

## МИКРОСХЕМА 1.3 М КМОП ПРИЕМНИКА ИЗОБРАЖЕНИЯ С ФУНКЦИЕЙ ДАТЧИКА КООРДИНАТ

Микросхема представляет собой приемник черно-белого изображения формата 128x128 со встроенным блоком вычислителя координат центра тяжести изображения специально формируемого оптического сигнала [1] и представляет собой пример реализации "видеосистемы на кристалле" [2]. Для расширения функциональных возможностей - определения не только ортогональных координат, но и угла поворота, предусмотрен режим определения координат двух поочередно включаемых оптических сигналов, формирующих световые пятна на фоточувствительном поле. Управление режимами работы микросхемы осуществляется по интерфейсу I2C блоком "тайминга" - управления и синхронизации (рис.1).

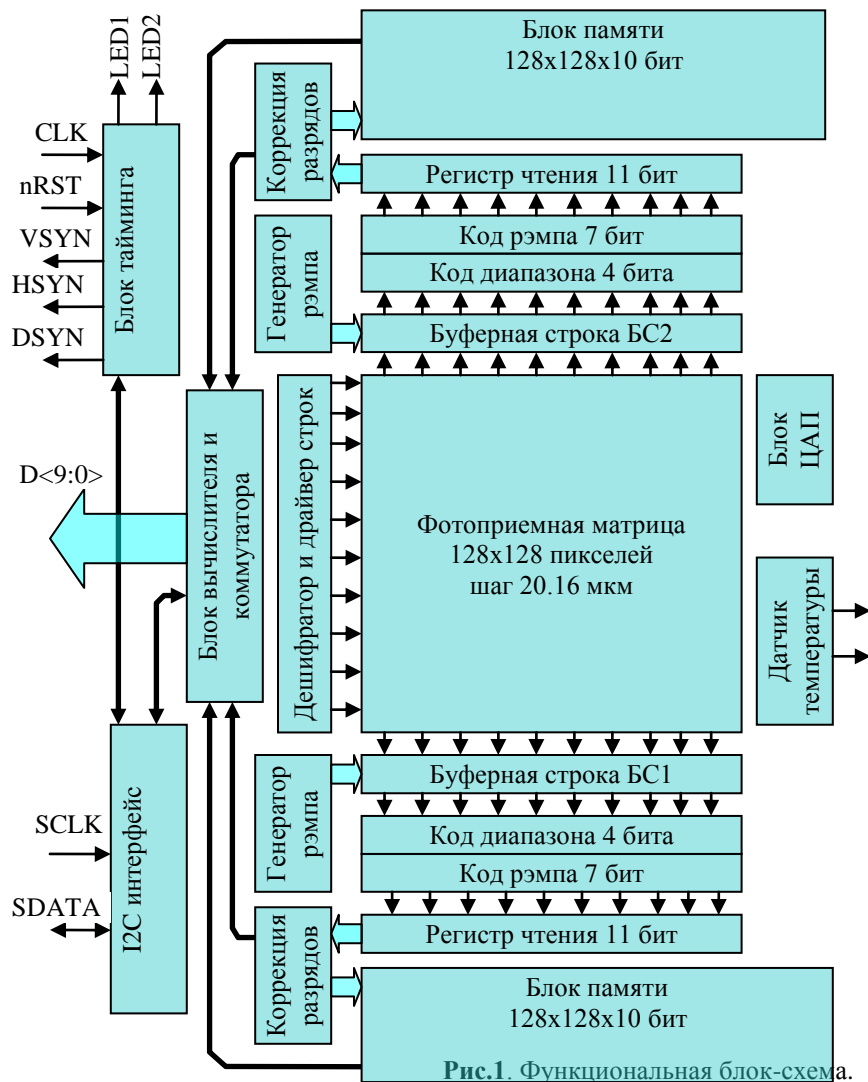
В микросхеме реализован режим выделения оптического сигнала на фоне паразитных засветок путем вычитания промежуточных кадров, которые хранятся во встроенных блоках памяти. Синхронное с экспозицией рабочих кадров включение оптических сигналов осуществляется по командам блока тайминга, выдаваемых на выходы LED1 и LED2.

Внешний тактовый сигнал CLK частотой 4 - 48 МГц подается на блок тайминга. Начальная установка производится сигналом nRST. Блок тайминга выдает наружу сигнал сопровождения видеоданных DSYN, а также кадровый и строчный импульсы VSYN, HSYN.

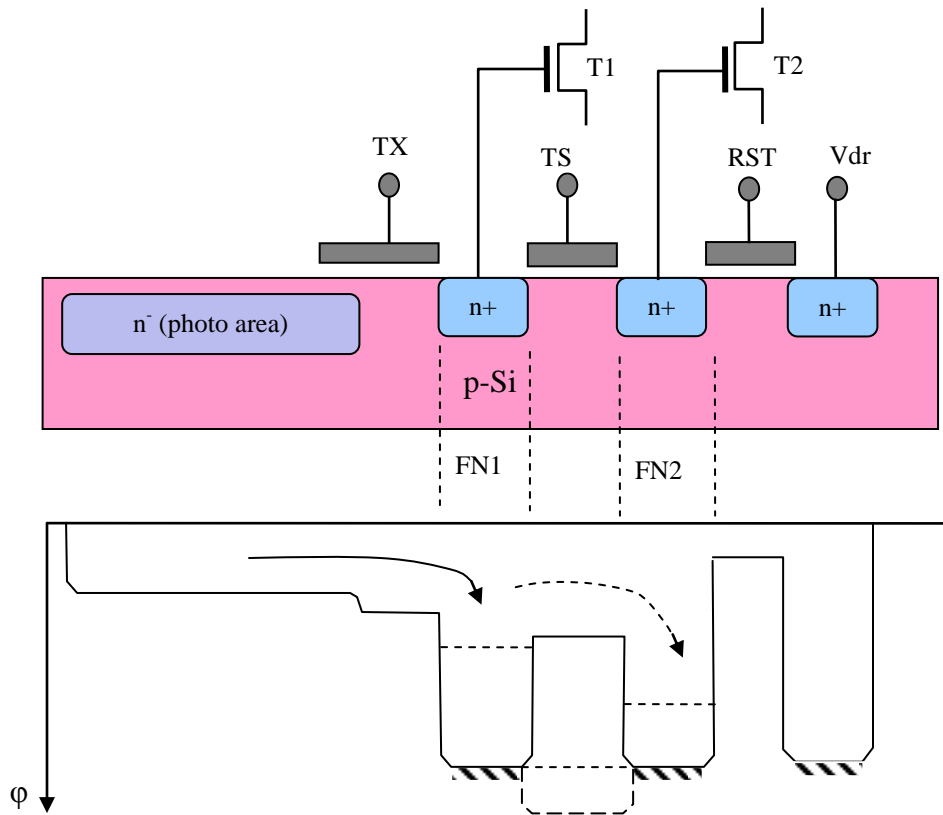
В режиме датчика координат соответствующей командой можно отключить выдачу видеоданных по параллельной 10-разрядной шине D<9:0>, уменьшив таким образом энергопотребление.

Важной характеристикой приемника изображения для технического зрения является динамический диапазон. Для расширения динамического диапазона пиксель снабжен двумя последовательно расположенными плавающими узлами, FN1 и FN2, и соответственно двумя активными транзисторами T1 и T2 (Рис.2). Слабые сигналы, в пикселях с небольшой освещенностью, детектируются на высокочувствительном первом плавающем узле с характерной емкостью 3 фФ и коэффициентом преобразования примерно 50 мкВ/электрон. В сильно освещенных пикселях фотозаряд, после переполнения первого плавающего узла, перетекает во второй плавающий узел, ем-

кость которого в 16 раз больше, и, соответственно, коэффициент преобразования в 16 раз меньше.



Считывание сигналов с первого и второго плавающих узлов производится последовательно, каждый в режиме двойной коррелированной выборки: сначала считываются уровни предустановки плавающих узлов, затем открывается затвор переноса TX и считывается сигнал с первого плавающего узла в нижнюю буферную строку БС1; после этого открывается затвор TS и считывается второй суммарный сигнал в верхнюю буферную строку БС2. В буферных строках уровни предустановки вычитаются из сигналов в технике переключаемых конденсаторов. Необходимые для работы пикселей и буферной строки постоянные напряжения вырабатываются блоком ЦАП.



**Рис.2.** Схематический разрез и диаграмма потенциалов пикселя с двумя последовательными плавающими узлами.

Параметры фотоприемника в значительной мере зависят от способов организации (архитектуры) управления фотоприемным массивом пикселей и считывания информации с них.

Хорошо известны недостатки традиционной архитектуры приемников изображения, в которых сигналы с выбранной строки двумерного массива пикселей записываются в режиме двойной коррелированной выборки в буферную строку, а затем элементы буферной строки с хранящейся в них информацией поочередно подключаются к длинной сигнальной шине, по которой аналоговый сигнал подается на программируемый усилитель и далее - на аналого-цифровой преобразователь (ADC). Передача аналогового сигнала по длинной шине требует большой мощности от каждого элемента буферной строки; велико также потребление скоростного многоразрядного ADC. Большая потребляемая мощность приводит к нагреву кристалла и высокому уровню помех.

Наиболее широко в конструкциях высококачественных приемников изображения применяется архитектура с аналого-цифровым преобразованием в каждом столбце [3 - 7]. В столбцах используются ADC последовательного приближения (successive approximation, SAR), циклические (cyclic) ADC, а также различные параллельные ADC с общей "пилой"- рэмпом (ramp): single-slope, multiple-ramp single-slope (MRSS), multiple-ramp multiple-slope (MRMS).

Параллельное аналого-цифровое преобразование с одним рэмпом (single-slope) применяются только в приемниках изображения большого формата - 3 - 8 мегапикселей, поскольку такое преобразование занимает очень много тактов, равное числу отсчетов, то есть для 10-разрядного преобразования потребуется 1024 такта. Преобразование во всех столбцах производится одновременно с выводом цифровых данных предыдущей строки, так что в идеале длина строки должна быть не меньше числа отсчетов. Такое преобразование отличается высокой однородностью по массиву столбцов, минимальным количеством аналоговых узлов - всего один компаратор на столбец, низким энергопотреблением.

Для увеличения быстродействия предложена конструкция с мультиплицированным рэмпом (MRSS) [7]. Суть её в том, что полная шкала изменения входного сигнала разбивается на  $m$  диапазонов, у каждого своя шина рэмпа. На первом этапе оцифровки тем или иным методом (последовательным перебором или стягивающихся хорд) определяется, в каком из диапазонов находится сигнал в данном столбце, на что потребуется  $n_1 = m$  или  $n_1 = \log_2 m$  тактов. Двоичный номер диапазона записывается в старшую часть регистра результата. На втором этапе линейным рэмпом, меняющимся одновременно на всех шинах диапазонов, определяются младшие разряды результата. Например, если при 10-разрядном преобразовании определить  $2^4 = 16$  диапазонов, то на рэмп в каждом

диапазоне останется  $2^6 = 64$  уровня (ступеньки пила). Весь процесс оцифровки займет  $16+64=80$  или  $4+64=68$  тактов, а не 1024, как в случае одиночного рэмпа.

В описываемой микросхеме полная шкала видеосигнала величиной 1В в блоке "генератор рэмпа" резистивной цепочкой делится на 16 диапазонов. На буферную строку через повторители подаются 16 шин с соответствующих выходов генератора рэмпа. Буферная строка в каждом столбце содержит компаратор, набор ключей и логику выбора диапазона рэмпа.

При практической реализации необходимо учитывать возможную нестыковку краев диапазонов [8], поэтому рэмп ("пила") имеет 96 ступеней - 64 ступени сам диапазон и по 16 ступеней с каждой стороны на перекрытие соседних диапазонов.

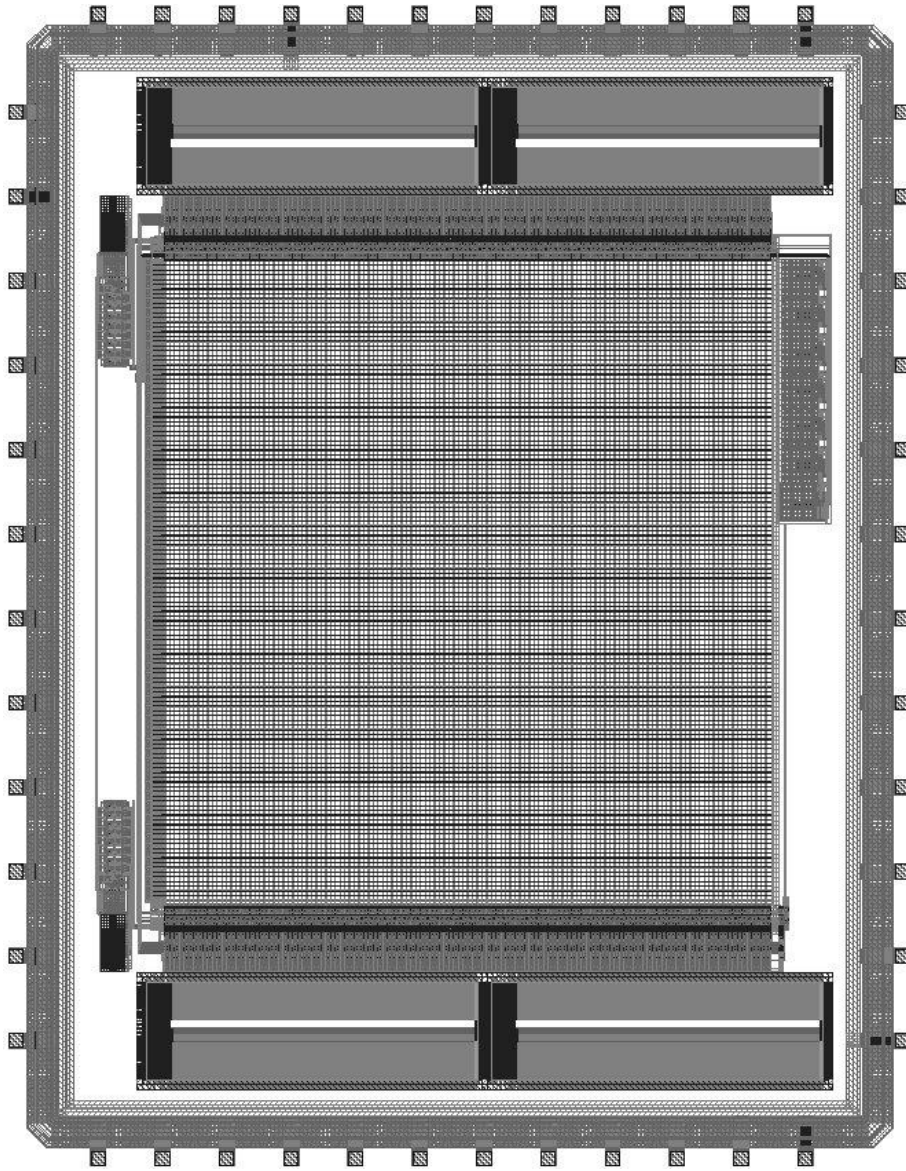
Преобразование хранящихся в буферной строке аналоговых сигналов в цифровую форму происходит следующим образом. Сначала переключением шин диапазонов в каждом столбце методом стягивающихся хорд определяется диапазон, в котором находится сигнал данного столбца, и код найденного диапазона (4 бита) записывается в старшие биты регистра записи (на рис.1 - блок "Код диапазона 4 бита"); шина выбранного диапазона подключается к компаратору данного столбца. Далее на все шины подается рэмп в 96 ступеней. Синхронно с началом тактирования рэмпа запускается инкрементный набор кода в 7 младших разрядов регистра кода сигнала. При достижении рэмпом уровня компарируемого сигнала и переключении компаратора останавливается инкрементная запись кода в регистр. Таким образом, в 11-битном регистре оказывается число, соответствующее амплитуде сигнала пикселя.

В конце процедуры аналого-цифрового преобразования 11-разрядный код из регистра записи переписывается в регистр чтения. Из регистра чтения младшие 7 разрядов попадают в блок "коррекции разрядов". С помощью таблицы поправочных сдвигов, хранящейся в регистрах коррекции, формируется 6 младших разрядов результата из входящих в блок коррекции 7 разрядов, при этом удаляются области перекрытия диапазонов. Таблица поправочных сдвигов формируется при фабричном тестировании и паспортизации конкретного образца микросхемы.

После блока коррекции полные 10-разрядные сигналы нижней и верхней буферных строк, соответствующие фотозарядам первого и второго плавающих узлов пикселей, подаются на блоки памяти и блок вычислителя и коммутатора. 14-разрядные координаты центров тяжести изображений оптических сигналов вычисляются каждый рабочий кадр и доступны по интерфейсу I2C.

Выходная шина видеоданных работает в мультипликативном режиме 2x1 и может выдавать наружу

- разностные (рабочий минус промежуточный) кадры верхнего и нижнего каналов;
- рабочий и промежуточный кадры нижнего канала;
- рабочий и промежуточный кадры верхнего канала;
- рабочие кадры верхнего и нижнего каналов.



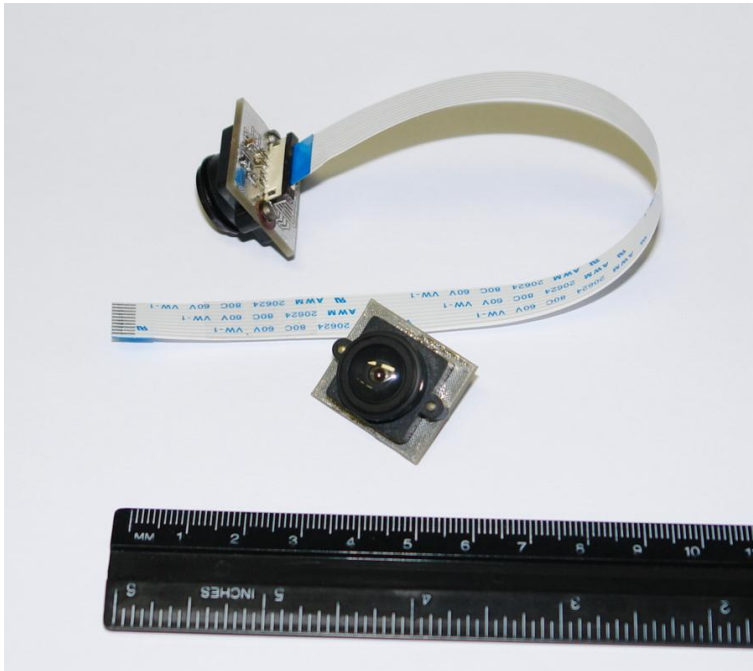
**Рис.3.** Топологический рисунок кристалла.

Топологический рисунок кристалла приведен на рис.3. Основные характеристики микросхемы сведены в таблицу:

Формат	128x128
Шаг пикселей	20.16x20.16 мкм <sup>2</sup>
Оптический формат	2.58x2.58 мм <sup>2</sup>
Габариты кристалла	4x5 мм <sup>2</sup>
Технология	0.18 мкм CMOS Silterra
Напряжения питания ядра	1.8 В
Напряжение питания интерфейсов	3.3 В
Ток потребления ядра	не более 12 мА
Ток потребления интерфейсов	3 - 40 мА, в зависимости от нагрузки и частоты шины выходных данных
Интерфейс управления	I2C
Тип пикселя	Заглубленный диод с полным обеднением и двумя последовательными плавающими узлами
Спектральный диапазон	0.4 - 1.05 мкм
Коэффициент преобразования первого плавающего узла	~50 мкВ/электрон
Коэффициент преобразования второго плавающего узла	~3 мкВ/электрон
Шина выходных видеоданных	мультиплексированная из двух 10-разрядных параллельных, со сдвигом на четыре разряда и внешней сшивкой
Частота шины выходных данных	2 - 24 МГц, задается тактовым сигналом CLK 4 - 48 МГц
Режимы экспозиции	- мгновенная (Global Shutter) - бегущая шторка (Rolling Shutter)
Длительность экспозиции	мгновенная - от 0 до 16384 строк; бегущая шторка - от 128 до 16512 строк
Монохроматическая пороговая экспозиция (длина волны 700 нм)	$5.6 \cdot 10^{-12}$ Дж/см <sup>2</sup> *
Интегральная пороговая экспозиция (источник типа "А")	$1.1 \cdot 10^{-5}$ лк·с *

\* - измерения проведены в ОАО "Геофизика - Космос" А.М.Щекиным.

На рис.4 показана фотография оптического модуля датчика координат. Пример использования модуля в наушниках, отслеживающих положение головы игрока относительно экрана игровой приставки, приведен на рис.5.



**Рис.4.** Модуль с микросхемой датчика координат.



**Рис.5.** Наушники игровой приставки с модулем датчика координат.

Функциональные возможности микросхемы позволяют рассчитывать на её широкое использование в системах контроля угловых перемещений, позиционирования и координатных системах. Наряду с традиционными применениями в робототехнике, промышленной автоматизации и управлении, данное решение позволит значительно увеличить надежность систем, подвергающихся механическому воздействию или воздействию окружающей среды, таких как манипуляторы типа джойстик, руль и педаль.