



SMARTSENS

SmartSens™

SC500AI 数据手册

V0.7

2022.10.12

■ 应用领域

- ◆ 智能家用摄像头
- ◆ 安防监控系统
- ◆ 可移动设备相机
- ◆ 视频电话会议设备

■ 产品特性

- ◆ 高动态范围
 - 行交叠双重曝光宽动态
- ◆ 高灵敏度
- ◆ 高信噪比
- ◆ 像素双转换增益
- ◆ 优异高温性能
- ◆ 高色彩还原度
- ◆ 低功耗
- ◆ 动态 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
- ◆ I2C 接口寄存器编程

■ 关键参数（典型值）

参数	描述
分辨率	500 万
像素阵列	2888H x 1628V
像素尺寸	2.0 μm x 2.0 μm
镜头光学尺寸	1/2.7"
最大图像传输速率	2880H x 1620V@60fps 10bit
输出接口	8/10-bit 1/2/4Lane MIPI
输出格式	RAW RGB
CRA	15°
灵敏度	3628 mV/lux · s
动态范围	线性模式: 79 dB 宽动态模式: >100 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	AVDD = 2.8V \pm 0.1V, DVDD=1.2V \pm 0.1V (30fps)/DVDD=1.5V \pm 0.1V (60fps/30fps), DOVDD = 1.8V \pm 0.1V
封装尺寸	CSP, 6.453 mm x 4.263 mm, 41-pin
ESD 等级	HBM: Classification 3A CDM: Classification C3

目录

目录	3
图片索引	4
表格索引	5
1. 系统描述	6
1.1. 芯片概述	6
1.2. 系统框架	6
1.3. 引脚描述	8
1.4. 芯片初始化	10
1.4.1. 上电时序	10
1.4.2. 睡眠模式	10
1.4.3. 复位模式	11
1.5. 配置接口	11
1.6. SENSOR ID	14
1.7. 数据接口	14
1.7.1. MIPI	14
1.8. 锁相环	18
2. 功能介绍	19
2.1. SLAVE MODE	19
2.2. 宽动态	21
2.2.1. 行交叠 HDR	21
2.3. AEC/AGC	23
2.3.1. AEC/AGC 的控制策略	23
2.3.2. AEC 控制寄存器说明	24
2.3.3. AGC 控制寄存器说明	24
2.4. GROUP HOLD	34
2.5. DPC	34
2.6. 视频输出模式	35
2.6.1. 读取顺序	35
2.6.2. 输出窗口	36
2.7. 帧率计算	37
2.8. 测试模式	37
3. 电气特性	38
4. 光学特性	40
4.1. QE 曲线	40
4.2. 主光线入射角 (CRA)	40
5. 封装信息	41
6. 订购信息	43
7. 版本变更记录	44

图片索引

图 1-1 结构图	6
图 1-2 典型应用示意图	7
图 1-3 封装引脚图	9
图 1-4 上电时序图	10
图 1-5 I ² C 接口时序	13
图 1-6 MIPI 接口示意图	14
图 1-7 MIPI 底层数据包示意图	15
图 1-8 MIPI 长/短数据包结构示意图	15
图 1-9 MIPI 1/2/4lane 模式数据包传输示意图	16
图 1-10 MIPI 数据包 DI 结构	16
图 1-11 PLL 控制示意图	18
图 2-1 Slave Mode 时序图	19
图 2-2 Slave Mode 曝光实现图	20
图 2-3 行交叠 HDR 使用 virtual channel 数据读出时序	21
图 2-4 行交叠 HDR 不使用 virtual channel 时，数据模式 a 读出时序	21
图 2-5 行交叠 HDR 不使用 virtual channel 时，数据模式 b 的读出时序	22
图 2-6 像素阵列图一	35
图 2-7 像素阵列图二	35
图 2-8 镜像和倒置实例	36
图 2-9 测试模式	37
图 3-1 外部时钟 (EXTCLK) 波形图	39
图 4-1 QE 曲线	40
图 4-2 CRA Curve	40
图 5-1 封装示意图	41

表格索引

表 1-1 Pin 脚描述	8
表 1-2 睡眠模式控制寄存器	11
表 1-3 软复位控制寄存器	11
表 1-4 I ² C 设备地址控制	11
表 1-5 I ² C 接口时序详细参数	13
表 1-6 SENSOR ID 寄存器	14
表 1-7 MIPI 数据类型	17
表 1-8 MIPI 调整寄存器	17
表 2-1 Slave mode 控制寄存器	20
表 2-2 HDR 控制寄存器	22
表 2-3 曝光的手动控制寄存器	24
表 2-4 增益寄存器控制	24
表 2-5 模拟 gain 值控制寄存器	25
表 2-6 数字 gain 值控制寄存器	29
表 2-7 Group hold 控制寄存器	34
表 2-8 DPC 控制寄存器	34
表 2-9 镜像和倒置模式控制寄存器	36
表 2-10 输出窗口寄存器	36
表 2-11 帧率相关寄存器	37
表 2-12 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	41
表 6-1 订购信息表	43

1. 系统描述

1.1. 芯片概述

SC500AI 是监控相机领域先进的数字 CMOS 图像传感器，最高支持 2880H x 1620V@ 60fps 的传输速率。SC500AI 输出 raw 格式图像，有效像素窗口为 2888H x 1628V，支持复杂的片上操作——例如窗口化、水平镜像、垂直倒置等。

SC500AI 可以通过标准的 I²C 接口读写寄存器。

SC500AI 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 SC500AI 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。

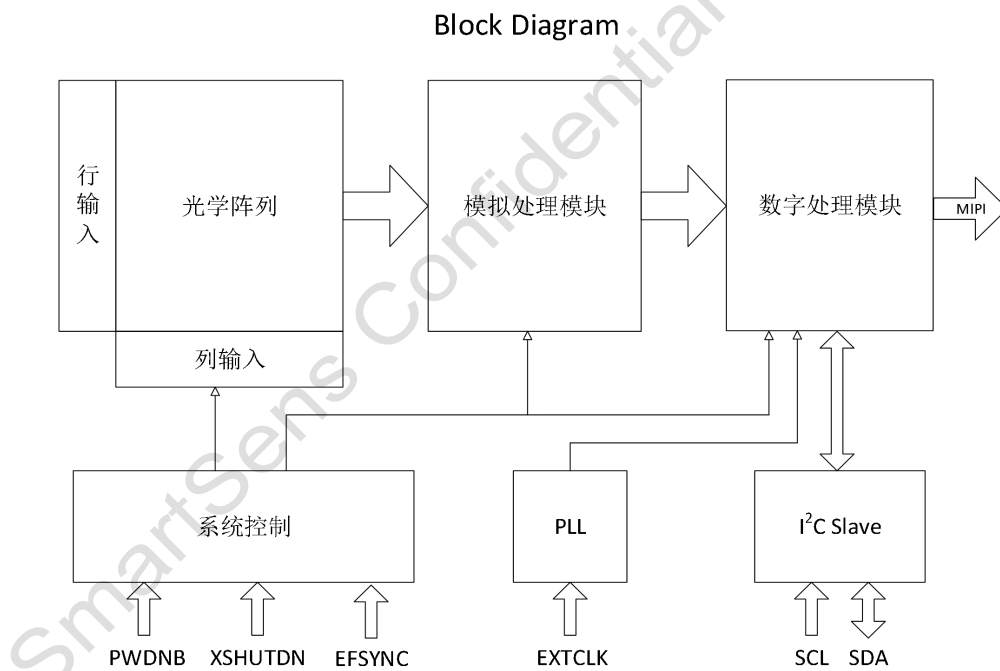


图 1-1 结构图

SC500AI 支持 MIPI 接口:

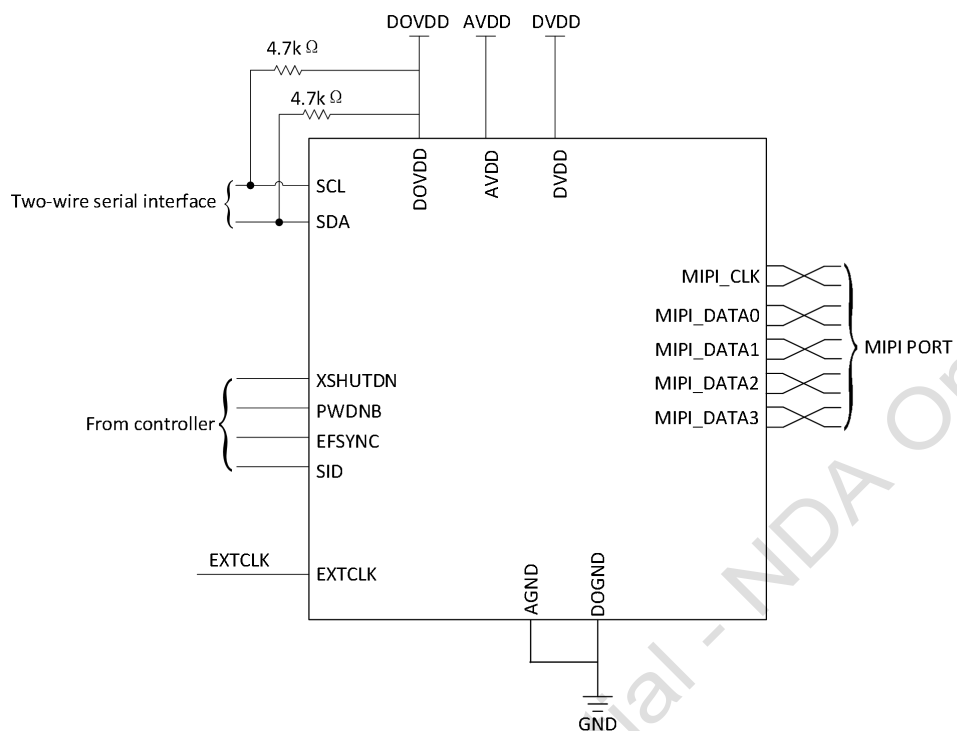


图 1-2 典型应用示意图

1.3. 引脚描述

下表列出了 SC500AI 图像传感器的引脚信息及相关描述。

表 1-1 Pin 脚描述

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	NC	-	-
3	A3	SCL	输入	I ² 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 ² C Device ID（内置下拉电阻，默认为低电位，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 输出时作为帧同步信号
10	B3	SDA	输入/输出	I ² C 数据线(open drain)
11	B5	DVDD	电源	1.2V/1.5V 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/1.5V 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	MD2P	输出	MIPI 数据 2 正极信号
19	C6	NC	-	-
20	C7	AVDD	电源	2.8V 模拟电源
21	D1	DOGND	地线	I/O 地
22	D2	DOGND	地线	I/O 地
23	D3	MD3P	输出	MIPI 数据 3 正极信号
24	D4	DOVDD	电源	1.8V I/O 电源
25	D5	MD2N	输出	MIPI 数据 2 负极信号
26	D6	DVDD	电源	1.2V/1.5V 数字电源
27	D7	VREFN	输出	内部参考电压（外接电容至 AGND）
28	E1	NC	-	-
29	E2	DOVDD	电源	1.8V I/O 电源
30	E3	MD1N	输出	MIPI 数据 1 负极信号
31	E4	MCN	输出	MIPI 时钟负极信号
32	E5	MD0P	输出	MIPI 数据 0 正极信号

序号	编号	信号名	引脚类型	描述
33	E6	DOGND	地线	I/O 地
34	E7	VREFH	输出	内部参考电压（外接电容至 AGND）
35	F1	NC	-	-
36	F2	MD3N	输出	MIPI 数据 3 负极信号
37	F3	MD1P	输出	MIPI 数据 1 正极信号
38	F4	MCP	输出	MIPI 时钟正极信号
39	F5	MD0N	输出	MIPI 数据 0 负极信号
40	F6	DOGND	地线	I/O 地
41	F7	VREFN2	输出	内部参考电压（外接电容至 AGND）

Top View

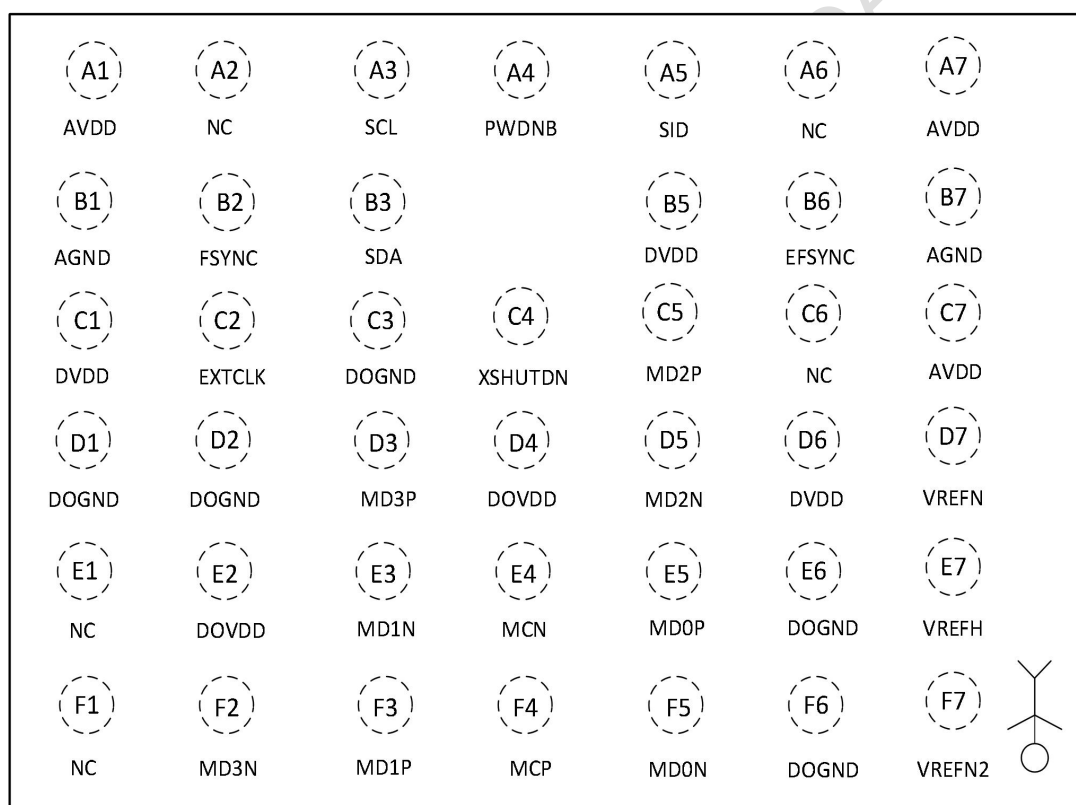


图 1-3 封装引脚图

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。

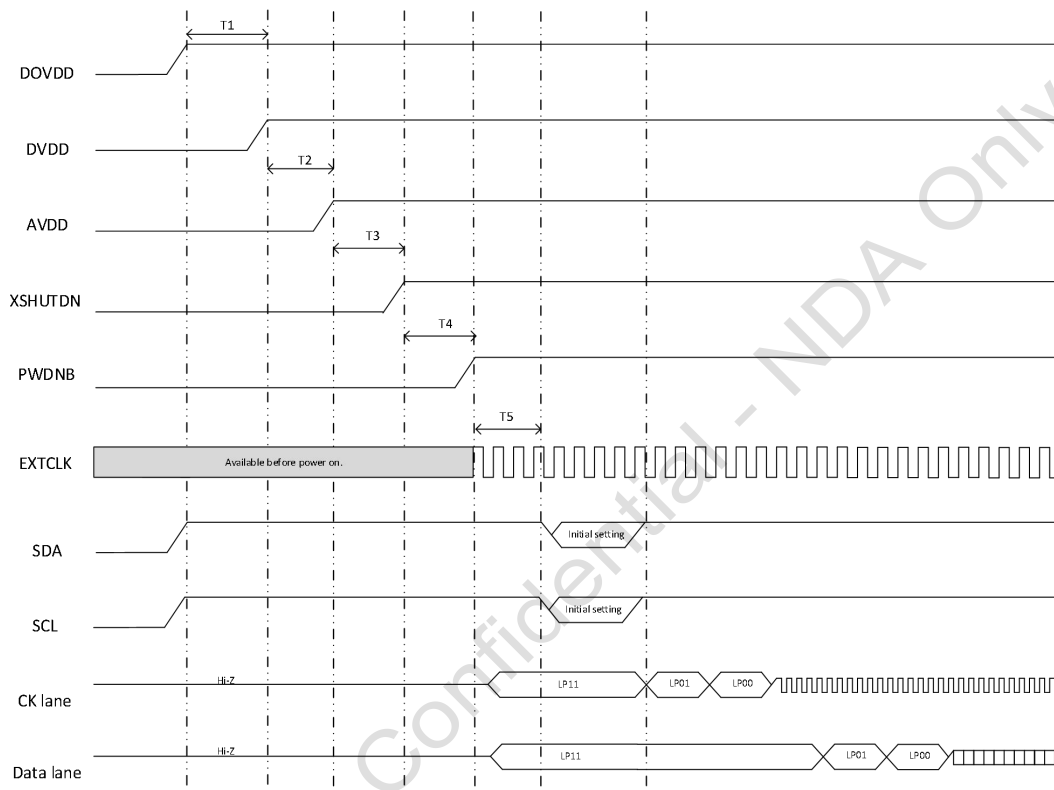


图 1-4 上电时序图

注：T1≥0ms，T2≥0ms，T3≥0ms，T4≥0ms，T5≥4ms。

1.4.2. 睡眠模式

睡眠模式下，SC500AI 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。SC500AI 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 1-2 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 1 ~ sleep mode disable 0 ~ sleep mode enable

1.4.3. 复位模式

复位模式下，SC500AI 停止输出图像数据流，工作在低功耗状态，重置所有寄存器，SC500AI 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 1-3 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

SC500AI 提供标准的 I²C 总线配置接口对寄存器进行读写，I²C 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 1-4 I²C 设备地址控制

7-bit I ² 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

S	Slave Address	R/W	A	Sub Address [15:8]	A	Sub Address [7:0]	A	data	A/ \bar{A}	P
---	---------------	-----	---	--------------------	---	-------------------	---	------	--------------	---

I²C Write

S	Slave Address	0	A	Sub Address [15:8]	A	Sub Address [7:0]	A	data	A/ \bar{A}	P
---	---------------	---	---	--------------------	---	-------------------	---	------	--------------	---

I²C Read

S	Slave Address	0	A	Sub Address [15:8]	A	Sub Address [7:0]	A	Sr	Slave Address	1	A	data	\bar{A}	P
---	---------------	---	---	--------------------	---	-------------------	---	----	---------------	---	---	------	-----------	---



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

I²C 时序

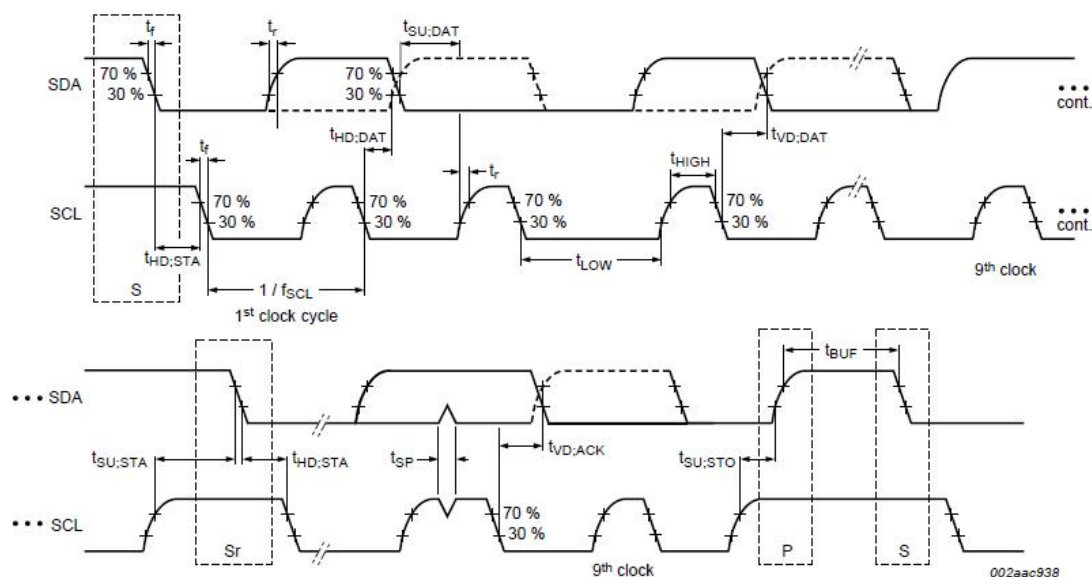


图 1-5 I²C 接口时序

表 1-5 I²C 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	-	μs
t_{LOW}	LOW period of the SCL clock	4.7	-	1.3	-	μs
t_{HIGH}	HIGH period of the SCL clock	4.0	-	0.6	-	μs
$t_{SU,STA}$	set-up time for a repeated START condition	4.7	-	0.6	-	μs
$t_{HD,DAT}$	data hold time	0	-	0	-	μs
$t_{SU,DAT}$	data set-up time	250	-	100	-	ns
t_r	rise time of both SDA and SCL signals	-	1000	-	300	ns
t_f	fall time of both SDA and SCL signals	-	300	-	300	ns
$t_{SU,STO}$	set-up time for STOP condition	4.0	-	0.6	-	μs
t_{BUF}	bus free time between a STOP and START condition	4.7	-	1.3	-	μs
$t_{VD,DAT}$	data valid time	-	3.45	-	0.9	μs
$t_{VD,ACK}$	data valid acknowledge time	-	3.45	-	0.9	μs
t_{SP}	pulse width of spikes that must be suppressed by the input filter	-	-	0	50	ns

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 1-6 SENSOR ID 寄存器

功能	寄存器地址	默认值	描述
SENSOR ID 高位	16'h3107	8'hce	SENSOR ID[15:8]
SENSOR ID 低位	16'h3108	8'h1f	SENSOR ID[7:0]

1.7. 数据接口

1.7.1. MIPI

SC500AI 提供串行视频端口（MIPI）。SC500AI MIPI 接口支持 8/10bit, 1/2/4lane 串行输出，传输速率推荐不大于 1.0Gbps。MIPI 数据接口示意图如下图所示。

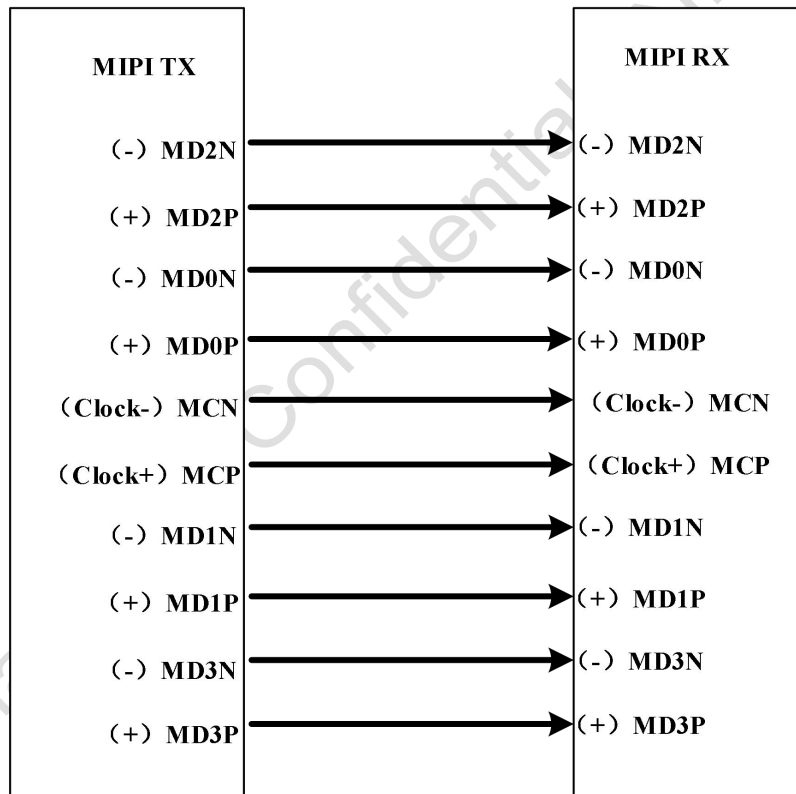


图 1-6 MIPI 接口示意图

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。

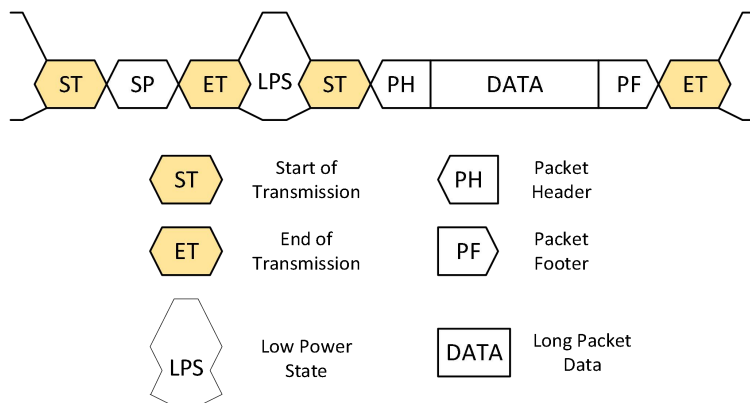


图 1-7 MIPI 底层数据包示意图

图 1-8 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 1-9 展示了 MIPI 工作在 1lane、2lane 和 4lane 模式下的数据包传输示意图。图 1-10 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 值如表 1-7 所示。

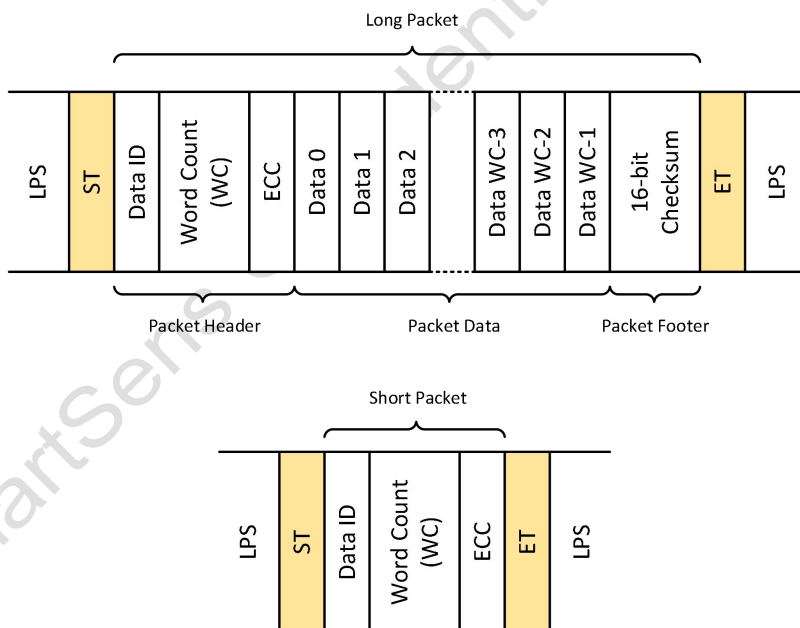


图 1-8 MIPI 长/短数据包结构示意图

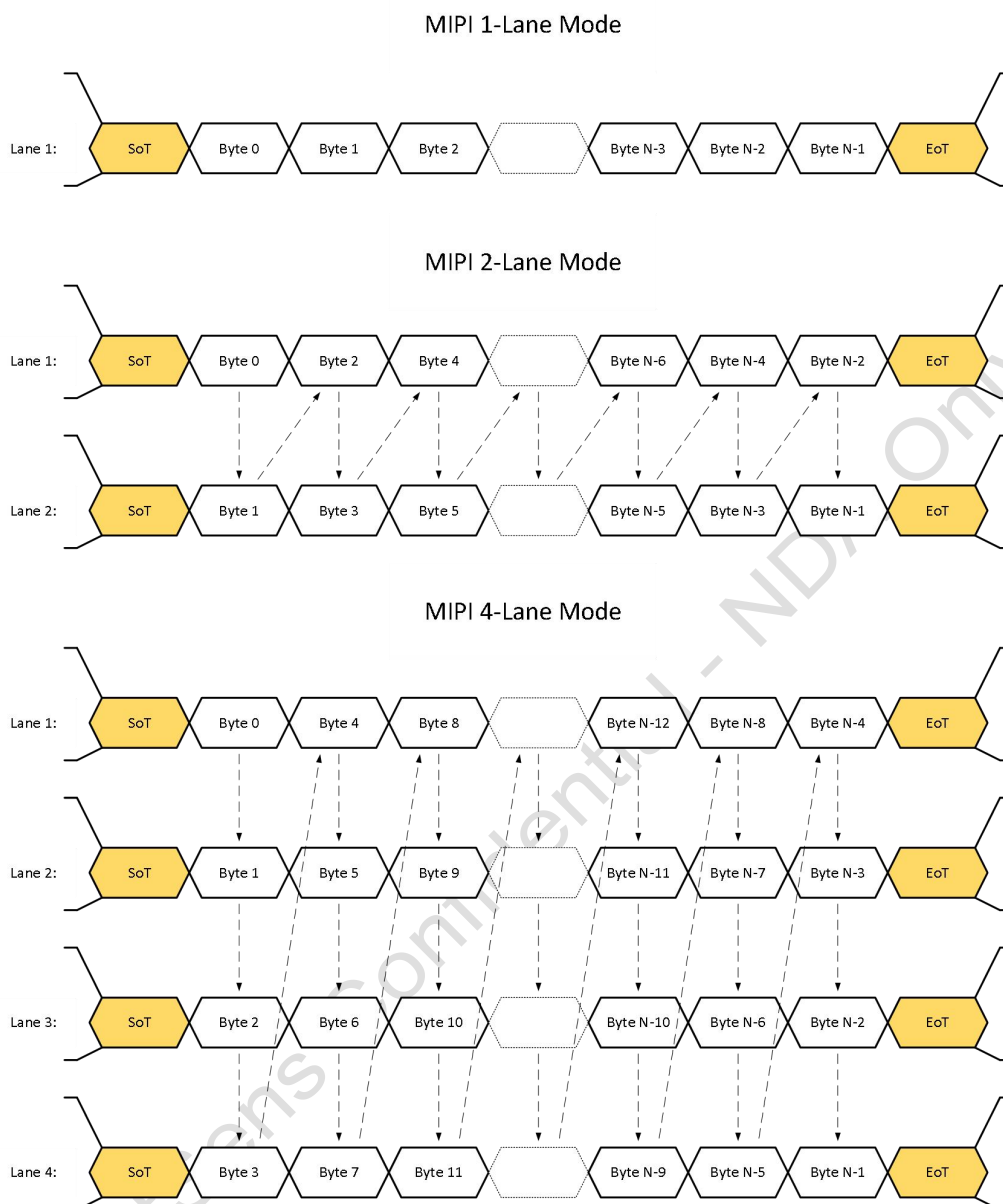


图 1-9 MIPI 1/2/4lane 模式数据包传输示意图

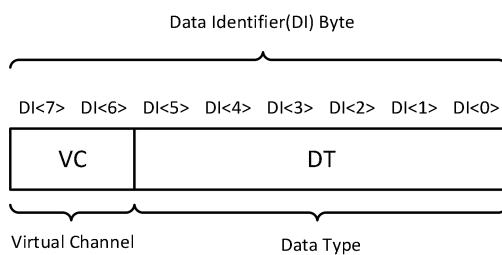


图 1-10 MIPI 数据包 DI 结构

表 1-7 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 1-8 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 3'h0~ 1 lane mode 3'h1~ 2 lane mode 3'h3~ 4 lane mode
MIPI 输出数据模式	16'h3031	8'h0a	Bit[3:0]: MIPI bit mode 4'h8~ raw8 mode 4'ha~ raw10 mode
PHY 数据模式	16'h3037	8'h20	Bit[6:5]: phy bit mode 2'h0~ 8bit mode 2'h1~ 10bit mode
MIPI clock 设置	16'h303f	8'h01	Bit[7]: pclk sel 1'h0~ sel MIPI_pclk 1'b1~ sel DVP_pclk
MIPI 数据使能	16'h4603	8'h00	Bit[0]: MIPI read 1'h1~ disable 1'h0~ enable
MIPI LP 驱动	16'h3650	8'h31	Bit[1:0]:MIPI LP 驱动能力调整, 默认 2'h1
MIPI HS 驱动	16'h3651	8'h7d	Bit[3:0]:MIPI HS 驱动能力调整, 默认 4'hd
MIPI Lane 0 延时	16'h3652	8'h00	Bit[3]: lane0 相位反向, 默认 1'h0 Bit[2:0]: lane0 延时, 40ps/step, 默认 3'h0
MIPI Lane 1 延时	16'h3652	8'h00	Bit[7]: lane1 相位反向, 默认 1'h0 Bit[6:4]: lane1 延时, 40ps/step, 默认 3'h0
MIPI Lane 2 延时	16'h3653	8'h00	Bit[3]: lane2 相位反向, 默认 1'h0 Bit[2:0]: lane2 延时, 40ps/step, 默认 3'h0
MIPI Lane 3 延时	16'h3653	8'h00	Bit[7]: lane3 相位反向, 默认 1'h0 Bit[6:4]: lane3 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 Bit[2:0]: 时钟延时, 40ps/step, 默认 3'h0

1.8. 锁相环

SC500AI 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。

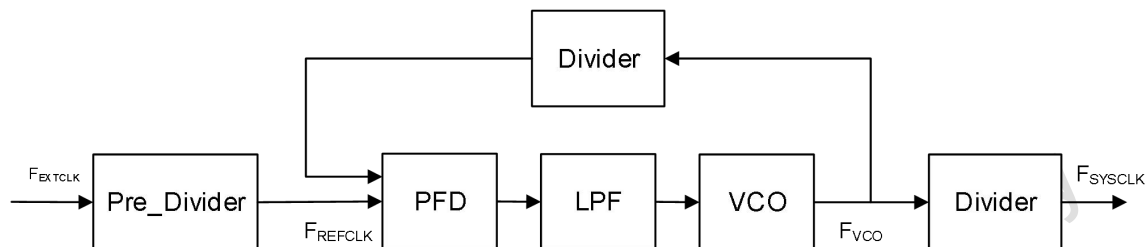


图 1-11 PLL 控制示意图

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 SC500AI 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，具体时序如下图所示。

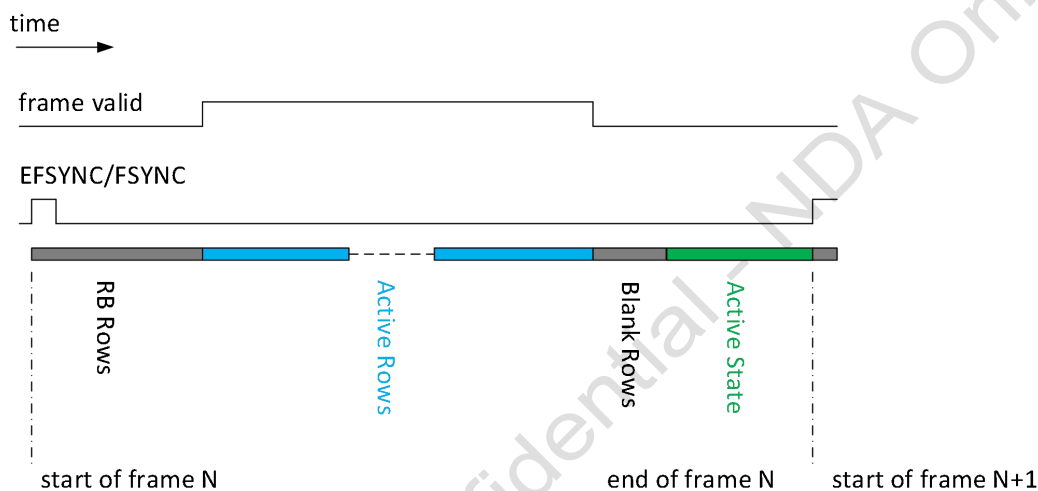


图 2-1 Slave Mode 时序图

Slave Mode 工作流程：

- 1) 当 SC500AI 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 SC500AI 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。
SC500AI Slave mode 下的曝光实现如下图所示。

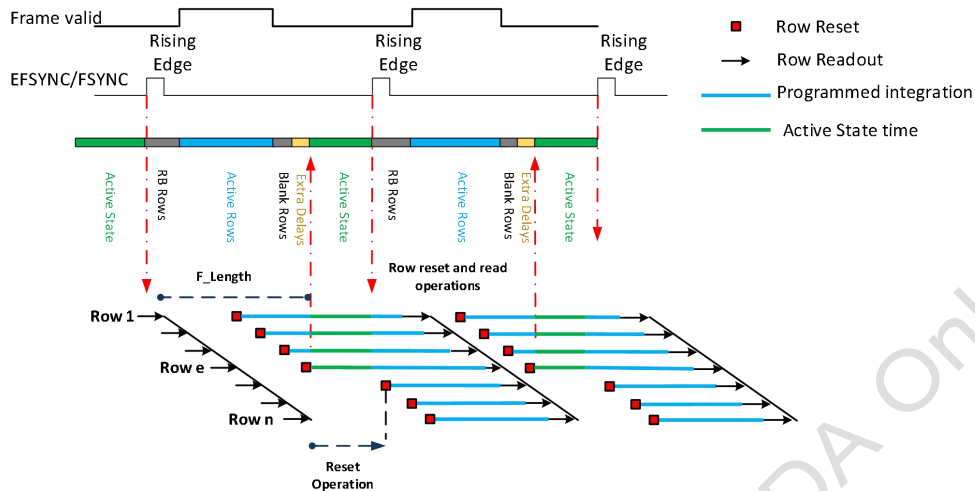


图 2-2 Slave Mode 曝光实现图

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 1~slave mode 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 1~sel FSYNC 0~sel EFSYNC
FSYNC OEN	16'h300a	8'h20	Bit[2]:FSYNC output en 1~ FSYNC as output PAD 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	-	-	Active Rows + Blank Rows= VTS – RB Rows

功能	寄存器地址	默认值	描述
VTS	{16'h320e,16'h320f}	16'h0672	帧长

2.2. 宽动态

宽动态（HDR）是指通过把两帧相同场景、不同曝光时间的图片合成一帧，从而提高图像的动态范围。SC500AI 支持行交叠 HDR。

2.2.1. 行交叠 HDR

SC500AI 行交叠 HDR 是指两种不同长短曝光时间的图像在帧内逐行交替输出。SC500AI 行交叠 HDR 的优势是同一像素的长短曝光时间间隔短，这样进行 HDR 合成时，可以一定程度上避免合成带来的拖尾现象。SC500AI 行交叠 HDR 是通过不同曝光实现的，具有噪声小的优势。

SC500AI 可以通过 MIPI 接口的 virtual channel 来区分长短曝光数据，默认长曝光的 virtual channel 为 2'b00，默认短曝光的 virtual channel 为 2'b01。

SC500AI 行交叠 HDR 使用 virtual channel 数据读出时序如下图所示。

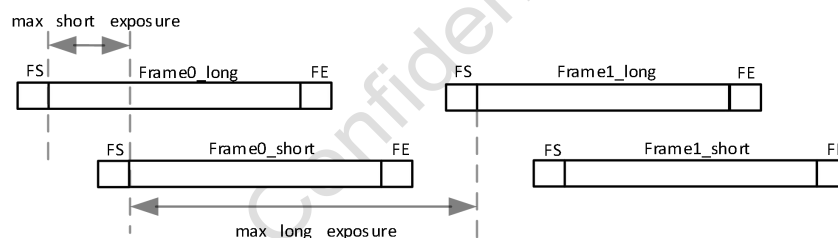


图 2-3 行交叠 HDR 使用 virtual channel 数据读出时序

SC500AI 也可不通过 virtual channel 区分长短曝光数据，通过长短曝光数据读出行偏差来区分。这其中，又分为两种模式，模式 a 与模式 b。模式 a 时，长短曝光数据只输出有效行；模式 b 时，长短曝光数据插入无效（dummy）行数据。

SC500AI 行交叠 HDR 不使用 virtual channel 时，数据模式 a 的读出时序如下图所示。

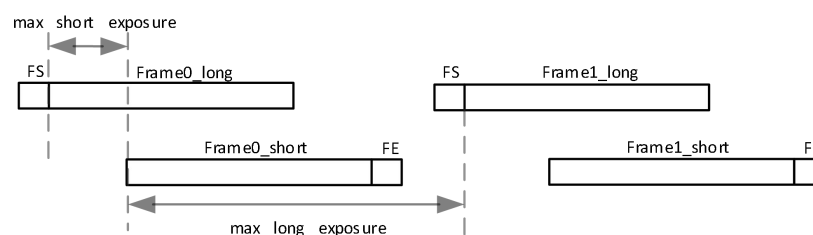


图 2-4 行交叠 HDR 不使用 virtual channel 时，数据模式 a 读出时序

注:

- 1) 长曝光数据和短曝光数据按行交替输出, 先输出 max short exposure/2 行长曝光数据, 然后长曝光数据、短曝光数据按行交替输出, 最后输出 max short exposure/2 行短曝光数据。
- 2) max long exposure=帧长({16'h320e,16'h320f})-max short exposure。

SC500AI 行交叠 HDR 不使用 virtual channel 时, 数据模式 b 的读出时序图如下图所示。

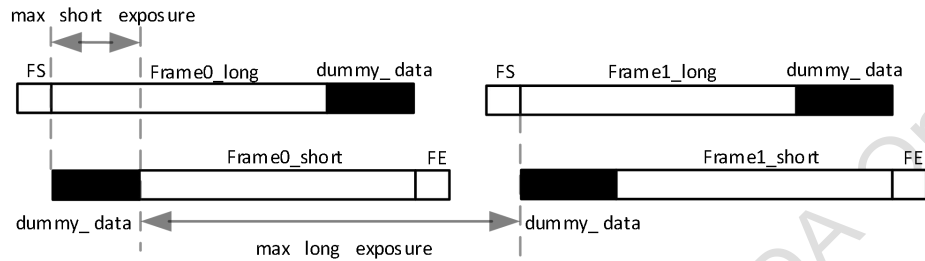


图 2-5 行交叠 HDR 不使用 virtual channel 时, 数据模式 b 的读出时序

表 2-2 HDR 控制寄存器

功能	寄存器地址	默认值	描述
HDR mode enable	16'h3220	8'h13	Bit[6]: HDR mode 使能控制 1~HDR mode enable 0~HDR mode disable
MAX short exposure	{16'h3e23,16'h3e24}	16'h013e	Max short exposure
VC(Virtual Channel)	16'h4853	8'hff	Bit[3][1]: hdr_vc_en 2'b10~hdr vc mode enable 2'b00~hdr vc mode disable
VC_L(Virtual Channel)	16'h4814	8'h2a	Bit[7:6]: vc_l In HDR mode, vc_l is long frame vc In non-HDR mode, vc_l is normal vc
VC_S(Virtual Channel)	16'h4854	8'heb	Bit[1:0]: vc_s In HDR mode, vc_s is short frame vc In non-HDR mode, vc_s is reserved

2.3. 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。

2.3.1. AEC/AGC 的控制策略

SC500AI 本身没有 AEC/AGC 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，在调试时，应该综合考虑。

2.3.2. AEC 控制寄存器说明

AEC 的控制寄存器如下表所示。

表 2-3 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
长曝光时间	{16'h3e00[3:0] 16'h3e01[7:0], 16'h3e02[7:4]}	线性模式下手动曝光时间，寄存器值以半行为单位	1	3	$2^*\{16'h320e, 16'h320f\} - 'd10$
		行交叠 HDR 模式下的长曝光时间，寄存器值以半行为单位	4	5	$2^*\{16'h320e, 16'h320f\} - 2^*\{16'h3e23, 16'h3e24\} - 'd18$
短曝光时间	{16'h3e22[3:0] 16'h3e04[7:0], 16'h3e05[7:4]}	行交叠 HDR 模式下手动短曝光时间，寄存器值以半行为单位	4	5	$2^*\{16'h3e23, 16'h3e24\} - 'd14$

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 2.7 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。行交叠 HDR 模式下建议长曝光数据的曝光时间及增益在长曝光数据帧开始之后写入，短曝光数据的曝光时间及增益在短曝光数据帧开始之后写入。

2.3.3. AGC 控制寄存器说明

AGC 的控制寄存器如下表所示。

表 2-4 增益寄存器控制

模式	ANA GAIN register	ANA FINE GAIN register	DIG GAIN register	DIG FINE GAIN register
线性模式/HDR 模式 长曝光	16'h3e08	16'h3e09	16'h3e06	16'h3e07
HDR 模式短曝光	16'h3e12	16'h3e13	16'h3e10	16'h3e11

SC500AI 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 2-5 所示，数字 gain 值如表 2-6 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。SC500AI 的 DIG FINE GAIN 的精度为 1/128，表 2-6 以 1/64 的精度为例，列出了 DIG FINE GAIN 的控制方法。

表 2-5 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'h23	8'h44	1.611	4.14
8'h03	8'h41	1.016	0.13	8'h23	8'h45	1.634	4.27
8'h03	8'h42	1.031	0.27	8'h23	8'h46	1.658	4.39
8'h03	8'h43	1.047	0.40	8'h23	8'h47	1.682	4.52
8'h03	8'h44	1.063	0.53	8'h23	8'h48	1.706	4.64
8'h03	8'h45	1.078	0.65	8'h23	8'h49	1.729	4.76
8'h03	8'h46	1.094	0.78	8'h23	8'h4A	1.753	4.88
8'h03	8'h47	1.109	0.90	8'h23	8'h4B	1.777	4.99
8'h03	8'h48	1.125	1.02	8'h23	8'h4C	1.800	5.11
8'h03	8'h49	1.141	1.14	8'h23	8'h4D	1.824	5.22
8'h03	8'h4A	1.156	1.26	8'h23	8'h4E	1.848	5.33
8'h03	8'h4B	1.172	1.38	8'h23	8'h4F	1.871	5.44
8'h03	8'h4C	1.188	1.49	8'h23	8'h50	1.895	5.55
8'h03	8'h4D	1.203	1.61	8'h23	8'h51	1.919	5.66
8'h03	8'h4E	1.219	1.72	8'h23	8'h52	1.942	5.77
8'h03	8'h4F	1.234	1.83	8'h23	8'h53	1.966	5.87
8'h03	8'h50	1.250	1.94	8'h23	8'h54	1.990	5.98
8'h03	8'h51	1.266	2.05	8'h23	8'h55	2.013	6.08
8'h03	8'h52	1.281	2.15	8'h23	8'h56	2.037	6.18
8'h03	8'h53	1.297	2.26	8'h23	8'h57	2.061	6.28
8'h03	8'h54	1.313	2.36	8'h23	8'h58	2.085	6.38
8'h03	8'h55	1.328	2.46	8'h23	8'h59	2.108	6.48
8'h03	8'h56	1.344	2.57	8'h23	8'h5A	2.132	6.58
8'h03	8'h57	1.359	2.67	8'h23	8'h5B	2.156	6.67
8'h03	8'h58	1.375	2.77	8'h23	8'h5C	2.179	6.77
8'h03	8'h59	1.391	2.86	8'h23	8'h5D	2.203	6.86
8'h03	8'h5A	1.406	2.96	8'h23	8'h5E	2.227	6.95
8'h03	8'h5B	1.422	3.06	8'h23	8'h5F	2.250	7.04
8'h03	8'h5C	1.438	3.15	8'h23	8'h60	2.274	7.14
8'h03	8'h5D	1.453	3.25	8'h23	8'h61	2.298	7.23
8'h03	8'h5E	1.469	3.34	8'h23	8'h62	2.321	7.31
8'h03	8'h5F	1.484	3.43	8'h23	8'h63	2.345	7.40
8'h03	8'h60	1.500	3.52	8'h23	8'h64	2.369	7.49
8'h23	8'h40	1.516	3.61	8'h23	8'h65	2.392	7.58
8'h23	8'h41	1.540	3.75	8'h23	8'h66	2.416	7.66
8'h23	8'h42	1.563	3.88	8'h23	8'h67	2.440	7.75
8'h23	8'h43	1.587	4.01	8'h23	8'h68	2.464	7.83

ANA GAIN	ANA FINE GAIN	GAIN Value	dB Value	ANA GAIN	ANA FINE GAIN	GAIN Value	dB Value
8'h23	8'h69	2.487	7.91	8'h27	8'h4F	3.743	11.46
8'h23	8'h6A	2.511	8.00	8'h27	8'h50	3.790	11.57
8'h23	8'h6B	2.535	8.08	8'h27	8'h51	3.837	11.68
8'h23	8'h6C	2.558	8.16	8'h27	8'h52	3.885	11.79
8'h23	8'h6D	2.582	8.24	8'h27	8'h53	3.932	11.89
8'h23	8'h6E	2.606	8.32	8'h27	8'h54	3.980	12.00
8'h23	8'h6F	2.629	8.40	8'h27	8'h55	4.027	12.10
8'h23	8'h70	2.653	8.47	8'h27	8'h56	4.074	12.20
8'h23	8'h71	2.677	8.55	8'h27	8'h57	4.122	12.30
8'h23	8'h72	2.700	8.63	8'h27	8'h58	4.169	12.40
8'h23	8'h73	2.724	8.70	8'h27	8'h59	4.216	12.50
8'h23	8'h74	2.748	8.78	8'h27	8'h5A	4.264	12.60
8'h23	8'h75	2.771	8.85	8'h27	8'h5B	4.311	12.69
8'h23	8'h76	2.795	8.93	8'h27	8'h5C	4.359	12.79
8'h23	8'h77	2.819	9.00	8'h27	8'h5D	4.406	12.88
8'h23	8'h78	2.843	9.07	8'h27	8'h5E	4.453	12.97
8'h23	8'h79	2.866	9.15	8'h27	8'h5F	4.501	13.07
8'h23	8'h7A	2.890	9.22	8'h27	8'h60	4.548	13.16
8'h23	8'h7B	2.914	9.29	8'h27	8'h61	4.595	13.25
8'h23	8'h7C	2.937	9.36	8'h27	8'h62	4.643	13.34
8'h23	8'h7D	2.961	9.43	8'h27	8'h63	4.690	13.42
8'h23	8'h7E	2.985	9.50	8'h27	8'h64	4.738	13.51
8'h23	8'h7F	3.008	9.57	8'h27	8'h65	4.785	13.60
8'h27	8'h40	3.032	9.63	8'h27	8'h66	4.832	13.68
8'h27	8'h41	3.079	9.77	8'h27	8'h67	4.880	13.77
8'h27	8'h42	3.127	9.90	8'h27	8'h68	4.927	13.85
8'h27	8'h43	3.174	10.03	8'h27	8'h69	4.974	13.93
8'h27	8'h44	3.222	10.16	8'h27	8'h6A	5.022	14.02
8'h27	8'h45	3.269	10.29	8'h27	8'h6B	5.069	14.10
8'h27	8'h46	3.316	10.41	8'h27	8'h6C	5.117	14.18
8'h27	8'h47	3.364	10.54	8'h27	8'h6D	5.164	14.26
8'h27	8'h48	3.411	10.66	8'h27	8'h6E	5.211	14.34
8'h27	8'h49	3.458	10.78	8'h27	8'h6F	5.259	14.42
8'h27	8'h4A	3.506	10.90	8'h27	8'h70	5.306	14.50
8'h27	8'h4B	3.553	11.01	8'h27	8'h71	5.353	14.57
8'h27	8'h4C	3.601	11.13	8'h27	8'h72	5.401	14.65
8'h27	8'h4D	3.648	11.24	8'h27	8'h73	5.448	14.72
8'h27	8'h4E	3.695	11.35	8'h27	8'h74	5.496	14.80

ANA GAIN	ANA FINE GAIN	GAIN Value	dB Value	ANA GAIN	ANA FINE GAIN	GAIN Value	dB Value
8'h27	8'h75	5.543	14.87	8'h2F	8'h5B	8.622	18.71
8'h27	8'h76	5.590	14.95	8'h2F	8'h5C	8.717	18.81
8'h27	8'h77	5.638	15.02	8'h2F	8'h5D	8.812	18.90
8'h27	8'h78	5.685	15.09	8'h2F	8'h5E	8.907	18.99
8'h27	8'h79	5.732	15.17	8'h2F	8'h5F	9.001	19.09
8'h27	8'h7A	5.780	15.24	8'h2F	8'h60	9.096	19.18
8'h27	8'h7B	5.827	15.31	8'h2F	8'h61	9.191	19.27
8'h27	8'h7C	5.875	15.38	8'h2F	8'h62	9.286	19.36
8'h27	8'h7D	5.922	15.45	8'h2F	8'h63	9.380	19.44
8'h27	8'h7E	5.969	15.52	8'h2F	8'h64	9.475	19.53
8'h27	8'h7F	6.017	15.59	8'h2F	8'h65	9.570	19.62
8'h2F	8'h40	6.064	15.66	8'h2F	8'h66	9.665	19.70
8'h2F	8'h41	6.159	15.79	8'h2F	8'h67	9.759	19.79
8'h2F	8'h42	6.254	15.92	8'h2F	8'h68	9.854	19.87
8'h2F	8'h43	6.348	16.05	8'h2F	8'h69	9.949	19.96
8'h2F	8'h44	6.443	16.18	8'h2F	8'h6A	10.044	20.04
8'h2F	8'h45	6.538	16.31	8'h2F	8'h6B	10.138	20.12
8'h2F	8'h46	6.633	16.43	8'h2F	8'h6C	10.233	20.20
8'h2F	8'h47	6.727	16.56	8'h2F	8'h6D	10.328	20.28
8'h2F	8'h48	6.822	16.68	8'h2F	8'h6E	10.423	20.36
8'h2F	8'h49	6.917	16.80	8'h2F	8'h6F	10.517	20.44
8'h2F	8'h4A	7.012	16.92	8'h2F	8'h70	10.612	20.52
8'h2F	8'h4B	7.106	17.03	8'h2F	8'h71	10.707	20.59
8'h2F	8'h4C	7.201	17.15	8'h2F	8'h72	10.802	20.67
8'h2F	8'h4D	7.296	17.26	8'h2F	8'h73	10.896	20.75
8'h2F	8'h4E	7.391	17.37	8'h2F	8'h74	10.991	20.82
8'h2F	8'h4F	7.485	17.48	8'h2F	8'h75	11.086	20.90
8'h2F	8'h50	7.580	17.59	8'h2F	8'h76	11.181	20.97
8'h2F	8'h51	7.675	17.70	8'h2F	8'h77	11.275	21.04
8'h2F	8'h52	7.770	17.81	8'h2F	8'h78	11.370	21.12
8'h2F	8'h53	7.864	17.91	8'h2F	8'h79	11.465	21.19
8'h2F	8'h54	7.959	18.02	8'h2F	8'h7A	11.560	21.26
8'h2F	8'h55	8.054	18.12	8'h2F	8'h7B	11.654	21.33
8'h2F	8'h56	8.149	18.22	8'h2F	8'h7C	11.749	21.40
8'h2F	8'h57	8.243	18.32	8'h2F	8'h7D	11.844	21.47
8'h2F	8'h58	8.338	18.42	8'h2F	8'h7E	11.939	21.54
8'h2F	8'h59	8.433	18.52	8'h2F	8'h7F	12.033	21.61
8'h2F	8'h5A	8.528	18.62	8'h3F	8'h40	12.128	21.68

ANA GAIN	ANA FINE GAIN	GAIN Value	dB Value	ANA GAIN	ANA FINE GAIN	GAIN Value	dB Value
8'h3F	8'h41	12.318	21.81	8'h3F	8'h61	18.382	25.29
8'h3F	8'h42	12.507	21.94	8'h3F	8'h62	18.571	25.38
8'h3F	8'h43	12.697	22.07	8'h3F	8'h63	18.761	25.46
8'h3F	8'h44	12.886	22.20	8'h3F	8'h64	18.950	25.55
8'h3F	8'h45	13.076	22.33	8'h3F	8'h65	19.140	25.64
8'h3F	8'h46	13.265	22.45	8'h3F	8'h66	19.329	25.72
8'h3F	8'h47	13.455	22.58	8'h3F	8'h67	19.519	25.81
8'h3F	8'h48	13.644	22.70	8'h3F	8'h68	19.708	25.89
8'h3F	8'h49	13.834	22.82	8'h3F	8'h69	19.898	25.98
8'h3F	8'h4A	14.023	22.94	8'h3F	8'h6A	20.087	26.06
8'h3F	8'h4B	14.213	23.05	8'h3F	8'h6B	20.277	26.14
8'h3F	8'h4C	14.402	23.17	8'h3F	8'h6C	20.466	26.22
8'h3F	8'h4D	14.592	23.28	8'h3F	8'h6D	20.656	26.30
8'h3F	8'h4E	14.781	23.39	8'h3F	8'h6E	20.845	26.38
8'h3F	8'h4F	14.971	23.50	8'h3F	8'h6F	21.035	26.46
8'h3F	8'h50	15.160	23.61	8'h3F	8'h70	21.224	26.54
8'h3F	8'h51	15.350	23.72	8'h3F	8'h71	21.414	26.61
8'h3F	8'h52	15.539	23.83	8'h3F	8'h72	21.603	26.69
8'h3F	8'h53	15.729	23.93	8'h3F	8'h73	21.793	26.77
8'h3F	8'h54	15.918	24.04	8'h3F	8'h74	21.982	26.84
8'h3F	8'h55	16.108	24.14	8'h3F	8'h75	22.172	26.92
8'h3F	8'h56	16.297	24.24	8'h3F	8'h76	22.361	26.99
8'h3F	8'h57	16.487	24.34	8'h3F	8'h77	22.551	27.06
8'h3F	8'h58	16.676	24.44	8'h3F	8'h78	22.740	27.14
8'h3F	8'h59	16.866	24.54	8'h3F	8'h79	22.930	27.21
8'h3F	8'h5A	17.055	24.64	8'h3F	8'h7A	23.119	27.28
8'h3F	8'h5B	17.245	24.73	8'h3F	8'h7B	23.309	27.35
8'h3F	8'h5C	17.434	24.83	8'h3F	8'h7C	23.498	27.42
8'h3F	8'h5D	17.624	24.92	8'h3F	8'h7D	23.688	27.49
8'h3F	8'h5E	17.813	25.01	8'h3F	8'h7E	23.877	27.56
8'h3F	8'h5F	18.003	25.11	8'h3F	8'h7F	24.067	27.63
8'h3F	8'h60	18.192	25.20				

表 2-6 数字 gain 值控制寄存器

DIG GAIN	DIG FINE GAIN	GAIN Value	dB Value	DIG GAIN	DIG FINE GAIN	GAIN Value	dB 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 GAIN	DIG FINE GAIN	GAIN Value	dB Value	DIG GAIN	DIG FINE GAIN	GAIN Value	dB 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 GAIN	DIG FINE GAIN	GAIN Value	dB Value	DIG GAIN	DIG FINE GAIN	GAIN Value	dB 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 GAIN	DIG FINE GAIN	GAIN Value	dB Value	DIG GAIN	DIG FINE GAIN	GAIN Value	dB 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 GAIN	DIG FINE GAIN	GAIN Value	dB Value	DIG GAIN	DIG FINE GAIN	GAIN Value	dB 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

2.4. GROUP HOLD

SC500AI 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。SC500AI 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 2-7 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

2.5. DPC

SC500AI 支持 DPC 功能。SC500AI 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。SC500AI 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 2-8 所示。

表 2-8 DPC 控制寄存器

功能	描述	寄存器地址	默认值	描述
亮坏点消除功能开关	线性模式/行交叠 HDR 长曝光	16'5000[2]	1'b1	white pixel cancellation enable 1~enable 0~disable
暗坏点消除功能开关	线性模式/行交叠 HDR 长曝光	16'5000[1]	1'b1	black pixel cancellation enable 1~enable 0~disable
亮坏点消除功能开关	行交叠 HDR 短曝光	16'5002[2]	1'b1	white pixel cancellation enable 1~enable 0~disable
暗坏点消除功能开关	行交叠 HDR 短曝光	16'5002[1]	1'b1	black pixel cancellation enable 1~enable 0~disable

2.6. 视频输出模式

2.6.1. 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）。

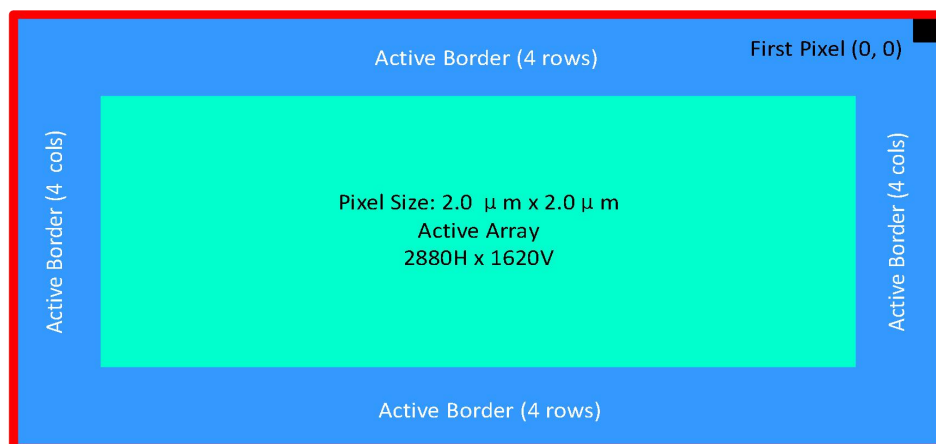


图 2-6 像素阵列图一

下图给出了 first pixel 的数据颜色格式。

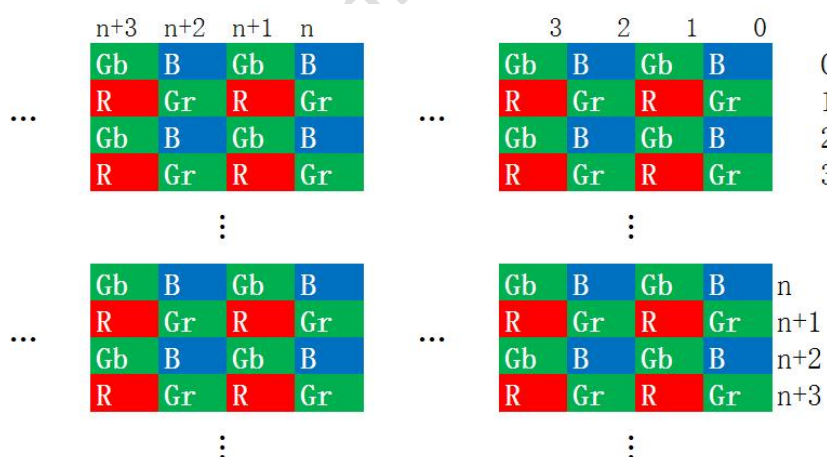


图 2-7 像素阵列图二

SC500AI 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 2-8 镜像和倒置实例

表 2-9 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

2.6.2. 输出窗口

表 2-10 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'h0b40	输出窗口宽度
窗口高度	{16'h320a, 16'h320b}	16'h0654	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

2.7. 帧率计算

SC500AI 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 2-11 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'h0672	帧长={16'h320e[6:0], 16'h320f}

2.8. 测试模式

为方便测试，SC500AI 提供一种灰度递增测试模式，如下图所示。



图 2-9 测试模式

表 2-12 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 0~ normal image 1~ incremental pattern
	16'h3902	8'h85	8'hc5	Bit[6]: BLC auto enable 0~ BLC manual enable 1~ BLC auto enable

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*1	V_{DVDD}	-0.3~1.4	V
数字电源电压*2	V_{DVDD}	-0.3~1.8	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
电源					
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*1	V_{DVDD}	1.1	1.2	1.3	V
数字电源*2	V_{DVDD}	1.4	1.5	1.6	V
电流（工作电流*1 线性模式 60fps, DVDD=1.5V, MIPI 4-lane output）					
模拟电源电流	I_{AVDD}	-	27.6	28.1	mA
I/O 电源电流	I_{DOVDD}	-	0.5	0.5	mA
数字电源电流*2	I_{DVDD}	-	118	130.5	mA
总功耗	Power (*)	-	255.18	291.24	mW
数字输入					
输入低电平	V_{IL}	-	-	0.3 x DOVDD	V
输入高电平	V_{IH}	0.7 x DOVDD	-	-	V
输入电容	C_{IN}	-	-	10	pF
数字输出（25pF 标准负载）					
输出高电平	V_{OH}	0.9 x DOVDD	-	-	V
输出低电平	V_{OL}	-	-	0.1 x DOVDD	V
串行接口输入（SCL 和 SDA）					
输入低电平	V_{IL}	-0.5	0	0.3 x DOVDD	V
输入高电平	V_{IH}	0.7 x DOVDD	DOVDD	DOVDD+0.5	V

注：*1 工作电流：电流典型值：工作电压 2.8V/1.8V/1.5V；Tj=25℃；最大模拟增益；亮度输出值 100 LSB

电流最大值：工作电压 2.9V/1.9V/1.6V；Tj=80℃；最大模拟增益；亮度输出值 100 LSB

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
交流参数					
直流微分线性误差	DLE	-	<1	-	LSB
直流积分线性误差	ILE	-	<2	-	LSB
晶振和时钟输入					
EXTCLK 频率	f _{EXTCLK}	6	-	40	MHz
EXTCLK 高电平脉冲宽度	t _{WH}	5	-	-	ns
EXTCLK 低电平脉冲宽度	t _{WL}	5	-	-	ns
EXTCLK 占空比	-	45	50	55	%

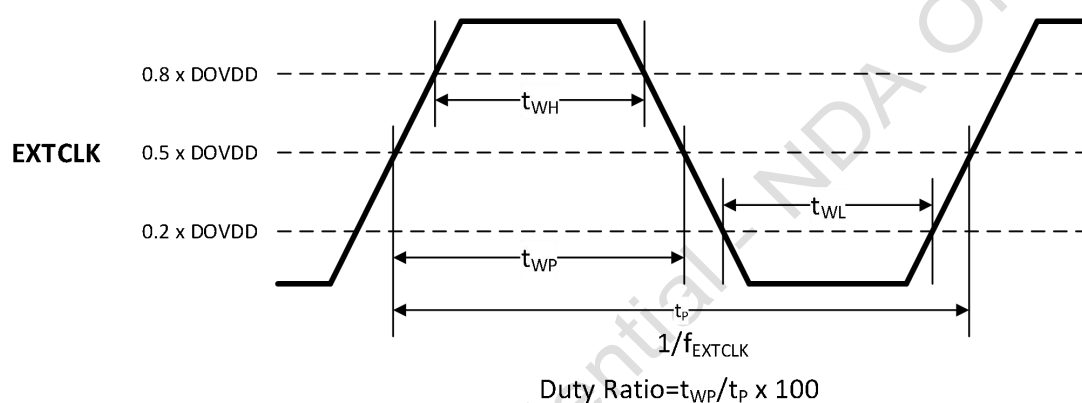


图 3-1 外部时钟 (EXTCLK) 波形图

4. 光学特性

4.1. QE 曲线

SC500AI QE 曲线如下图所示。

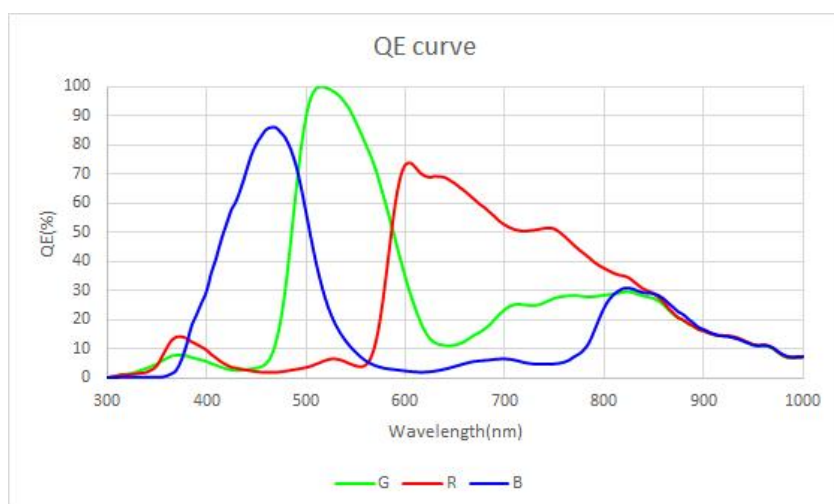


图 4-1 QE 曲线

4.2. 主光线入射角（CRA）

SC500AI CRA 曲线如下图所示。

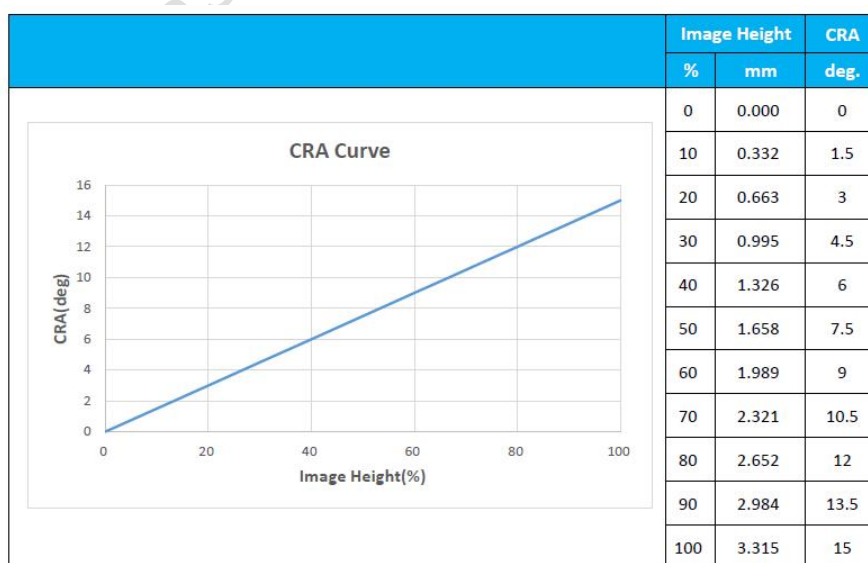


图 4-2 CRA Curve

5. 封装信息

SC500AI 提供 41-pin CSP 的封装，封装尺寸如图 5-1 所示。

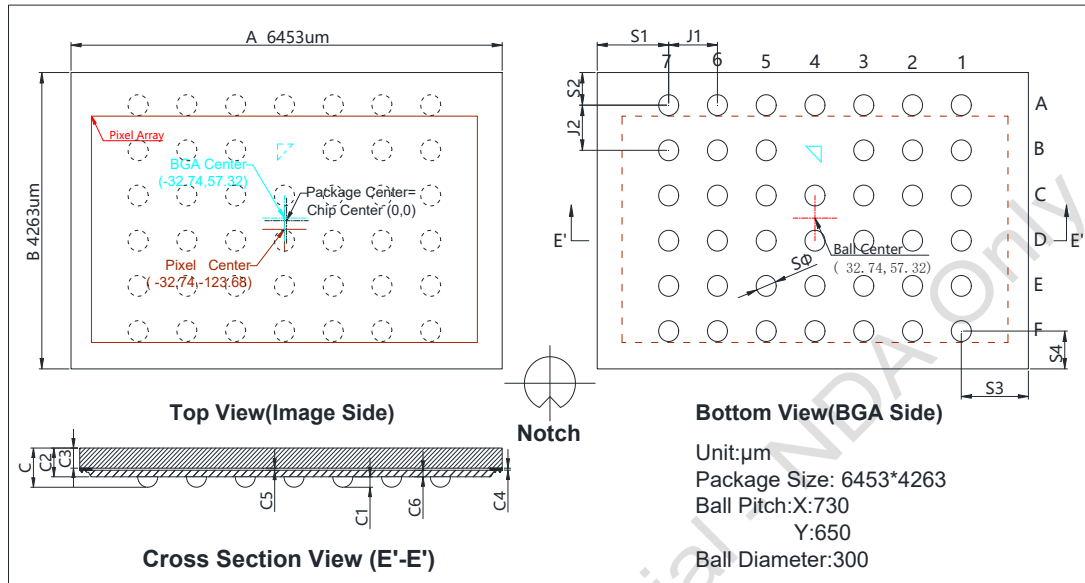


图 5-1 封装示意图

注：芯片的 Chip Center 与 Pixel Center 不重合，BGA Center 与 Pixel Center 也不重合。以 Chip Center 为原点，Pixel Center 为 $(-32.74, -123.68)$ ，BGA Center 为 $(-32.74, 57.32)$ ，单位为 μm 。

表 5-1 封装尺寸表

Parameter	Symbol	Nominal	Min	Max	Nominal	Min	Max
			Millimeters		Inches		
Package Body Dimension X	A	6.453	6.428	6.478	0.254	0.253	0.255
Package Body Dimension Y	B	4.263	4.238	4.288	0.168	0.167	0.169
Package Height	C	0.68	0.625	0.735	0.027	0.025	0.029
Cavity wall height	C4	0.041	0.037	0.045	0.002	0.001	0.002
Cavity wall + epoxy thickness (glass to the wafer bonding top point)	C5	0.044	0.039	0.049	0.002	0.002	0.002
Si Thickness	C6	0.15	0.14	0.16	0.006	0.006	0.006
Glass Thickness	C3	0.3	0.29	0.31	0.012	0.011	0.012
Package Body Thickness	C2	0.53	0.495	0.565	0.021	0.02	0.022
Ball Height	C1	0.15	0.12	0.18	0.006	0.005	0.007
Ball Diameter	S Φ	0.3	0.27	0.33	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	0.73	0.72	0.74	0.029	0.028	0.029

Parameter	Symbol	Nominal	Min	Max	Nominal	Min	Max
			Millimeters			Inches	
Pins Pitch X axis2	J2	0.65	0.64	0.66	0.026	0.025	0.026
BGA ball center to package center offset in X-direction	X	0.033	0.008	0.058	0.001	0	0.002
BGA ball center to package center offset in Y-direction	Y	0.057	0.032	0.082	0.002	0.001	0.003
Edge to Ball Center Distance along X1	S1	1.069	1.039	1.099	0.042	0.041	0.043
Edge to Ball Center Distance along Y1	S2	0.449	0.419	0.479	0.018	0.017	0.019
Edge to Ball Center Distance along X2	S3	1.004	0.974	1.034	0.04	0.038	0.041
Edge to Ball Center Distance along Y2	S4	0.564	0.534	0.594	0.022	0.021	0.023

6. 订购信息

表 6-1 订购信息表

产品编号	封装形式	描述
SC500AI-CSMNN00	41-pin CSP	5.0Megapixle, RAW/RGB, MIPI output
SC500AI-CSMNF00	41-pin CSP	5.0Megapixle, RAW/RGB, MIPI output (贴膜)

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/2020.6.3
0.2	章节 4.1: 原 (ECFA 样本) QE 曲线更新为 NECFA 样本 QE 曲线	Vicky Song/2020.9.10
0.3	增加 ESD 等级	Vicky Song/2020.9.17
0.4	章节 2.3.2: 更新表 2-3 最大最小曝光值 (xdec 2 行 share 架构)	Vicky Song/2020.11.20
0.5	第 3 章: 表 3-2: 增加功耗值	Vicky Song/2021.3.1
0.6	更新图 1-5 I ² C 接口时序	Rina Yang/2022.05.31
0.7	添加贴膜料号	Rina Yang/2022.10.12

联系我们

总部

地址：上海市闵行区田林路 889 号绿洲四期 8 号楼

电话：021-64853570

邮箱：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雅宝路 1 号星河 WORLD B 座 2801 室

电话：0755-23739713

思特威技术支持邮箱

support@smartsensotech.com