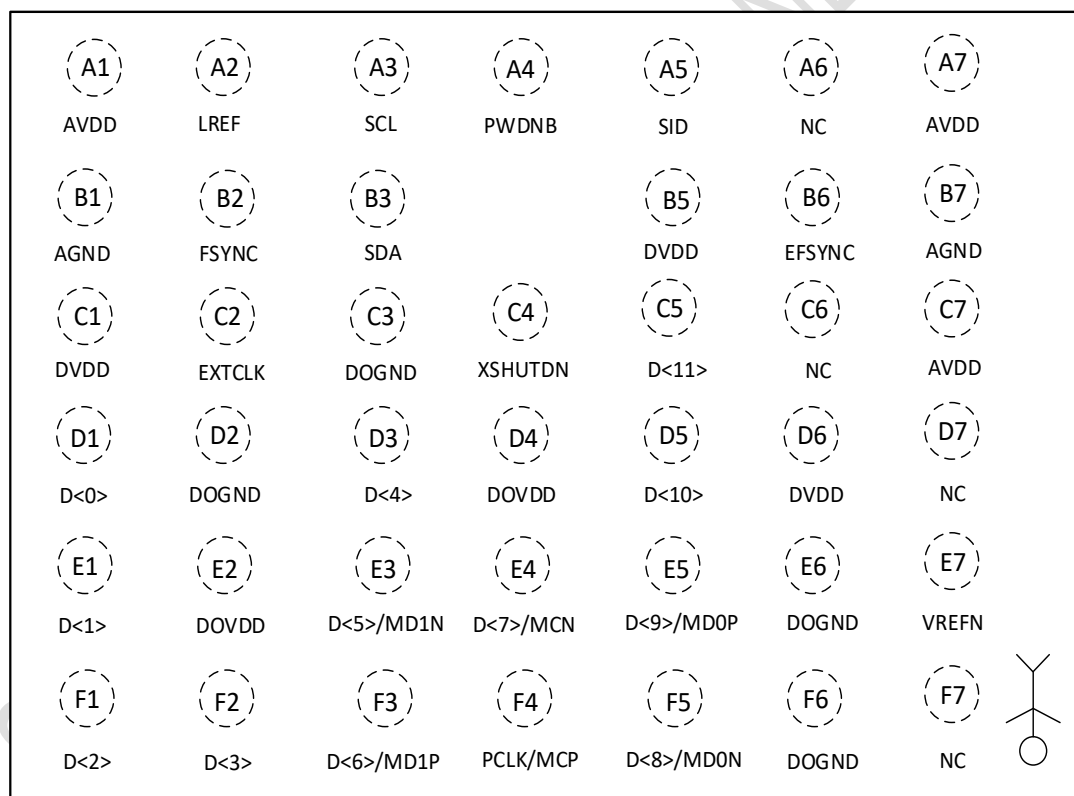


图 1-3 SC2335 封装引脚图(CSP)

### 1.3.2. PLCC

下表列出了 SC2335 图像传感器的引脚信息(PLCC)及相关描述。

表 1-2 SC2335 PIN 脚描述(PLCC)

| 序号 | 信号名    | 引脚类型  | 描述                               |
|----|--------|-------|----------------------------------|
| 1  | SDA    | 输入/输出 | I <sup>2</sup> C 数据线(open drain) |
| 2  | SCL    | 输入    | I <sup>2</sup> C 时钟线             |
| 3  | DOVDD  | 电源    | 1.8V I/O 电源                      |
| 4  | DVDD   | 电源    | 1.2V 数字电源                        |
| 5  | GND    | 地线    | I/O 地/模拟地                        |
| 6  | EXTCLK | 输入    | 时钟输入                             |
| 7  | FSYNC  | 输入/输出 | 输入时作为外部帧同步信号<br>输出时作为帧同步输出信号     |
| 8  | NC     | -     | -                                |
| 9  | GND    | 地线    | I/O 地/模拟地                        |
| 10 | AVDD   | 电源    | 2.8V 模拟电源                        |
| 11 | GND    | 地线    | I/O 地/模拟地                        |
| 12 | DVDD   | 电源    | 1.2V 数字电源                        |
| 13 | GND    | 地线    | I/O 地/模拟地                        |
| 14 | GND    | 地线    | I/O 地/模拟地                        |
| 15 | NC     | -     | -                                |
| 16 | NC     | -     | -                                |
| 17 | NC     | -     | -                                |
| 18 | NC     | -     | -                                |
| 19 | MD1N   | 输出    | MIPI 数据 1 负极信号                   |
| 20 | MD1P   | 输出    | MIPI 数据 1 正极信号                   |
| 21 | GND    | 地线    | I/O 地/模拟地                        |
| 22 | MCP    | 输出    | MIPI 时钟正极信号                      |
| 23 | MCN    | 输出    | MIPI 时钟负极信号                      |
| 24 | DOVDD  | 电源    | 1.8V I/O 电源                      |
| 25 | GND    | 地线    | I/O 地/模拟地                        |
| 26 | MD0N   | 输出    | MIPI 数据 0 负极信号                   |
| 27 | MD0P   | 输出    | MIPI 数据 0 正极信号                   |
| 28 | NC     | -     | -                                |
| 29 | NC     | -     | -                                |
| 30 | GND    | 地线    | I/O 地/模拟地                        |
| 31 | DVDD   | 电源    | 1.2V 数字电源                        |
| 32 | GND    | 地线    | I/O 地/模拟地                        |
| 33 | AVDD   | 电源    | 2.8V 模拟电源                        |
| 34 | GND    | 地线    | I/O 地/模拟地                        |
| 35 | VREFN  | 输出    | 内部参考电压 (外接电容至 GND)               |

| 序号 | 信号名     | 引脚类型 | 描述  |
|----|---------|------|---|
| 36 | NC      | -    | -   |
| 37 | NC      | -    | -   |
| 38 | NC      | -    | -   |
| 39 | EFSYNC  | 输入   | 外部帧同步信号   |
| 40 | GND     | 地线   | I/O 地/模拟地   |
| 41 | AVDD    | 电源   | 2.8V 模拟电源   |
| 42 | NC      | -    | -   |
| 43 | DVDD    | 电源   | 1.2V 数字电源   |
| 44 | GND     | 地线   | I/O 地/模拟地   |
| 45 | SID     | 输入   | I <sup>2</sup> C Device ID (内置下拉电阻, 默认为低电平, 对应 Device ID 是 7'h30) |
| 46 | NC      | -    | -   |
| 47 | XSHUTDN | 输入   | 复位信号输入 (内置上拉电阻, 低电位有效)  |
| 48 | PWDNB   | 输入   | Power Down 信号输入 (内置上拉电阻, 低电位有效)                                   |

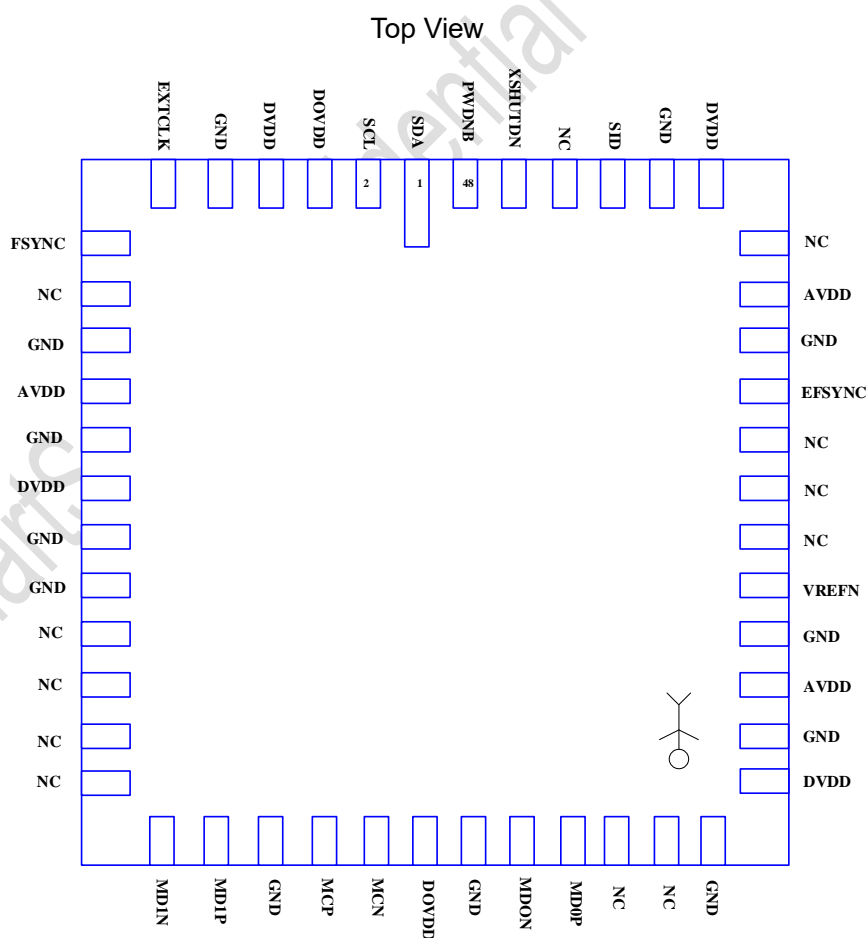


图 1-4 SC2335 封装引脚图(PLCC)

## 1.4. 芯片初始化

### 1.4.1. 上电时序

在上电过程中，具体上电时序要求如下图所示。

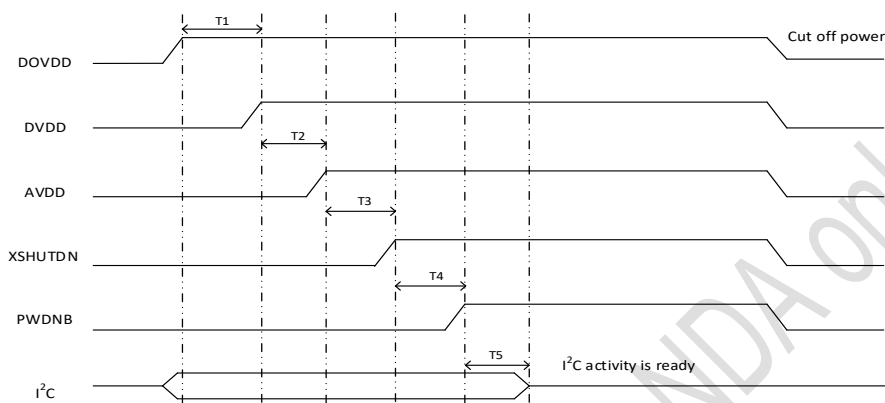


图 1-5 上电时序图

注：T1≥0ms，T2≥0ms，T3≥0ms，T4≥0ms，T5≥4ms。

### 1.4.2. 睡眠模式

睡眠模式下，SC2335 停止输出图像数据流，工作在低功耗状态，保持当前寄存器值。SC2335 提供两种方式进入睡眠模式：

- 1) 将 PWDNB 拉低，此时不支持 I²C 读写；
- 2) 将寄存器 16'h0100[0]写入 0，此时支持 I²C 读写。

表 1-3 睡眠模式控制寄存器

| 功能      | 寄存器地址    | 默认值  | 描述   |
|---------|----------|------|--|
| 软睡眠模式使能 | 16'h0100 | 8'h0 | Bit[0]: manual sleep mode ctrl<br>1~sleep mode disable<br>0~ sleep mode enable |

### 1.4.3. 复位模式

复位模式下，SC2335 停止输出图像数据流，工作在低功耗状态，重置所有寄存器，SC2335 提供两种方式进入复位模式：

- 1) 将 XSHUTDN 拉低，此时不支持 I²C 读写；
- 2) 将寄存器 16'h0103[0]写入 1，此复位模式持续 150ns。

表 1-4 软复位控制寄存器

| 功能    | 寄存器地址    | 默认值  | 描述                 |
|-------|----------|------|--------------------|
| 软复位使能 | 16'h0103 | 8'h0 | Bit[0]: soft reset |

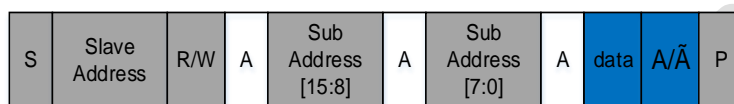
## 1.5. 配置接口

SC2335 提供标准的 I<sup>2</sup>C 总线配置接口对寄存器进行读写，I<sup>2</sup>C 设备地址由 PAD SID 的电平值决定，如下表所示。PAD SID 内部有下拉电阻。Slave Address 即设备地址（从机地址），Sub Address 与寄存器相关。

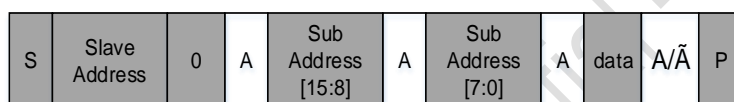
表 1-5 I<sup>2</sup>C 设备地址控制

| 7-bit I <sup>2</sup> C 设备地址 | SID |
|-----------------------------|-----|
| 7'h30                       | 低电平 |
| 7'h32                       | 高电平 |

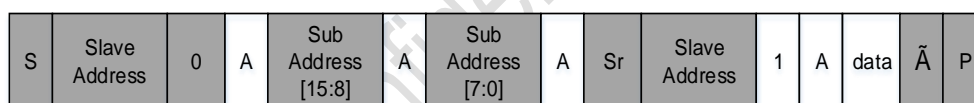
消息类型：16-bit 地址、8-bit 数据和 7-bit 设备地址



I<sup>2</sup>C Write



I<sup>2</sup>C Read



Slave to Master S: Start Condition A: Acknowledge



Master to Slave P: Stop Condition  $\bar{A}$ : No-Acknowledge



Direction depends on the operation Sr: Restart Condition

## I<sup>2</sup>C 时序

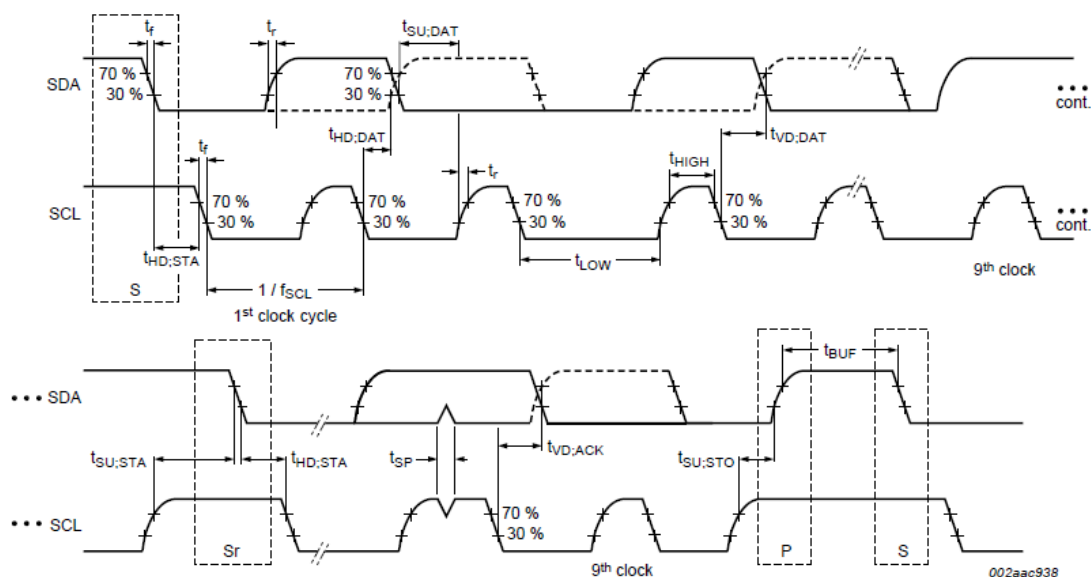


图 1-6 I<sup>2</sup>C 接口时序

表 1-6 I<sup>2</sup>C 接口时序详细参数

| Symbol       | Parameter   | Standard-mode |      | Fast-mode |     | Unit    |
|--------------|---|---------------|------|-----------|-----|---------|
|              |   | Min           | Max  | Min       | Max |         |
| $f_{SCL}$    | SCL clock frequency   | 0             | 100  | 0         | 400 | kHz     |
| $t_{HD,STA}$ | hold time (repeated) START condition                              | 4.0           | -    | 0.6       | -   | $\mu s$ |
| $t_{LOW}$    | LOW period of the SCL clock                                       | 4.7           | -    | 1.3       | -   | $\mu s$ |
| $t_{HIGH}$   | HIGH period of the SCL clock                                      | 4.0           | -    | 0.6       | -   | $\mu s$ |
| $t_{SU,STA}$ | set-up time for a repeated START condition                        | 4.7           | -    | 0.6       | -   | $\mu s$ |
| $t_{HD,DAT}$ | data hold time  | 0             | -    | 0         | -   | $\mu s$ |
| $t_{SU,DAT}$ | data set-up time  | 250           | -    | 100       | -   | ns      |
| $t_r$        | rise time of both SDA and SCL signals                             | -             | 1000 | 20        | 300 | ns      |
| $t_f$        | fall time of both SDA and SCL signals                             | -             | 300  | 20        | 300 | ns      |
| $t_{SU,STO}$ | set-up time for STOP condition                                    | 4.0           | -    | 0.6       | -   | $\mu s$ |
| $t_{BUF}$    | bus free time between a STOP and START condition                  | 4.7           | -    | 1.3       | -   | $\mu s$ |
| $t_{VD,DAT}$ | data valid time   | -             | 3.45 | -         | 0.9 | $\mu s$ |
| $t_{VD,ACK}$ | data valid acknowledge time                                       | -             | 3.45 | -         | 0.9 | $\mu s$ |
| $t_{SP}$     | pulse width of spikes that must be suppressed by the input filter | -             | -    | 0         | 50  | -       |

注：判断上升沿起始或下降沿终止的电平阈值为 30%；判断上升沿终止或下降沿起始的阈值为 70%。

## 1.6. Sensor ID

表 1-7 SENSOR ID 寄存器

| 功能           | 寄存器地址    | 默认值   | 描述              |
|--------------|----------|-------|-----------------|
| SENSOR ID 高位 | 16'h3107 | 8'hcb | SENSOR ID[15:8] |
| SENSOR ID 低位 | 16'h3108 | 8'h14 | SENSOR ID[7:0]  |

## 1.7. 数据接口

SC2335 提供两种数据接口：DVP、MIPI。

### 1.7.1. DVP

SC2335 支持并行视频端口（DVP），输出 10-bit 并行数据。做输出时的 FSYNC 脉冲信号表示新一帧数据的开始，LREF 表示数据行同步信号，PCLK 表示输出数据时钟。下图是 DVP 时序示意图。

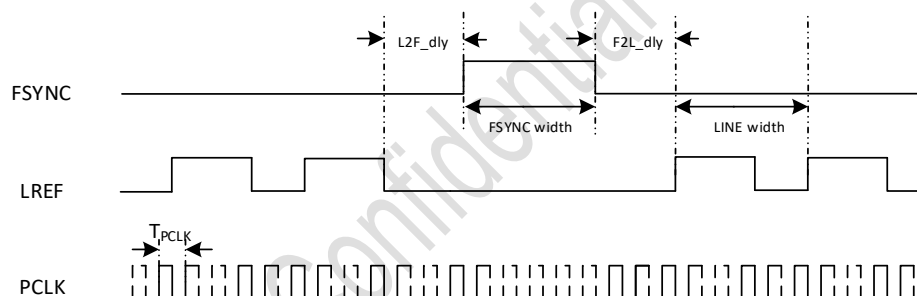


图 1-7 DVP 时序

注：

- 1)  $T_{PCLK}$  表示 PCLK 的周期；
- 2)  $L2F\_dly$  表示最后的 LREF 下降沿至 FSYNC 上升沿间时延；
- 3)  $F2L\_dly$  表示 FSYNC 下降沿至第一条 LREF 上升沿间时延；
- 4)  $LINE\ width$  表示一行宽度，由寄存器{16'h'320c,16'h'320d}控制；
- 5)  $FSYNC\ width$  默认值为一行宽度，以 1 行为单位，由寄存器 16'h'3d01 调节。



表 1-8 DVP 同步调整寄存器

| 功能         | 寄存器地址    | 默认值   | 描述   |
|------------|----------|-------|--|
| FSYNC 输出使能 | 16'h300a | 8'h20 | Bit[2]:FSYNC output en<br>1~FSYNC as output PAD<br>0~FSYNC as input PAD  |
| FSYNC 信号宽度 | 16'h3d01 | 8'h01 | FSYNC length   |
| DVP 信号极性   | 16'h3d08 | 8'h01 | Bit[2]: LREF polarity<br>Bit[1]: FSYNC polarity<br>Bit[0]: PCLK polarity |
| PAD 驱动能力   | 16'h3641 | 8'h00 | Bit[1:0]:adjust PAD driver capability                                    |
| PCLK 延迟    | 16'h3640 | 8'h00 | Bit[1:0]: PCLK DLY 2ns/step  |

### 1.7.2. MIPI

SC2335 提供串行视频端口（MIPI）。SC2335 MIPI 接口支持 8/10bit, 1/2lane 串行输出，传输速率推荐不大于 1.0Gbps。下图 MIPI 数据接口示意图。

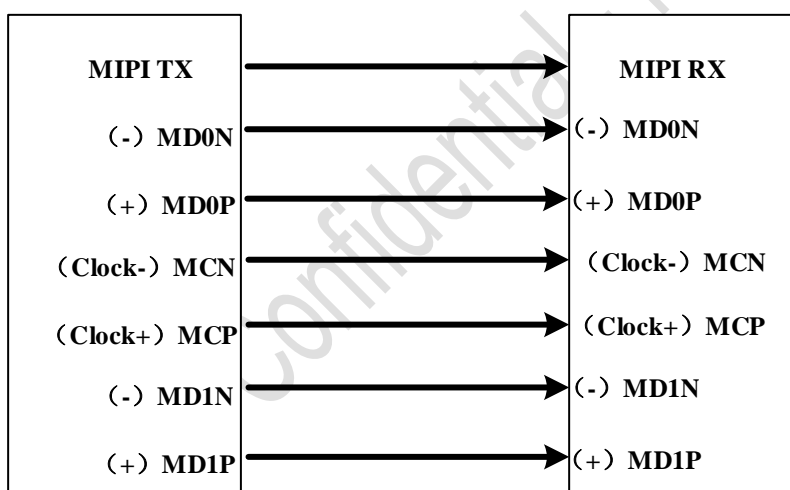


图 1-8 MIPI 接口示意图

下图是 MIPI 底层数据包的简略示意图，其中分别展示了一个短数据包和长数据包的传输过程。

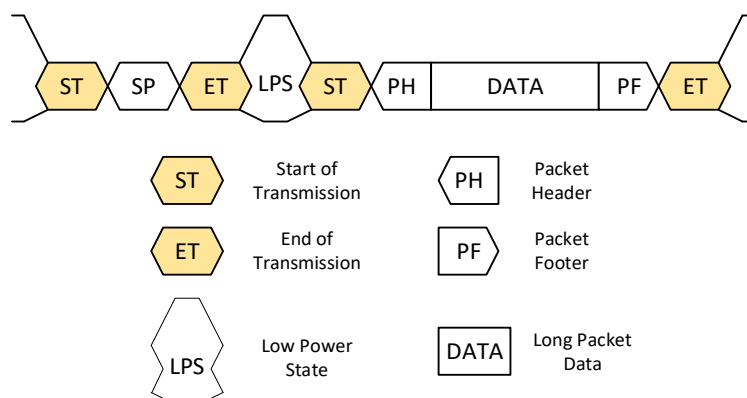


图 1-9 MIPI 底层数据包示意图

图 1-10 展示了 MIPI 长、短数据包结构示意图。其中数据标识 DI(Data Identifier)用来区分不同的数据包类型。图 1-11 展示了 MIPI 工作在 1lane 和 2lane 模式下的数据包传输示意图。图 1-12 中，DI 包括两部分，分别是虚拟通道 (VC) 和数据类型 (DT)。默认情况下，Sensor 给出的 MIPI 数据 VC 值都是 0，而 DT 值如图 1-12 所示。

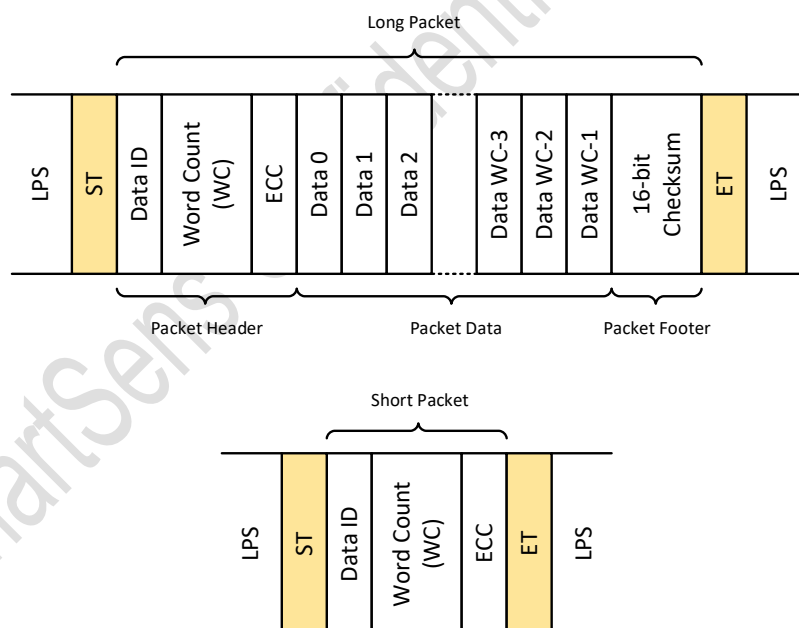


图 1-10 MIPI 长/短数据包结构示意图

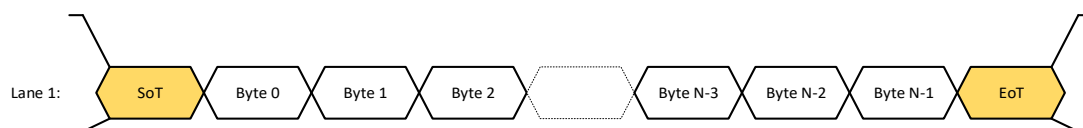


图 1-11 MIPI 1/2lane 模式数据包传输示意图

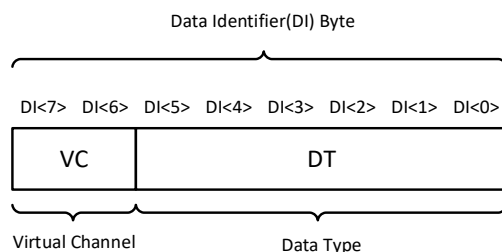


图 1-12 MIPI 数据包 DI 结构

表 1-9 MIPI 数据类型

| DT    | 描述             |
|-------|----------------|
| 6'h00 | 帧起始短包          |
| 6'h01 | 帧结束短包          |
| 6'h02 | 行起始短包          |
| 6'h03 | 行结束短包          |
| 6'h2a | 8-bit 模式下数据长包  |
| 6'h2b | 10-bit 模式下数据长包 |

表 1-10 MIPI 调整寄存器

| 功能             | 寄存器地址    | 默认值   | 描述  |
|----------------|----------|-------|---|
| MIPI lane 数量   | 16'h3018 | 8'h32 | Bit[7:5]: MIPI lane num-1<br>3'h0~ 1 lane mode<br>3'h1~ 2 lane mode   |
| MIPI 输出数据模式    | 16'h3031 | 8'h0a | Bit[3:0]: MIPI bit mode<br>4'h8~ raw8 mode<br>4'ha~ raw10 mode        |
| PHY 数据模式       | 16'h3037 | 8'h20 | Bit[6:5]: phy bit mode<br>2'h0~ 8bit mode<br>2'h1~ 10bit mode         |
| MIPI clock 设置  | 16'h303f | 8'h01 | Bit[7]: pclk sel<br>1'h0~ sel MIPI_pclk<br>1'b1~ sel DVP_pclk         |
| MIPI 数据使能      | 16'h4603 | 8'h00 | Bit[0]: MIPI read<br>1'h1~ disable<br>1'h0~ enable                    |
| MIPI LP 驱动     | 16'h3651 | 8'h7d | Bit[2:1]:MIPI LP 驱动能力调整, 默认 3'h1                                      |
| MIPI Lane 0 延时 | 16'h3652 | 8'h00 | Bit[3]: lane1 相位反向, 默认 1'h0<br>Bit[2:0]: lane1 延时, 40ps/step, 默认 3'h0 |
| MIPI Lane 1 延时 | 16'h3652 | 8'h00 | Bit[7]: lane0 相位反向, 默认 1'h0<br>Bit[6:4]: lane0 延时, 40ps/step, 默认 3'h0 |
| MIPI Clock 延时  | 16'h3654 | 8'h00 | Bit[3]: 时钟反向, 默认 1'h0<br>Bit[2:0]: 时钟延时, 40ps/step, 默认 3'h0           |

## 1.8. 锁相环

SC2335 的 PLL 模块允许的输入时钟频率范围为 6~40MHz, 其中 VCO 输出频率( $F_{VCO}$ ) 的范围为 400MHz-1200MHz。PLL 结构示意图如下图所示。

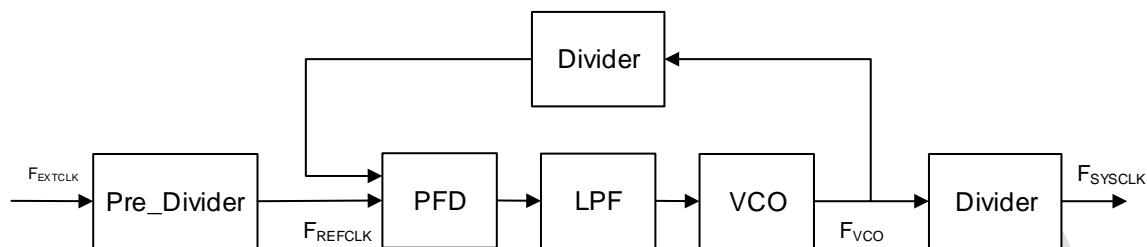


图 1-13 PLL 控制示意图

## 2. 功能介绍

### 2.1. SLAVE MODE

Slave Mode 是主控芯片通过 EFSYNC 或者做输入时的 FSYNC 信号触发帧读出，以达到多个 sensor 同步成像的工作模式。

当 SC2335 工作在 Slave Mode 时，主控芯片通过 EFSYNC/FSYNC 引脚控制图像数据输出，并以此决定图像帧率，具体时序如下图：

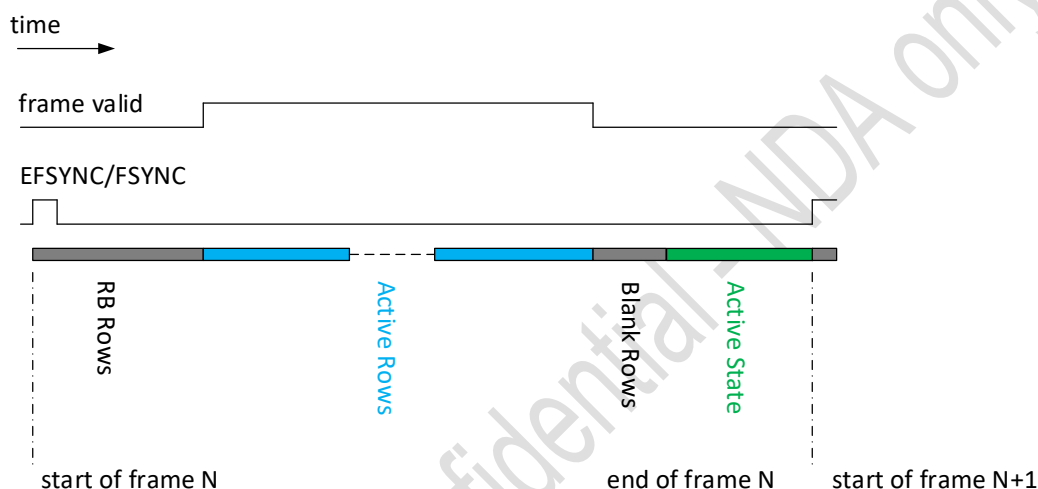


图 2-1 Slave Mode 时序图

#### Slave Mode 工作流程

- 1) 当 SC2335 工作在 Slave Mode 时，芯片自动进入 Active State 状态，等待 EFSYNC/FSYNC 触发；
- 2) EFSYNC/FSYNC 触发上升沿有效，EFSYNC 高电平持续时间不小于 4 个 EXTCLK 周期；
- 3) 当 EFSYNC/FSYNC 触发后，芯片进入 RB Rows，RB Rows 是有效数据读出之前的等待时间，由寄存器控制，以行为单位；
- 4) Active Rows 时读出芯片图像数据，由寄存器控制，以行为单位；
- 5) Blank Rows 时读出芯片图像数据之后的消隐时间，由寄存器控制，以行为单位；
- 6) Active State 时芯片等待下一次 EFSYNC/FSYNC 触发，Active State 应尽量小，建议为 0；
- 7) EFSYNC/FSYNC 上升沿间隔为一帧时间，EFSYNC/FSYNC 上升沿间隔允许有 40ns 偏差。

注：

- 1) 只有当 SC2335 处于 Active State 时，EFSYNC/FSYNC 触发才有效；
- 2) Sensor 会提前 40ns 退出 Blank Rows 进入 Active State。

SC2335 Slave mode 下的曝光实现如下图:

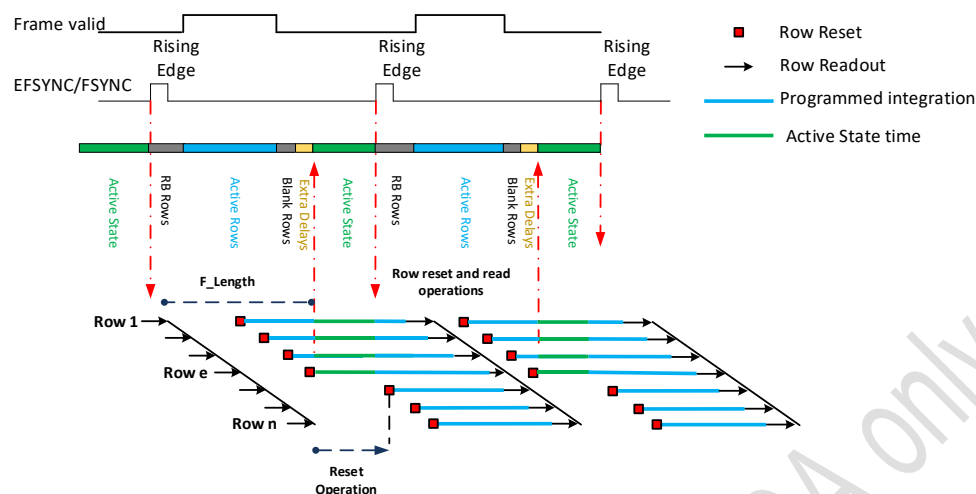


图 2-2 Slave Mode 曝光实现图

注:

- 1) Row Reset 开始曝光操作, Row Readout 开始前结束曝光操作, 曝光包括 Active State 时间;
- 2) VTS 表示帧长,  $VTS = RB\ Rows + Active\ Rows + Blank\ Rows$ ;
- 3) Active State 时, 芯片停止输出及停止 Row reset 操作, 如图 2-2 所示, 会导致一帧图像 Row 1~Row e 行与 Row (e+1)~Row n 行的曝光时间不同, Row 1~Row e 行的曝光时间比 Row (e+1)~Row n 行的曝光时间大, 多出的时间为 Active State time, 为避免这种曝光差异, 要求外部精确控制 EFSYNC/FSYNC, 使 Active State 控制在 40ns 以内, 保证一帧内的每行曝光时间基本一致;
- 4) 当 RB Rows 大于曝光时间时, 注释 3) 中帧内曝光时间不一致的情况便不会出现, 一帧内的每行曝光时间一致, 此时 EFSYNC/FSYNC 引脚可实现同步曝光。

表 2-1 Slave mode 控制寄存器

| 功能                      | 寄存器地址                                      | 默认值      | 描述   |
|-------------------------|--|----------|--|
| Slave mode enable       | 16'h3222                                   | 8'h00    | Bit[1]:Slave mode 使能控制<br>1~slave mode<br>0~master mode                  |
| Merge enable            | 16'h3225                                   | 8'h10    | Bit[4]:Active Rows Blank Rows merge enable                               |
| Trigger Pad sel         | 16'h3224                                   | 8'h82    | Bit[4]:trigger pad sel<br>1~sel FSYNC<br>0~sel EFSYNC                    |
| FSYNC OEN               | 16'h300a                                   | 8'h20    | Bit[2]:FSYNC output en<br>1~ FSYNC as output PAD<br>0~FSYNC as input PAD |
| RB rows                 | {16'h3230,16'h3231}                        | 16'h0004 | Rows Before Read 控制寄存器   |
| Active Rows, Blank Rows | {16'h320e,16'h320f}<br>{16'h3230,16'h3231} | 16'h0002 | Active Rows + Blank Rows, = VTS - RB Rows                                |
| VTS                     | {16'h320e,16'h320f}                        | 16'h0465 | 帧长   |

## 2.2. AEC/AGC

AEC/AGC 都是基于亮度进行调节的，AEC 调节曝光时间，AGC 调节增益值，最终使图像亮度落在设定亮度阈值范围内。

### 2.2.1. AEC/AGC 的控制策略

SC2335 本身没有 AEC 功能，需要通过后端平台实现 AEC/AGC。在整个 AEC/AGC 过程中，不是独立的调整 sensor 的曝光时间或者增益，调整策略为：曝光时间优先，曝光时间已经最长无法继续调整时，调整增益。

以图像过暗的情况为例，调控的先后顺序为：①不开启任何增益，直到曝光时间达到上限；②曝光时间达到上限后，再开始调用自动增益控制。需要明确指出的是，增益开启，将直接导致平均噪声呈倍数放大；而曝光时间加大，则有助于提升信噪比。

反之，当图像过亮时，则优先关闭增益，当所有增益关闭，图像仍旧过亮，则降低曝光时间。

曝光时间与增益是一个交互的调节体系，在调试的时候，应该综合考虑。

### 2.2.2. AEC 控制寄存器说明

AEC 的控制寄存器如下表所示。

表 2-2 曝光的手动控制寄存器

| 功能   | 寄存器地址  | 说明                        | 调节步长 | 最小值 | 最大值                                 |
|------|--|---------------------------|------|-----|-------------------------------------|
| 曝光时间 | {16'h3e00[3:0]<br>16'h3e01[7:0],<br>16'h3e02[7:4]} | 手动曝光时间，<br>寄存器值以半行<br>为单位 | 1    | 3   | $2 * \{16'h320e, 16'h320f\} - 'd10$ |

AEC 控制说明如下：

- 1) AEC 的调节步长为半行时间，半行时间为一行时间除以 2，一行时间计算方法参考 2.6 章节；
- 2) 曝光时间及增益若在第 N 帧写入，第 N+2 帧生效；
- 3) 曝光时间及增益的写入点：线性模式下建议在帧开始之后写入。

### 2.2.3. AGC 控制寄存器说明

AGC 的控制寄存器如下表所示。

表 2-3 增益寄存器控制

| ANA GAIN register | ANA FINE GAIN register | DIG GAIN register | DIG FINE GAIN register |
|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|
| 16'h3e08          | 16'h3e09               | 16'h3e06          | 16'h3e07               |

SC2335 AGC 控制方法：将寄存器 16'h3e03 的 Bit[3:0] 设置为 4'hb:

模拟 gain 值如表 2-4 所示，数字 gain 值如表 2-5 所示。一般情况下，优先调节模拟 gain 值，模拟 gain 调节到上限时，如果要继续增大图像亮度，可以调节数字 gain 值。SC2335 的 DIG FINE GAIN 的精度为 1/128，表 2-5 以 1/64 的精度为例，列出了 DIG FINE GAIN 的控制方法。



表 2-4 模拟 gain 值控制寄存器

| ANA GAIN | ANA FINE GAIN | GAIN Value | dB Value | ANA GAIN | ANA FINE GAIN | GAIN Value | dB Value |
|----------|---------------|------------|----------|----------|---------------|------------|----------|
| 8'h03    | 8'h40         | 1.000      | 0.00     | 8'h03    | 8'h66         | 1.594      | 4.05     |
| 8'h03    | 8'h41         | 1.016      | 0.13     | 8'h03    | 8'h67         | 1.609      | 4.13     |
| 8'h03    | 8'h42         | 1.031      | 0.27     | 8'h03    | 8'h68         | 1.625      | 4.22     |
| 8'h03    | 8'h43         | 1.047      | 0.40     | 8'h03    | 8'h69         | 1.641      | 4.30     |
| 8'h03    | 8'h44         | 1.063      | 0.53     | 8'h03    | 8'h6A         | 1.656      | 4.38     |
| 8'h03    | 8'h45         | 1.078      | 0.65     | 8'h03    | 8'h6B         | 1.672      | 4.46     |
| 8'h03    | 8'h46         | 1.094      | 0.78     | 8'h03    | 8'h6C         | 1.688      | 4.54     |
| 8'h03    | 8'h47         | 1.109      | 0.90     | 8'h03    | 8'h6D         | 1.703      | 4.62     |
| 8'h03    | 8'h48         | 1.125      | 1.02     | 8'h03    | 8'h6E         | 1.719      | 4.70     |
| 8'h03    | 8'h49         | 1.141      | 1.14     | 8'h03    | 8'h6F         | 1.734      | 4.78     |
| 8'h03    | 8'h4A         | 1.156      | 1.26     | 8'h03    | 8'h70         | 1.750      | 4.86     |
| 8'h03    | 8'h4B         | 1.172      | 1.38     | 8'h03    | 8'h71         | 1.766      | 4.94     |
| 8'h03    | 8'h4C         | 1.188      | 1.49     | 8'h03    | 8'h72         | 1.781      | 5.01     |
| 8'h03    | 8'h4D         | 1.203      | 1.61     | 8'h03    | 8'h73         | 1.797      | 5.09     |
| 8'h03    | 8'h4E         | 1.219      | 1.72     | 8'h03    | 8'h74         | 1.813      | 5.17     |
| 8'h03    | 8'h4F         | 1.234      | 1.83     | 8'h03    | 8'h75         | 1.828      | 5.24     |
| 8'h03    | 8'h50         | 1.250      | 1.94     | 8'h03    | 8'h76         | 1.844      | 5.31     |
| 8'h03    | 8'h51         | 1.266      | 2.05     | 8'h03    | 8'h77         | 1.859      | 5.39     |
| 8'h03    | 8'h52         | 1.281      | 2.15     | 8'h03    | 8'h78         | 1.875      | 5.46     |
| 8'h03    | 8'h53         | 1.297      | 2.26     | 8'h03    | 8'h79         | 1.891      | 5.53     |
| 8'h03    | 8'h54         | 1.313      | 2.36     | 8'h03    | 8'h7A         | 1.906      | 5.60     |
| 8'h03    | 8'h55         | 1.328      | 2.46     | 8'h03    | 8'h7B         | 1.922      | 5.67     |
| 8'h03    | 8'h56         | 1.344      | 2.57     | 8'h03    | 8'h7C         | 1.938      | 5.74     |
| 8'h03    | 8'h57         | 1.359      | 2.67     | 8'h03    | 8'h7D         | 1.953      | 5.81     |
| 8'h03    | 8'h58         | 1.375      | 2.77     | 8'h03    | 8'h7E         | 1.969      | 5.88     |
| 8'h03    | 8'h59         | 1.391      | 2.86     | 8'h03    | 8'h7F         | 1.984      | 5.95     |
| 8'h03    | 8'h5A         | 1.406      | 2.96     | 8'h07    | 8'h40         | 2.000      | 6.02     |
| 8'h03    | 8'h5B         | 1.422      | 3.06     | 8'h07    | 8'h41         | 2.031      | 6.16     |
| 8'h03    | 8'h5C         | 1.438      | 3.15     | 8'h07    | 8'h42         | 2.063      | 6.29     |
| 8'h03    | 8'h5D         | 1.453      | 3.25     | 8'h07    | 8'h43         | 2.094      | 6.42     |
| 8'h03    | 8'h5E         | 1.469      | 3.34     | 8'h07    | 8'h44         | 2.125      | 6.55     |
| 8'h03    | 8'h5F         | 1.484      | 3.43     | 8'h07    | 8'h45         | 2.156      | 6.67     |
| 8'h03    | 8'h60         | 1.500      | 3.52     | 8'h07    | 8'h46         | 2.188      | 6.80     |
| 8'h03    | 8'h61         | 1.516      | 3.61     | 8'h07    | 8'h47         | 2.219      | 6.92     |
| 8'h03    | 8'h62         | 1.531      | 3.70     | 8'h07    | 8'h48         | 2.250      | 7.04     |
| 8'h03    | 8'h63         | 1.547      | 3.79     | 8'h07    | 8'h49         | 2.281      | 7.16     |
| 8'h03    | 8'h64         | 1.563      | 3.88     | 8'h07    | 8'h4A         | 2.313      | 7.28     |
| 8'h03    | 8'h65         | 1.578      | 3.96     | 8'h07    | 8'h4B         | 2.344      | 7.40     |

| ANA GAIN | ANA FINE GAIN | GAIN Value | dB Value | ANA GAIN | ANA FINE GAIN | GAIN Value | dB Value |
|----------|---------------|------------|----------|----------|---------------|------------|----------|
| 8'h07    | 8'h4C         | 2.375      | 7.51     | 8'h07    | 8'h73         | 3.594      | 11.11    |
| 8'h07    | 8'h4D         | 2.406      | 7.63     | 8'h07    | 8'h74         | 3.625      | 11.19    |
| 8'h07    | 8'h4E         | 2.438      | 7.74     | 8'h07    | 8'h75         | 3.656      | 11.26    |
| 8'h07    | 8'h4F         | 2.469      | 7.85     | 8'h07    | 8'h76         | 3.688      | 11.33    |
| 8'h07    | 8'h50         | 2.500      | 7.96     | 8'h07    | 8'h77         | 3.719      | 11.41    |
| 8'h07    | 8'h51         | 2.531      | 8.07     | 8'h07    | 8'h78         | 3.750      | 11.48    |
| 8'h07    | 8'h52         | 2.563      | 8.17     | 8'h07    | 8'h79         | 3.781      | 11.55    |
| 8'h07    | 8'h53         | 2.594      | 8.28     | 8'h07    | 8'h7A         | 3.813      | 11.62    |
| 8'h07    | 8'h54         | 2.625      | 8.38     | 8'h07    | 8'h7B         | 3.844      | 11.70    |
| 8'h07    | 8'h55         | 2.656      | 8.49     | 8'h07    | 8'h7C         | 3.875      | 11.77    |
| 8'h07    | 8'h56         | 2.688      | 8.59     | 8'h07    | 8'h7D         | 3.906      | 11.84    |
| 8'h07    | 8'h57         | 2.719      | 8.69     | 8'h07    | 8'h7E         | 3.938      | 11.90    |
| 8'h07    | 8'h58         | 2.750      | 8.79     | 8'h07    | 8'h7F         | 3.969      | 11.97    |
| 8'h07    | 8'h59         | 2.781      | 8.88     | 8'h0F    | 8'h40         | 4.000      | 12.04    |
| 8'h07    | 8'h5A         | 2.813      | 8.98     | 8'h0F    | 8'h41         | 4.063      | 12.18    |
| 8'h07    | 8'h5B         | 2.844      | 9.08     | 8'h0F    | 8'h42         | 4.125      | 12.31    |
| 8'h07    | 8'h5C         | 2.875      | 9.17     | 8'h0F    | 8'h43         | 4.188      | 12.44    |
| 8'h07    | 8'h5D         | 2.906      | 9.27     | 8'h0F    | 8'h44         | 4.250      | 12.57    |
| 8'h07    | 8'h5E         | 2.938      | 9.36     | 8'h0F    | 8'h45         | 4.313      | 12.69    |
| 8'h07    | 8'h5F         | 2.969      | 9.45     | 8'h0F    | 8'h46         | 4.375      | 12.82    |
| 8'h07    | 8'h60         | 3.000      | 9.54     | 8'h0F    | 8'h47         | 4.438      | 12.94    |
| 8'h07    | 8'h61         | 3.031      | 9.63     | 8'h0F    | 8'h48         | 4.500      | 13.06    |
| 8'h07    | 8'h62         | 3.063      | 9.72     | 8'h0F    | 8'h49         | 4.563      | 13.18    |
| 8'h07    | 8'h63         | 3.094      | 9.81     | 8'h0F    | 8'h4A         | 4.625      | 13.30    |
| 8'h07    | 8'h64         | 3.125      | 9.90     | 8'h0F    | 8'h4B         | 4.688      | 13.42    |
| 8'h07    | 8'h65         | 3.156      | 9.98     | 8'h0F    | 8'h4C         | 4.750      | 13.53    |
| 8'h07    | 8'h66         | 3.188      | 10.07    | 8'h0F    | 8'h4D         | 4.813      | 13.65    |
| 8'h07    | 8'h67         | 3.219      | 10.15    | 8'h0F    | 8'h4E         | 4.875      | 13.76    |
| 8'h07    | 8'h68         | 3.250      | 10.24    | 8'h0F    | 8'h4F         | 4.938      | 13.87    |
| 8'h07    | 8'h69         | 3.281      | 10.32    | 8'h0F    | 8'h50         | 5.000      | 13.98    |
| 8'h07    | 8'h6A         | 3.313      | 10.40    | 8'h0F    | 8'h51         | 5.063      | 14.09    |
| 8'h07    | 8'h6B         | 3.344      | 10.48    | 8'h0F    | 8'h52         | 5.125      | 14.19    |
| 8'h07    | 8'h6C         | 3.375      | 10.57    | 8'h0F    | 8'h53         | 5.188      | 14.30    |
| 8'h07    | 8'h6D         | 3.406      | 10.65    | 8'h0F    | 8'h54         | 5.250      | 14.40    |
| 8'h07    | 8'h6E         | 3.438      | 10.72    | 8'h0F    | 8'h55         | 5.313      | 14.51    |
| 8'h07    | 8'h6F         | 3.469      | 10.80    | 8'h0F    | 8'h56         | 5.375      | 14.61    |
| 8'h07    | 8'h70         | 3.500      | 10.88    | 8'h0F    | 8'h57         | 5.438      | 14.71    |
| 8'h07    | 8'h71         | 3.531      | 10.96    | 8'h0F    | 8'h58         | 5.500      | 14.81    |
| 8'h07    | 8'h72         | 3.563      | 11.04    | 8'h0F    | 8'h59         | 5.563      | 14.91    |

| ANA<br>GAIN | ANA FINE<br>GAIN | GAIN<br>Value | dB Value | ANA<br>GAIN | ANA FINE<br>GAIN | GAIN<br>Value | dB Value |
|-------------|------------------|---------------|----------|-------------|------------------|---------------|----------|
| 8'h0F       | 8'h5A            | 5.625         | 15.00    | 8'h1F       | 8'h41            | 8.125         | 18.20    |
| 8'h0F       | 8'h5B            | 5.688         | 15.10    | 8'h1F       | 8'h42            | 8.250         | 18.33    |
| 8'h0F       | 8'h5C            | 5.750         | 15.19    | 8'h1F       | 8'h43            | 8.375         | 18.46    |
| 8'h0F       | 8'h5D            | 5.813         | 15.29    | 8'h1F       | 8'h44            | 8.500         | 18.59    |
| 8'h0F       | 8'h5E            | 5.875         | 15.38    | 8'h1F       | 8'h45            | 8.625         | 18.72    |
| 8'h0F       | 8'h5F            | 5.938         | 15.47    | 8'h1F       | 8'h46            | 8.750         | 18.84    |
| 8'h0F       | 8'h60            | 6.000         | 15.56    | 8'h1F       | 8'h47            | 8.875         | 18.96    |
| 8'h0F       | 8'h61            | 6.063         | 15.65    | 8'h1F       | 8'h48            | 9.000         | 19.08    |
| 8'h0F       | 8'h62            | 6.125         | 15.74    | 8'h1F       | 8'h49            | 9.125         | 19.20    |
| 8'h0F       | 8'h63            | 6.188         | 15.83    | 8'h1F       | 8'h4A            | 9.250         | 19.32    |
| 8'h0F       | 8'h64            | 6.250         | 15.92    | 8'h1F       | 8'h4B            | 9.375         | 19.44    |
| 8'h0F       | 8'h65            | 6.313         | 16.00    | 8'h1F       | 8'h4C            | 9.500         | 19.55    |
| 8'h0F       | 8'h66            | 6.375         | 16.09    | 8'h1F       | 8'h4D            | 9.625         | 19.67    |
| 8'h0F       | 8'h67            | 6.438         | 16.17    | 8'h1F       | 8'h4E            | 9.750         | 19.78    |
| 8'h0F       | 8'h68            | 6.500         | 16.26    | 8'h1F       | 8'h4F            | 9.875         | 19.89    |
| 8'h0F       | 8'h69            | 6.563         | 16.34    | 8'h1F       | 8'h50            | 10.000        | 20.00    |
| 8'h0F       | 8'h6A            | 6.625         | 16.42    | 8'h1F       | 8'h51            | 10.125        | 20.11    |
| 8'h0F       | 8'h6B            | 6.688         | 16.51    | 8'h1F       | 8'h52            | 10.250        | 20.21    |
| 8'h0F       | 8'h6C            | 6.750         | 16.59    | 8'h1F       | 8'h53            | 10.375        | 20.32    |
| 8'h0F       | 8'h6D            | 6.813         | 16.67    | 8'h1F       | 8'h54            | 10.500        | 20.42    |
| 8'h0F       | 8'h6E            | 6.875         | 16.75    | 8'h1F       | 8'h55            | 10.625        | 20.53    |
| 8'h0F       | 8'h6F            | 6.938         | 16.82    | 8'h1F       | 8'h56            | 10.750        | 20.63    |
| 8'h0F       | 8'h70            | 7.000         | 16.90    | 8'h1F       | 8'h57            | 10.875        | 20.73    |
| 8'h0F       | 8'h71            | 7.063         | 16.98    | 8'h1F       | 8'h58            | 11.000        | 20.83    |
| 8'h0F       | 8'h72            | 7.125         | 17.06    | 8'h1F       | 8'h59            | 11.125        | 20.93    |
| 8'h0F       | 8'h73            | 7.188         | 17.13    | 8'h1F       | 8'h5A            | 11.250        | 21.02    |
| 8'h0F       | 8'h74            | 7.250         | 17.21    | 8'h1F       | 8'h5B            | 11.375        | 21.12    |
| 8'h0F       | 8'h75            | 7.313         | 17.28    | 8'h1F       | 8'h5C            | 11.500        | 21.21    |
| 8'h0F       | 8'h76            | 7.375         | 17.36    | 8'h1F       | 8'h5D            | 11.625        | 21.31    |
| 8'h0F       | 8'h77            | 7.438         | 17.43    | 8'h1F       | 8'h5E            | 11.750        | 21.40    |
| 8'h0F       | 8'h78            | 7.500         | 17.50    | 8'h1F       | 8'h5F            | 11.875        | 21.49    |
| 8'h0F       | 8'h79            | 7.563         | 17.57    | 8'h1F       | 8'h60            | 12.000        | 21.58    |
| 8'h0F       | 8'h7A            | 7.625         | 17.64    | 8'h1F       | 8'h61            | 12.125        | 21.67    |
| 8'h0F       | 8'h7B            | 7.688         | 17.72    | 8'h1F       | 8'h62            | 12.250        | 21.76    |
| 8'h0F       | 8'h7C            | 7.750         | 17.79    | 8'h1F       | 8'h63            | 12.375        | 21.85    |
| 8'h0F       | 8'h7D            | 7.813         | 17.86    | 8'h1F       | 8'h64            | 12.500        | 21.94    |
| 8'h0F       | 8'h7E            | 7.875         | 17.93    | 8'h1F       | 8'h65            | 12.625        | 22.02    |
| 8'h0F       | 8'h7F            | 7.938         | 17.99    | 8'h1F       | 8'h66            | 12.750        | 22.11    |
| 8'h1F       | 8'h40            | 8.000         | 18.06    | 8'h1F       | 8'h67            | 12.875        | 22.19    |

| ANA<br>GAIN | ANA FINE<br>GAIN | GAIN<br>Value | dB Value | ANA<br>GAIN | ANA FINE<br>GAIN | GAIN<br>Value | dB Value |
|-------------|------------------|---------------|----------|-------------|------------------|---------------|----------|
| 8'h1F       | 8'h68            | 13.000        | 22.28    | 8'h1F       | 8'h74            | 14.500        | 23.23    |
| 8'h1F       | 8'h69            | 13.125        | 22.36    | 8'h1F       | 8'h75            | 14.625        | 23.30    |
| 8'h1F       | 8'h6A            | 13.250        | 22.44    | 8'h1F       | 8'h76            | 14.750        | 23.38    |
| 8'h1F       | 8'h6B            | 13.375        | 22.53    | 8'h1F       | 8'h77            | 14.875        | 23.45    |
| 8'h1F       | 8'h6C            | 13.500        | 22.61    | 8'h1F       | 8'h78            | 15.000        | 23.52    |
| 8'h1F       | 8'h6D            | 13.625        | 22.69    | 8'h1F       | 8'h79            | 15.125        | 23.59    |
| 8'h1F       | 8'h6E            | 13.750        | 22.77    | 8'h1F       | 8'h7A            | 15.250        | 23.67    |
| 8'h1F       | 8'h6F            | 13.875        | 22.84    | 8'h1F       | 8'h7B            | 15.375        | 23.74    |
| 8'h1F       | 8'h70            | 14.000        | 22.92    | 8'h1F       | 8'h7C            | 15.500        | 23.81    |
| 8'h1F       | 8'h71            | 14.125        | 23.00    | 8'h1F       | 8'h7D            | 15.625        | 23.88    |
| 8'h1F       | 8'h72            | 14.250        | 23.08    | 8'h1F       | 8'h7E            | 15.750        | 23.95    |
| 8'h1F       | 8'h73            | 14.375        | 23.15    | 8'h1F       | 8'h7F            | 15.875        | 24.01    |

表 2-5 数字 gain 值控制寄存器

| DIG<br>GAIN | DIG FINE<br>GAIN | GAIN<br>value | dB<br>value | DIG<br>GAIN | DIG FINE<br>GAIN | GAIN<br>value | dB<br>value |
|-------------|------------------|---------------|-------------|-------------|------------------|---------------|-------------|
| 8'h00       | 8'h80            | 1.000         | 0.00        | 8'h00       | 8'hcc            | 1.594         | 4.05        |
| 8'h00       | 8'h82            | 1.016         | 0.13        | 8'h00       | 8'hce            | 1.609         | 4.13        |
| 8'h00       | 8'h84            | 1.031         | 0.27        | 8'h00       | 8'hd0            | 1.625         | 4.22        |
| 8'h00       | 8'h86            | 1.047         | 0.40        | 8'h00       | 8'hd2            | 1.641         | 4.30        |
| 8'h00       | 8'h88            | 1.063         | 0.53        | 8'h00       | 8'hd4            | 1.656         | 4.38        |
| 8'h00       | 8'h8a            | 1.078         | 0.65        | 8'h00       | 8'hd6            | 1.672         | 4.46        |
| 8'h00       | 8'h8c            | 1.094         | 0.78        | 8'h00       | 8'hd8            | 1.688         | 4.54        |
| 8'h00       | 8'h8e            | 1.109         | 0.90        | 8'h00       | 8'hda            | 1.703         | 4.62        |
| 8'h00       | 8'h90            | 1.125         | 1.02        | 8'h00       | 8'hdc            | 1.719         | 4.70        |
| 8'h00       | 8'h92            | 1.141         | 1.14        | 8'h00       | 8'hde            | 1.734         | 4.78        |
| 8'h00       | 8'h94            | 1.156         | 1.26        | 8'h00       | 8'he0            | 1.750         | 4.86        |
| 8'h00       | 8'h96            | 1.172         | 1.38        | 8'h00       | 8'he2            | 1.766         | 4.94        |
| 8'h00       | 8'h98            | 1.188         | 1.49        | 8'h00       | 8'he4            | 1.781         | 5.01        |
| 8'h00       | 8'h9a            | 1.203         | 1.61        | 8'h00       | 8'he6            | 1.797         | 5.09        |
| 8'h00       | 8'h9c            | 1.219         | 1.72        | 8'h00       | 8'he8            | 1.813         | 5.17        |
| 8'h00       | 8'h9e            | 1.234         | 1.83        | 8'h00       | 8'hea            | 1.828         | 5.24        |
| 8'h00       | 8'ha0            | 1.250         | 1.94        | 8'h00       | 8'hec            | 1.844         | 5.31        |
| 8'h00       | 8'ha2            | 1.266         | 2.05        | 8'h00       | 8'hee            | 1.859         | 5.39        |
| 8'h00       | 8'ha4            | 1.281         | 2.15        | 8'h00       | 8'hf0            | 1.875         | 5.46        |
| 8'h00       | 8'ha6            | 1.297         | 2.26        | 8'h00       | 8'hf2            | 1.891         | 5.53        |
| 8'h00       | 8'ha8            | 1.313         | 2.36        | 8'h00       | 8'hf4            | 1.906         | 5.60        |
| 8'h00       | 8'haa            | 1.328         | 2.46        | 8'h00       | 8'hf6            | 1.922         | 5.67        |
| 8'h00       | 8'hac            | 1.344         | 2.57        | 8'h00       | 8'hf8            | 1.938         | 5.74        |
| 8'h00       | 8'hae            | 1.359         | 2.67        | 8'h00       | 8'hfa            | 1.953         | 5.81        |
| 8'h00       | 8'hb0            | 1.375         | 2.77        | 8'h00       | 8'hfc            | 1.969         | 5.88        |
| 8'h00       | 8'hb2            | 1.391         | 2.86        | 8'h00       | 8'hfe            | 1.984         | 5.95        |
| 8'h00       | 8'hb4            | 1.406         | 2.96        | 8'h01       | 8'h80            | 2.000         | 6.02        |
| 8'h00       | 8'hb6            | 1.422         | 3.06        | 8'h01       | 8'h82            | 2.031         | 6.16        |
| 8'h00       | 8'hb8            | 1.438         | 3.15        | 8'h01       | 8'h84            | 2.063         | 6.29        |
| 8'h00       | 8'hba            | 1.453         | 3.25        | 8'h01       | 8'h86            | 2.094         | 6.42        |
| 8'h00       | 8'hbc            | 1.469         | 3.34        | 8'h01       | 8'h88            | 2.125         | 6.55        |
| 8'h00       | 8'hbe            | 1.484         | 3.43        | 8'h01       | 8'h8a            | 2.156         | 6.67        |
| 8'h00       | 8'hc0            | 1.500         | 3.52        | 8'h01       | 8'h8c            | 2.188         | 6.80        |
| 8'h00       | 8'hc2            | 1.516         | 3.61        | 8'h01       | 8'h8e            | 2.219         | 6.92        |
| 8'h00       | 8'hc4            | 1.531         | 3.70        | 8'h01       | 8'h90            | 2.250         | 7.04        |
| 8'h00       | 8'hc6            | 1.547         | 3.79        | 8'h01       | 8'h92            | 2.281         | 7.16        |
| 8'h00       | 8'hc8            | 1.563         | 3.88        | 8'h01       | 8'h94            | 2.313         | 7.28        |
| 8'h00       | 8'hca            | 1.578         | 3.96        | 8'h01       | 8'h96            | 2.344         | 7.40        |

| DIG<br>GAIN | DIG FINE<br>GAIN | GAIN<br>value | dB<br>value | DIG<br>GAIN | DIG FINE<br>GAIN | GAIN<br>value | dB<br>value |
|-------------|------------------|---------------|-------------|-------------|------------------|---------------|-------------|
| 8'h01       | 8'h98            | 2.375         | 7.51        | 8'h01       | 8'he6            | 3.594         | 11.11       |
| 8'h01       | 8'h9a            | 2.406         | 7.63        | 8'h01       | 8'he8            | 3.625         | 11.19       |
| 8'h01       | 8'h9c            | 2.438         | 7.74        | 8'h01       | 8'hea            | 3.656         | 11.26       |
| 8'h01       | 8'h9e            | 2.469         | 7.85        | 8'h01       | 8'hec            | 3.688         | 11.33       |
| 8'h01       | 8'ha0            | 2.500         | 7.96        | 8'h01       | 8'hee            | 3.719         | 11.41       |
| 8'h01       | 8'ha2            | 2.531         | 8.07        | 8'h01       | 8'hf0            | 3.750         | 11.48       |
| 8'h01       | 8'ha4            | 2.563         | 8.17        | 8'h01       | 8'hf2            | 3.781         | 11.55       |
| 8'h01       | 8'ha6            | 2.594         | 8.28        | 8'h01       | 8'hf4            | 3.813         | 11.62       |
| 8'h01       | 8'ha8            | 2.625         | 8.38        | 8'h01       | 8'hf6            | 3.844         | 11.70       |
| 8'h01       | 8'haa            | 2.656         | 8.49        | 8'h01       | 8'hf8            | 3.875         | 11.77       |
| 8'h01       | 8'hac            | 2.688         | 8.59        | 8'h01       | 8'hfa            | 3.906         | 11.84       |
| 8'h01       | 8'hae            | 2.719         | 8.69        | 8'h01       | 8'hfc            | 3.938         | 11.90       |
| 8'h01       | 8'hb0            | 2.750         | 8.79        | 8'h01       | 8'hfe            | 3.969         | 11.97       |
| 8'h01       | 8'hb2            | 2.781         | 8.88        | 8'h03       | 8'h80            | 4.000         | 12.04       |
| 8'h01       | 8'hb4            | 2.813         | 8.98        | 8'h03       | 8'h82            | 4.063         | 12.18       |
| 8'h01       | 8'hb6            | 2.844         | 9.08        | 8'h03       | 8'h84            | 4.125         | 12.31       |
| 8'h01       | 8'hb8            | 2.875         | 9.17        | 8'h03       | 8'h86            | 4.188         | 12.44       |
| 8'h01       | 8'hba            | 2.906         | 9.27        | 8'h03       | 8'h88            | 4.250         | 12.57       |
| 8'h01       | 8'hbc            | 2.938         | 9.36        | 8'h03       | 8'h8a            | 4.313         | 12.69       |
| 8'h01       | 8'hbe            | 2.969         | 9.45        | 8'h03       | 8'h8c            | 4.375         | 12.82       |
| 8'h01       | 8'hc0            | 3.000         | 9.54        | 8'h03       | 8'h8e            | 4.438         | 12.94       |
| 8'h01       | 8'hc2            | 3.031         | 9.63        | 8'h03       | 8'h90            | 4.500         | 13.06       |
| 8'h01       | 8'hc4            | 3.063         | 9.72        | 8'h03       | 8'h92            | 4.563         | 13.18       |
| 8'h01       | 8'hc6            | 3.094         | 9.81        | 8'h03       | 8'h94            | 4.625         | 13.30       |
| 8'h01       | 8'hc8            | 3.125         | 9.90        | 8'h03       | 8'h96            | 4.688         | 13.42       |
| 8'h01       | 8'hca            | 3.156         | 9.98        | 8'h03       | 8'h98            | 4.750         | 13.53       |
| 8'h01       | 8'hcc            | 3.188         | 10.07       | 8'h03       | 8'h9a            | 4.813         | 13.65       |
| 8'h01       | 8'hce            | 3.219         | 10.15       | 8'h03       | 8'h9c            | 4.875         | 13.76       |
| 8'h01       | 8'hd0            | 3.250         | 10.24       | 8'h03       | 8'h9e            | 4.938         | 13.87       |
| 8'h01       | 8'hd2            | 3.281         | 10.32       | 8'h03       | 8'ha0            | 5.000         | 13.98       |
| 8'h01       | 8'hd4            | 3.313         | 10.40       | 8'h03       | 8'ha2            | 5.063         | 14.09       |
| 8'h01       | 8'hd6            | 3.344         | 10.48       | 8'h03       | 8'ha4            | 5.125         | 14.19       |
| 8'h01       | 8'hd8            | 3.375         | 10.57       | 8'h03       | 8'ha6            | 5.188         | 14.30       |
| 8'h01       | 8'hda            | 3.406         | 10.65       | 8'h03       | 8'ha8            | 5.250         | 14.40       |
| 8'h01       | 8'hdc            | 3.438         | 10.72       | 8'h03       | 8'haa            | 5.313         | 14.51       |
| 8'h01       | 8'hde            | 3.469         | 10.80       | 8'h03       | 8'hac            | 5.375         | 14.61       |
| 8'h01       | 8'he0            | 3.500         | 10.88       | 8'h03       | 8'hae            | 5.438         | 14.71       |
| 8'h01       | 8'he2            | 3.531         | 10.96       | 8'h03       | 8'hb0            | 5.500         | 14.81       |
| 8'h01       | 8'he4            | 3.563         | 11.04       | 8'h03       | 8'hb2            | 5.563         | 14.91       |

| DIG<br>GAIN | DIG FINE<br>GAIN | GAIN<br>value | dB<br>value | DIG<br>GAIN | DIG FINE<br>GAIN | GAIN<br>value | dB<br>value |
|-------------|------------------|---------------|-------------|-------------|------------------|---------------|-------------|
| 8'h03       | 8'hb4            | 5.625         | 15.00       | 8'h07       | 8'h82            | 8.125         | 18.20       |
| 8'h03       | 8'hb6            | 5.688         | 15.10       | 8'h07       | 8'h84            | 8.250         | 18.33       |
| 8'h03       | 8'hb8            | 5.750         | 15.19       | 8'h07       | 8'h86            | 8.375         | 18.46       |
| 8'h03       | 8'hba            | 5.813         | 15.29       | 8'h07       | 8'h88            | 8.500         | 18.59       |
| 8'h03       | 8'hbc            | 5.875         | 15.38       | 8'h07       | 8'h8a            | 8.625         | 18.72       |
| 8'h03       | 8'hbe            | 5.938         | 15.47       | 8'h07       | 8'h8c            | 8.750         | 18.84       |
| 8'h03       | 8'hc0            | 6.000         | 15.56       | 8'h07       | 8'h8e            | 8.875         | 18.96       |
| 8'h03       | 8'hc2            | 6.063         | 15.65       | 8'h07       | 8'h90            | 9.000         | 19.08       |
| 8'h03       | 8'hc4            | 6.125         | 15.74       | 8'h07       | 8'h92            | 9.125         | 19.20       |
| 8'h03       | 8'hc6            | 6.188         | 15.83       | 8'h07       | 8'h94            | 9.250         | 19.32       |
| 8'h03       | 8'hc8            | 6.250         | 15.92       | 8'h07       | 8'h96            | 9.375         | 19.44       |
| 8'h03       | 8'hca            | 6.313         | 16.00       | 8'h07       | 8'h98            | 9.500         | 19.55       |
| 8'h03       | 8'hcc            | 6.375         | 16.09       | 8'h07       | 8'h9a            | 9.625         | 19.67       |
| 8'h03       | 8'hce            | 6.438         | 16.17       | 8'h07       | 8'h9c            | 9.750         | 19.78       |
| 8'h03       | 8'hd0            | 6.500         | 16.26       | 8'h07       | 8'h9e            | 9.875         | 19.89       |
| 8'h03       | 8'hd2            | 6.563         | 16.34       | 8'h07       | 8'ha0            | 10.000        | 20.00       |
| 8'h03       | 8'hd4            | 6.625         | 16.42       | 8'h07       | 8'ha2            | 10.125        | 20.11       |
| 8'h03       | 8'hd6            | 6.688         | 16.51       | 8'h07       | 8'ha4            | 10.250        | 20.21       |
| 8'h03       | 8'hd8            | 6.750         | 16.59       | 8'h07       | 8'ha6            | 10.375        | 20.32       |
| 8'h03       | 8'hda            | 6.813         | 16.67       | 8'h07       | 8'ha8            | 10.500        | 20.42       |
| 8'h03       | 8'hdc            | 6.875         | 16.75       | 8'h07       | 8'haa            | 10.625        | 20.53       |
| 8'h03       | 8'hde            | 6.938         | 16.82       | 8'h07       | 8'hac            | 10.750        | 20.63       |
| 8'h03       | 8'he0            | 7.000         | 16.90       | 8'h07       | 8'hae            | 10.875        | 20.73       |
| 8'h03       | 8'he2            | 7.063         | 16.98       | 8'h07       | 8'hb0            | 11.000        | 20.83       |
| 8'h03       | 8'he4            | 7.125         | 17.06       | 8'h07       | 8'hb2            | 11.125        | 20.93       |
| 8'h03       | 8'he6            | 7.188         | 17.13       | 8'h07       | 8'hb4            | 11.250        | 21.02       |
| 8'h03       | 8'he8            | 7.250         | 17.21       | 8'h07       | 8'hb6            | 11.375        | 21.12       |
| 8'h03       | 8'hea            | 7.313         | 17.28       | 8'h07       | 8'hb8            | 11.500        | 21.21       |
| 8'h03       | 8'hec            | 7.375         | 17.36       | 8'h07       | 8'hba            | 11.625        | 21.31       |
| 8'h03       | 8'hee            | 7.438         | 17.43       | 8'h07       | 8'hbc            | 11.750        | 21.40       |
| 8'h03       | 8'hf0            | 7.500         | 17.50       | 8'h07       | 8'hbe            | 11.875        | 21.49       |
| 8'h03       | 8'hf2            | 7.563         | 17.57       | 8'h07       | 8'hc0            | 12.000        | 21.58       |
| 8'h03       | 8'hf4            | 7.625         | 17.64       | 8'h07       | 8'hc2            | 12.125        | 21.67       |
| 8'h03       | 8'hf6            | 7.688         | 17.72       | 8'h07       | 8'hc4            | 12.250        | 21.76       |
| 8'h03       | 8'hf8            | 7.750         | 17.79       | 8'h07       | 8'hc6            | 12.375        | 21.85       |
| 8'h03       | 8'hfa            | 7.813         | 17.86       | 8'h07       | 8'hc8            | 12.500        | 21.94       |
| 8'h03       | 8'hfc            | 7.875         | 17.93       | 8'h07       | 8'hca            | 12.625        | 22.02       |
| 8'h03       | 8'hfe            | 7.938         | 17.99       | 8'h07       | 8'hcc            | 12.750        | 22.11       |
| 8'h07       | 8'h80            | 8.000         | 18.06       | 8'h07       | 8'hce            | 12.875        | 22.19       |

| DIG<br>GAIN | DIG FINE<br>GAIN | GAIN<br>value | dB<br>value | DIG<br>GAIN | DIG FINE<br>GAIN | GAIN<br>value | dB<br>value |
|-------------|------------------|---------------|-------------|-------------|------------------|---------------|-------------|
| 8'h07       | 8'hd0            | 13.000        | 22.28       | 8'h0f       | 8'h9e            | 19.750        | 25.91       |
| 8'h07       | 8'hd2            | 13.125        | 22.36       | 8'h0f       | 8'ha0            | 20.000        | 26.02       |
| 8'h07       | 8'hd4            | 13.250        | 22.44       | 8'h0f       | 8'ha2            | 20.250        | 26.13       |
| 8'h07       | 8'hd6            | 13.375        | 22.53       | 8'h0f       | 8'ha4            | 20.500        | 26.24       |
| 8'h07       | 8'hd8            | 13.500        | 22.61       | 8'h0f       | 8'ha6            | 20.750        | 26.34       |
| 8'h07       | 8'hda            | 13.625        | 22.69       | 8'h0f       | 8'ha8            | 21.000        | 26.44       |
| 8'h07       | 8'hdc            | 13.750        | 22.77       | 8'h0f       | 8'haa            | 21.250        | 26.55       |
| 8'h07       | 8'hde            | 13.875        | 22.84       | 8'h0f       | 8'hac            | 21.500        | 26.65       |
| 8'h07       | 8'he0            | 14.000        | 22.92       | 8'h0f       | 8'hae            | 21.750        | 26.75       |
| 8'h07       | 8'he2            | 14.125        | 23.00       | 8'h0f       | 8'hb0            | 22.000        | 26.85       |
| 8'h07       | 8'he4            | 14.250        | 23.08       | 8'h0f       | 8'hb2            | 22.250        | 26.95       |
| 8'h07       | 8'he6            | 14.375        | 23.15       | 8'h0f       | 8'hb4            | 22.500        | 27.04       |
| 8'h07       | 8'he8            | 14.500        | 23.23       | 8'h0f       | 8'hb6            | 22.750        | 27.14       |
| 8'h07       | 8'hea            | 14.625        | 23.30       | 8'h0f       | 8'hb8            | 23.000        | 27.23       |
| 8'h07       | 8'hec            | 14.750        | 23.38       | 8'h0f       | 8'hba            | 23.250        | 27.33       |
| 8'h07       | 8'hee            | 14.875        | 23.45       | 8'h0f       | 8'hbc            | 23.500        | 27.42       |
| 8'h07       | 8'hf0            | 15.000        | 23.52       | 8'h0f       | 8'hbe            | 23.750        | 27.51       |
| 8'h07       | 8'hf2            | 15.125        | 23.59       | 8'h0f       | 8'hc0            | 24.000        | 27.60       |
| 8'h07       | 8'hf4            | 15.250        | 23.67       | 8'h0f       | 8'hc2            | 24.250        | 27.69       |
| 8'h07       | 8'hf6            | 15.375        | 23.74       | 8'h0f       | 8'hc4            | 24.500        | 27.78       |
| 8'h07       | 8'hf8            | 15.500        | 23.81       | 8'h0f       | 8'hc6            | 24.750        | 27.87       |
| 8'h07       | 8'hfa            | 15.625        | 23.88       | 8'h0f       | 8'hc8            | 25.000        | 27.96       |
| 8'h07       | 8'hfc            | 15.750        | 23.95       | 8'h0f       | 8'hca            | 25.250        | 28.05       |
| 8'h07       | 8'hfe            | 15.875        | 24.01       | 8'h0f       | 8'hcc            | 25.500        | 28.13       |
| 8'h0f       | 8'h80            | 16.000        | 24.08       | 8'h0f       | 8'hce            | 25.750        | 28.22       |
| 8'h0f       | 8'h82            | 16.250        | 24.22       | 8'h0f       | 8'hd0            | 26.000        | 28.30       |
| 8'h0f       | 8'h84            | 16.500        | 24.35       | 8'h0f       | 8'hd2            | 26.250        | 28.38       |
| 8'h0f       | 8'h86            | 16.750        | 24.48       | 8'h0f       | 8'hd4            | 26.500        | 28.46       |
| 8'h0f       | 8'h88            | 17.000        | 24.61       | 8'h0f       | 8'hd6            | 26.750        | 28.55       |
| 8'h0f       | 8'h8a            | 17.250        | 24.74       | 8'h0f       | 8'hd8            | 27.000        | 28.63       |
| 8'h0f       | 8'h8c            | 17.500        | 24.86       | 8'h0f       | 8'hda            | 27.250        | 28.71       |
| 8'h0f       | 8'h8e            | 17.750        | 24.98       | 8'h0f       | 8'hdc            | 27.500        | 28.79       |
| 8'h0f       | 8'h90            | 18.000        | 25.11       | 8'h0f       | 8'hde            | 27.750        | 28.87       |
| 8'h0f       | 8'h92            | 18.250        | 25.23       | 8'h0f       | 8'he0            | 28.000        | 28.94       |
| 8'h0f       | 8'h94            | 18.500        | 25.34       | 8'h0f       | 8'he2            | 28.250        | 29.02       |
| 8'h0f       | 8'h96            | 18.750        | 25.46       | 8'h0f       | 8'he4            | 28.500        | 29.10       |
| 8'h0f       | 8'h98            | 19.000        | 25.58       | 8'h0f       | 8'he6            | 28.750        | 29.17       |
| 8'h0f       | 8'h9a            | 19.250        | 25.69       | 8'h0f       | 8'he8            | 29.000        | 29.25       |
| 8'h0f       | 8'h9c            | 19.500        | 25.80       | 8'h0f       | 8'hea            | 29.250        | 29.32       |



| DIG<br>GAIN | DIG FINE<br>GAIN | GAIN<br>value | dB<br>value | DIG<br>GAIN | DIG FINE<br>GAIN | GAIN<br>value | dB<br>value |
|-------------|------------------|---------------|-------------|-------------|------------------|---------------|-------------|
| 8'h0f       | 8'hec            | 29.500        | 29.40       | 8'h0f       | 8'hf6            | 30.750        | 29.76       |
| 8'h0f       | 8'hee            | 29.750        | 29.47       | 8'h0f       | 8'hf8            | 31.000        | 29.83       |
| 8'h0f       | 8'hf0            | 30.000        | 29.54       | 8'h0f       | 8'hfa            | 31.250        | 29.90       |
| 8'h0f       | 8'hf2            | 30.250        | 29.61       | 8'h0f       | 8'hfc            | 31.500        | 29.97       |
| 8'h0f       | 8'hf4            | 30.500        | 29.69       | 8'h0f       | 8'hfe            | 31.750        | 30.03       |

## 2.3. GROUP HOLD

SC2335 具有 Group hold 功能，Group hold 指的是把寄存器打包在一帧特定时刻生效的功能。SC2335 最多支持 10 个寄存器打包；支持帧延迟写入功能，延迟帧数由寄存器控制。

使用方法：寄存器 16'h3812 写 8'h00，需要打包生效的寄存器写入 group，打包结束后寄存器 16'h3812 写 8'h30；打包生效的时刻为 16'h3812 写 8'h30 之后第 N 个帧内生效时刻，N=0 表示当前帧，N=1 表示下一帧.....，延迟帧数由寄存器 16'h3802 控制。

表 2-6 Group hold 控制寄存器

| 功能    | 寄存器地址    | 默认值   | 描述  |
|-------|----------|-------|---|
| 帧延迟控制 | 16'h3802 | 8'h00 | Bit[3:0]:帧延迟控制，生效时间帧延迟控制，写 0 表示当前帧，写 N 表示 N 帧延迟 |

## 2.4. DPC

SC2335 支持 DPC 功能。SC2335 坏点判断的原理是当前 pixel 值比周围相同颜色的 pixel 值都大（或者小），并且差值都大于设定阈值。SC2335 根据坏点判断的原理把坏点分为亮坏点（white pixel）和暗坏点（black pixel），具体控制寄存器如表 2-7。

表 2-7 DPC 控制寄存器

| 功能        | 寄存器地址      | 默认值  | 描述   |
|-----------|------------|------|--|
| 亮坏点消除功能开关 | 16'5000[2] | 1'b1 | white pixel cancellation enable<br>1~enable<br>0~disable |
| 暗坏点消除功能开关 | 16'5000[1] | 1'b1 | black pixel cancellation enable<br>1~enable<br>0~disable |

## 2.5. 视频输出模式

### 2.5.1. 读取顺序

下图提供了芯片工作的时候,第一个读取的 pixel 位置,以及整个 array 的结构示意图。此图是在 A1 pin 脚置于左上方的时候得到 (top view)。

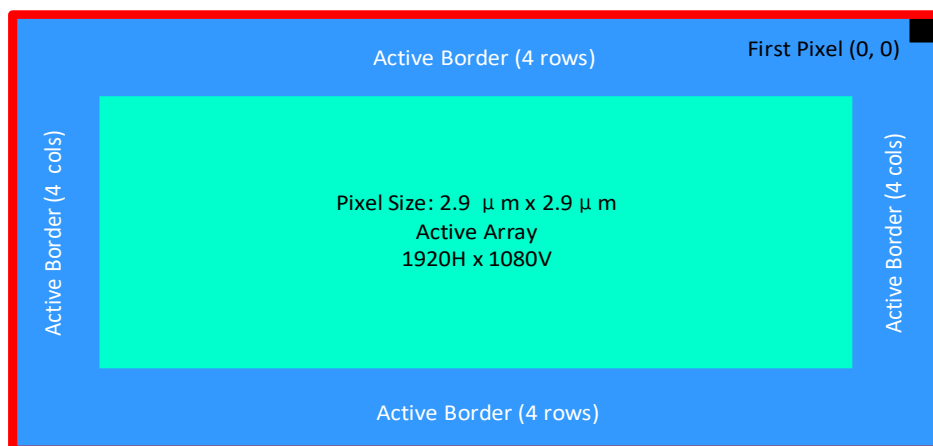


图 2-3 像素阵列图一

下图给出了 first pixel 的数据颜色格式。

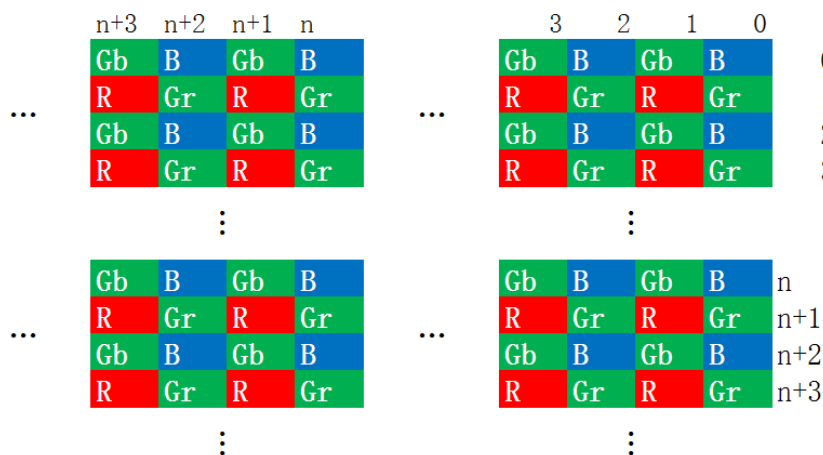


图 2-4 像素阵列图二

SC2335 提供镜像模式和倒置模式。前者会水平颠倒传感器的数据读出顺序；而后者会垂直颠倒传感器的读出顺序，如下图所示。



图 2-5 镜像和倒置实例

表 2-8 镜像和倒置模式控制寄存器

| 功能   | 寄存器地址    | 默认值   | 描述                    |
|------|----------|-------|-----------------------|
| 镜像模式 | 16'h3221 | 8'h00 | Bit[2:1]: mirror ctrl |
|      |          |       | 2'b00~mirror off      |
|      |          |       | 2'b11~mirror on       |
| 倒置模式 | 16'h3221 | 8'h00 | Bit[6:5]: flip ctrl   |
|      |          |       | 2'b00~flip off        |
|      |          |       | 2'b11~flip on         |

## 2.5.2. 输出窗口

表 2-9 输出窗口寄存器

| 功能   | 寄存器地址                | 默认值      | 描述        |
|------|----------------------|----------|-----------|
| 窗口宽度 | {16'h3208, 16'h3209} | 16'h0780 | 输出窗口宽度    |
| 窗口高度 | {16'h320a, 16'h320b} | 16'h0438 | 输出窗口高度    |
| 列起始  | {16'h3210, 16'h3211} | 16'h0004 | 输出窗口列起始位置 |
| 行起始  | {16'h3212, 16'h3213} | 16'h0004 | 输出窗口行起始位置 |

## 2.6. 帧率计算

SC2335 帧率由 FAE 提供，在此给出一种简单的计算一行时间的方法：

$$\text{一行时间} = 1 / (\text{帧率} \times \text{帧长})。$$

表 2-10 帧率相关寄存器

| 功能 | 寄存器地址                     | 默认值      | 描述                           |
|----|---------------------------|----------|------------------------------|
| 帧长 | {16'h320e[6:0], 16'h320f} | 16'h0465 | 帧长={16'h320e[6:0], 16'h320f} |

## 2.7. 测试模式

为方便测试，SC2335 提供一种灰度递增测试模式，如下图所示。



图 2-6 测试模式

表 2-11 测试模式控制寄存器

| 功能     | 寄存器地址    | 寄存器值  | 默认值   | 描述  |
|--------|----------|-------|-------|---|
| 灰度渐变模式 | 16'h4501 | 8'hbc | 8'hb4 | Bit[3]: incremental pattern enable<br>0~ normal image<br>1~ incremental pattern |
|        | 16'h3902 | 8'h85 | 8'hc5 | Bit[6]: BLC auto enable<br>0~ BLC auto enable<br>1~ BLC manual enable           |
|        | 16'h3e07 | 8'h40 | 8'h80 | Bit[7:0]: digital fine gain   |

### 3. 电气特性

表 3-1 绝对最大额定值（以上所有电压都是 to pad 电压）

| 项目       | 符号          | 绝对最大额定值                  | 单位 |
|----------|-------------|--------------------------|----|
| 模拟电源电压   | $V_{AVDD}$  | -0.3~3.4                 | V  |
| I/O 电源电压 | $V_{DOVDD}$ | -0.3~2.2                 | V  |
| 数字电源电压   | $V_{DVDD}$  | -0.3~1.4                 | V  |
| I/O 输入电压 | $V_I$       | -0.3 ~ $V_{DOVDD} + 0.3$ | V  |
| I/O 输出电压 | $V_O$       | -0.3 ~ $V_{DOVDD} + 0.3$ | V  |
| 工作温度     | $T_{OPR}$   | -30~+85                  | °C |
| 最佳工作温度   | $T_{SPEC}$  | -20~+60                  | °C |
| 贮存温度     | $T_{STG}$   | -40~+85                  | °C |

表 3-2 直流电气特性（以上所有电压都是 to pad 电压）

| 项目  | 符号          | 最小值                | 典型值     | 最大值                | 单位 |
|---|-------------|--------------------|---------|--------------------|----|
| <b>电源</b>                                       |             |                    |         |                    |    |
| 模拟电源电压  | $V_{AVDD}$  | 2.7                | 2.8     | 2.9                | V  |
| I/O 供电电压  | $V_{DOVDD}$ | 1.7                | 1.8     | 1.9                | V  |
| 数字电源  | $V_{DVDD}$  | 1.1                | 1.2     | 1.3                | V  |
| <b>电流（工作电流*1 线性模式 30fps MIPI 2-lane output）</b> |             |                    |         |                    |    |
| 模拟电源电流  | $I_{AVDD}$  | —                  | 13      | —                  | mA |
| I/O 电源电流  | $I_{DOVDD}$ | —                  | 0.5     | —                  | mA |
| 数字电源电流  | $I_{DVDD}$  | —                  | 23.9    | —                  | mA |
| <b>数字输入</b>                                     |             |                    |         |                    |    |
| 输入低电平   | $V_{IL}$    | —                  | —       | $0.3 \times DOVDD$ | V  |
| 输入高电平   | $V_{IH}$    | $0.7 \times DOVDD$ | —       | —                  | V  |
| 输入电容  | $C_{IN}$    | —                  | —       | 10                 | pF |
| <b>数字输出（25pF 标准负载）</b>                          |             |                    |         |                    |    |
| 输出高电平   | $V_{OH}$    | $0.9 \times DOVDD$ | —       | —                  | V  |
| 输出低电平   | $V_{OL}$    | —                  | —       | $0.1 \times DOVDD$ | V  |
| <b>串行接口输入（SCL 和 SDA）</b>                        |             |                    |         |                    |    |
| 输入低电平   | $V_{IL}$    | -0.5               | 0       | $0.3 \times DOVDD$ | V  |
| 输入高电平   | $V_{IH}$    | $0.7 \times DOVDD$ | $DOVDD$ | $DOVDD + 0.5$      | V  |

 注：\*1 工作电流：（典型值）工作电压 2.8V/1.8V/1.2V， $T_J = 25^\circ\text{C}$ ；

亮度条件：芯片亮度达到最大亮度 1/3 时。

表 3-3 交流特性 (TA=25° C, AVDD=2.8V, DOVDD=1.8V)

| 项目             | 符号                  | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位  |
|----------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|
| <b>交流参数</b>    |                     |     |     |     |     |
| 直流微分线性误差       | DLE                 | —   | <1  | —   | LSB |
| 直流积分线性误差       | ILE                 | —   | <2  | —   | LSB |
| <b>晶振和时钟输入</b> |                     |     |     |     |     |
| EXTCLK 频率      | f <sub>EXTCLK</sub> | 6   | —   | 40  | MHz |
| EXTCLK 高电平脉冲宽度 | t <sub>WH</sub>     | 5   | —   | —   | ns  |
| EXTCLK 低电平脉冲宽度 | t <sub>WL</sub>     | 5   | —   | —   | ns  |
| EXTCLK 占空比     | —                   | 45  | 50  | 55  | %   |

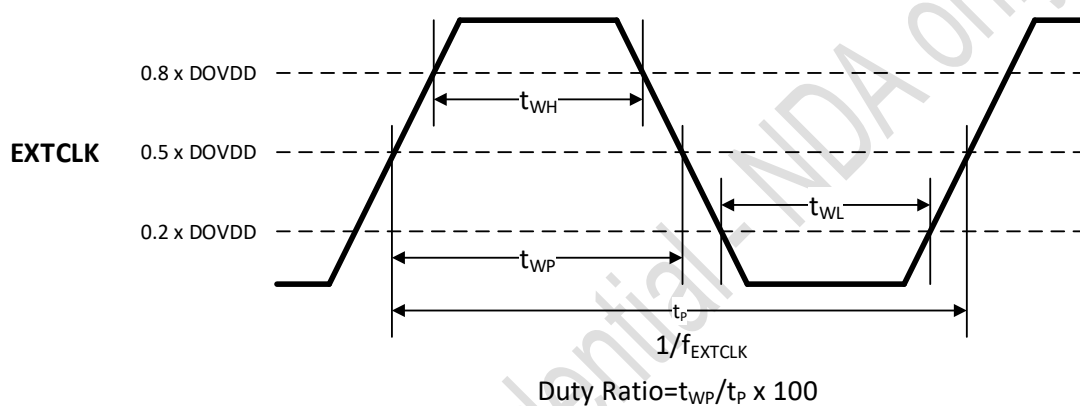


图 3-1 外部时钟 (EXTCLK) 波形图

## 4. 光学特性

### 4.1. QE 曲线

SC2335 光学曲线图如图 4-1 所示。

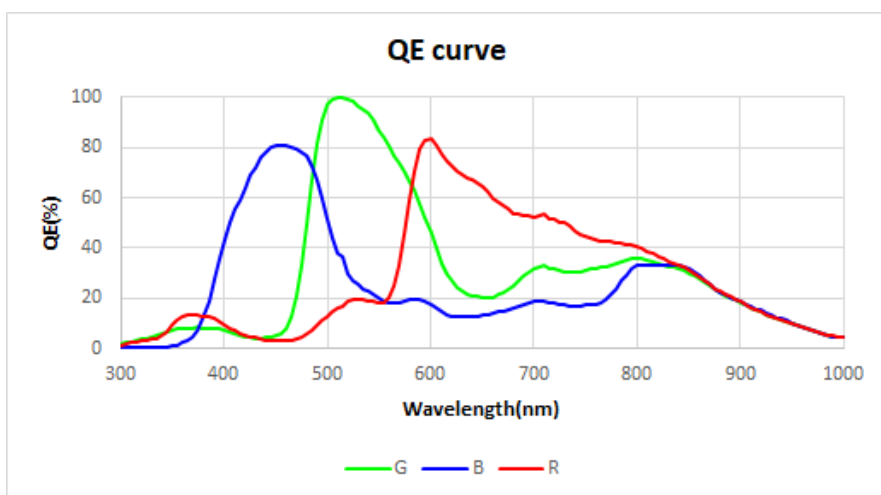


图 4-1 QE Curve

### 4.2. 主光线入射角（CRA）

SC2335 CRA 曲线如图 4-2 所示。

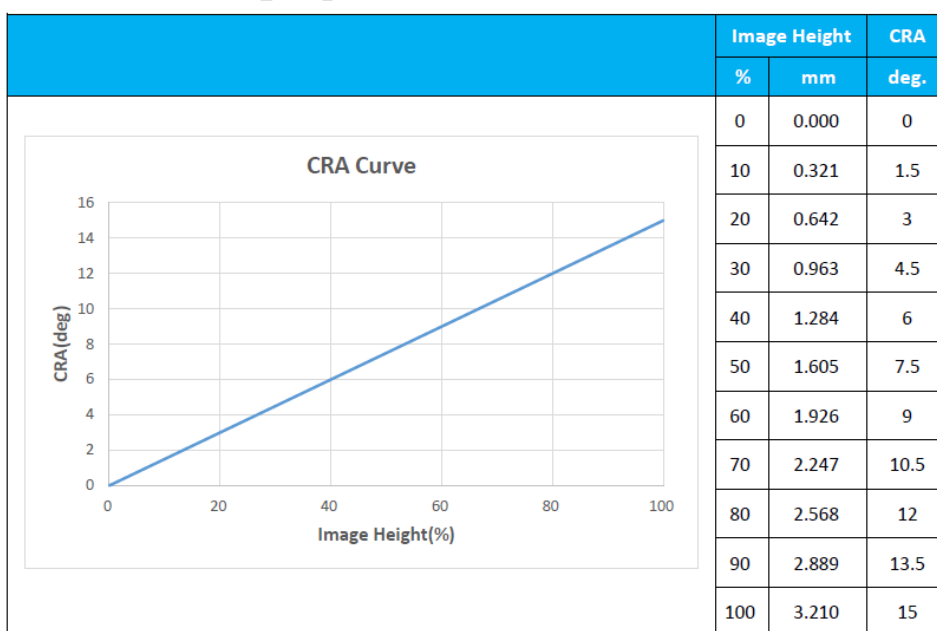


图 4-2 CRA Curve



## 5. 封装信息

### 5.1. CSP

SC2335 提供 41-pin CSP 的封装，封装尺寸如图 5-1 所示。

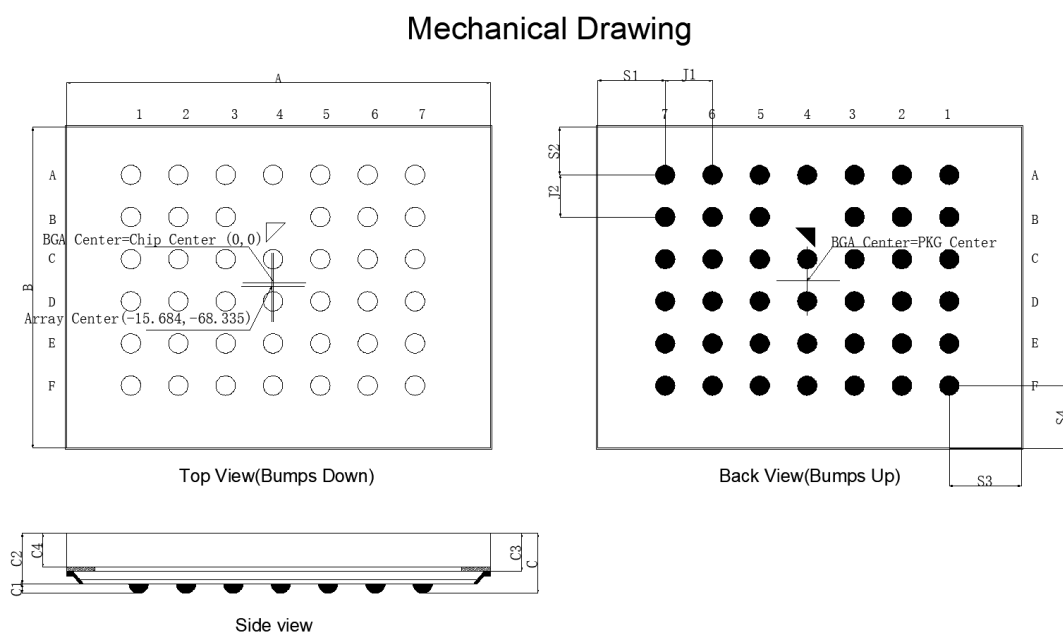


图 5-1 SC2335 封装示意图(CSP)

注：芯片的 Chip Center 与 Array Center (Optical Center) 不重合，BGACenter 与 Optical Center 也不重合。以 BGACenter 为原点，Optical Center 为 (-15.684,-68.335)，Chip Center 为 (0,0)，单位为  $\mu\text{m}$ 。

表 5-1 封装尺寸表

| Parameter                                 | Symbol | Nominal     | Min   | Max   | Nominal | Min   | Max   |
|---|--------|-------------|-------|-------|---------|-------|-------|
|   |        | Millimeters |       |       | Inches  |       |       |
| Package Body Dimension X                  | A      | 6.230       | 6.205 | 6.255 | 0.245   | 0.244 | 0.246 |
| Package Body Dimension Y                  | B      | 4.069       | 4.044 | 4.094 | 0.160   | 0.159 | 0.161 |
| Package Height                            | C      | 0.680       | 0.620 | 0.740 | 0.027   | 0.024 | 0.029 |
| Thickness from top glass surface to wafer | C3     | 0.345       | 0.325 | 0.365 | 0.014   | 0.013 | 0.014 |
| Glass Thickness                           | C4     | 0.300       | 0.290 | 0.310 | 0.012   | 0.011 | 0.012 |
| Package Body Thickness                    | C2     | 0.530       | 0.495 | 0.565 | 0.021   | 0.019 | 0.022 |
| Ball Height                               | C1     | 0.150       | 0.120 | 0.180 | 0.006   | 0.005 | 0.007 |
| Ball Diameter                             | D      | 0.300       | 0.270 | 0.330 | 0.012   | 0.011 | 0.013 |
| Total Ball Count                          | N      | 41          | –     | –     | –       | –     | –     |
| Ball Count X axis                         | N1     | 7           | –     | –     | –       | –     | –     |
| Ball Count Y axis                         | N2     | 6           | –     | –     | –       | –     | –     |
| Pins Pitch X axis1                        | J1     | 0.730       | 0.720 | 0.740 | 0.029   | 0.028 | 0.029 |
| Pins Pitch Y axis1                        | J2     | 0.650       | 0.640 | 0.660 | 0.026   | 0.025 | 0.026 |
| Edge to Ball Center Distance along X      | S1     | 0.925       | 0.895 | 0.955 | 0.036   | 0.035 | 0.038 |
| Edge to Ball Center Distance along Y      | S2     | 0.410       | 0.380 | 0.440 | 0.016   | 0.015 | 0.017 |
| Edge to Ball Center Distance along X      | S3     | 0.925       | 0.895 | 0.955 | 0.036   | 0.035 | 0.038 |
| Edge to Ball Center Distance along Y      | S4     | 0.410       | 0.380 | 0.440 | 0.016   | 0.015 | 0.017 |

## 5.2. PLCC

SC2335 提供 48-pin PLCC 的封装，封装尺寸如下图所示。

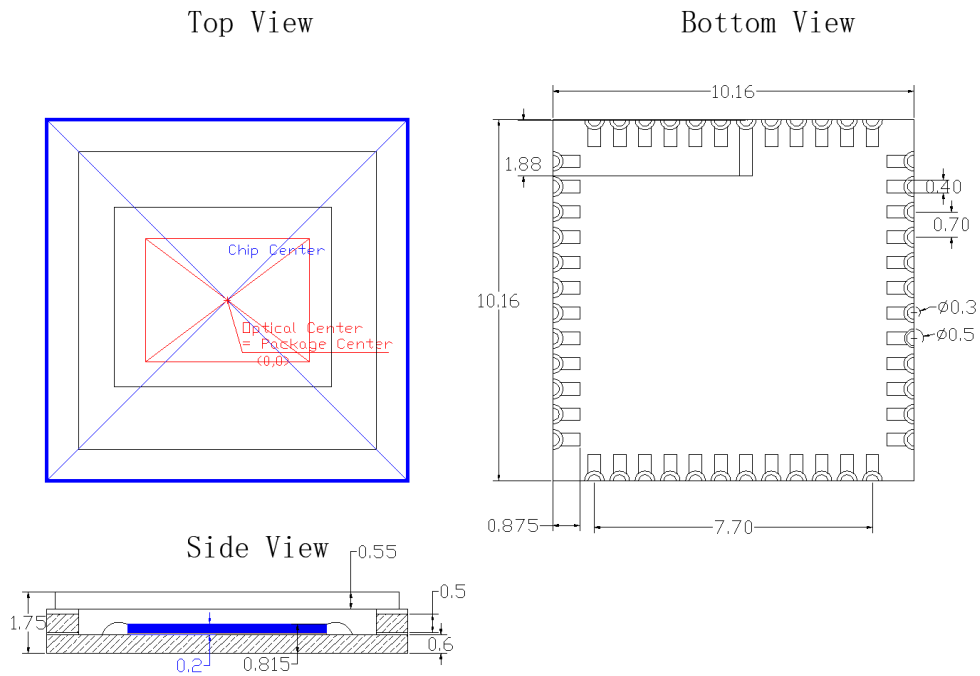


图 5-2 SC2335 封装示意图(PLCC)

注：芯片的 Package Center 与 Array Center (Optical Center)重合。其误差在 0.05mm 以内。

## 6. 订购信息

表 6-1 订购信息表

| 产品编号           | 封装形式        | 描述                                      |
|----------------|-------------|---|
| SC2335-CSBNN00 | 41-pin CSP  | 2.0Megapixel, RAW /RGB, DVP/MIPI output |
| SC2335-CPBNN00 | 48-pin PLCC | 2.0Megapixel, RAW /RGB, DVP/MIPI output |

## 7. 版本变更记录

| 版本  | 修改内容以及说明   | Owner and date        |
|-----|--|-----------------------|
| 0.1 | 初始版本   | Vicky Song/2019.12.27 |
| 0.2 | 更新工作温度范围为: -30°C ~+85°C  | Vicky Song/2020.1.8   |
| 0.3 | <ul style="list-style-type: none"><li>更新 PLCC 封装信息</li><li>添加订购信息</li></ul>  | Vicky Song/2020.2.7   |
| 0.4 | <ul style="list-style-type: none"><li>更新图 5-2: 标注 sensor 到 PCB 底部距离</li><li>因 AGND 和 DOGND 分开, 因此更新表 1-1 及图 1-3 对应引脚</li></ul> | Vicky Song/2020.2.25  |
| 0.5 | <ul style="list-style-type: none"><li>更新表 2-2 最小及最大曝光时间</li><li>删除 AEC 章节的一行曝光时间计算方法, 并优化描述</li></ul>                          | Vicky Song/2020.3.3   |
| 0.6 | 增加 PLCC 订购料号   | Vicky Song/2020.4.21  |

**联系我们：**

**总部：**

地址：上海市徐汇区宜山路 1009 号 11 楼

电话：021-64853570

传真：021-64853570-8009

邮箱：[sales@smartsensotech.com](mailto:sales@smartsensotech.com)

网址：<http://www.smartsensotech.com>

**美国分公司：**

地址：4340 Stevens Creek Blvd. Suite 280, San Jose, CA 95129,

电话：+1 (408) 981-6626

**深圳分公司：**

地址：深圳市龙岗区坂田街道五和大道南星河 WORLD B 座 2908

电话：0755-23739713

**思特威技术支持邮箱：**

[support@smartsensotech.com](mailto:support@smartsensotech.com)