

Кинокамера Big Sky – кадр размером с небо

Окончание. Начало в № 9/2023

Александр Луганский

В предыдущей статье рассказывалось о предпосылках создания камеры Big Sky, о том, кто ее разработал, чем она примечательна, для чего уже использовалась и каков оказался первый результат. В то же время каких-то подробных технических характеристик приведено не было, в том числе и об одном из самых важных элементов камеры – ее датчике изображения. Ниже речь пойдет именно о нем.



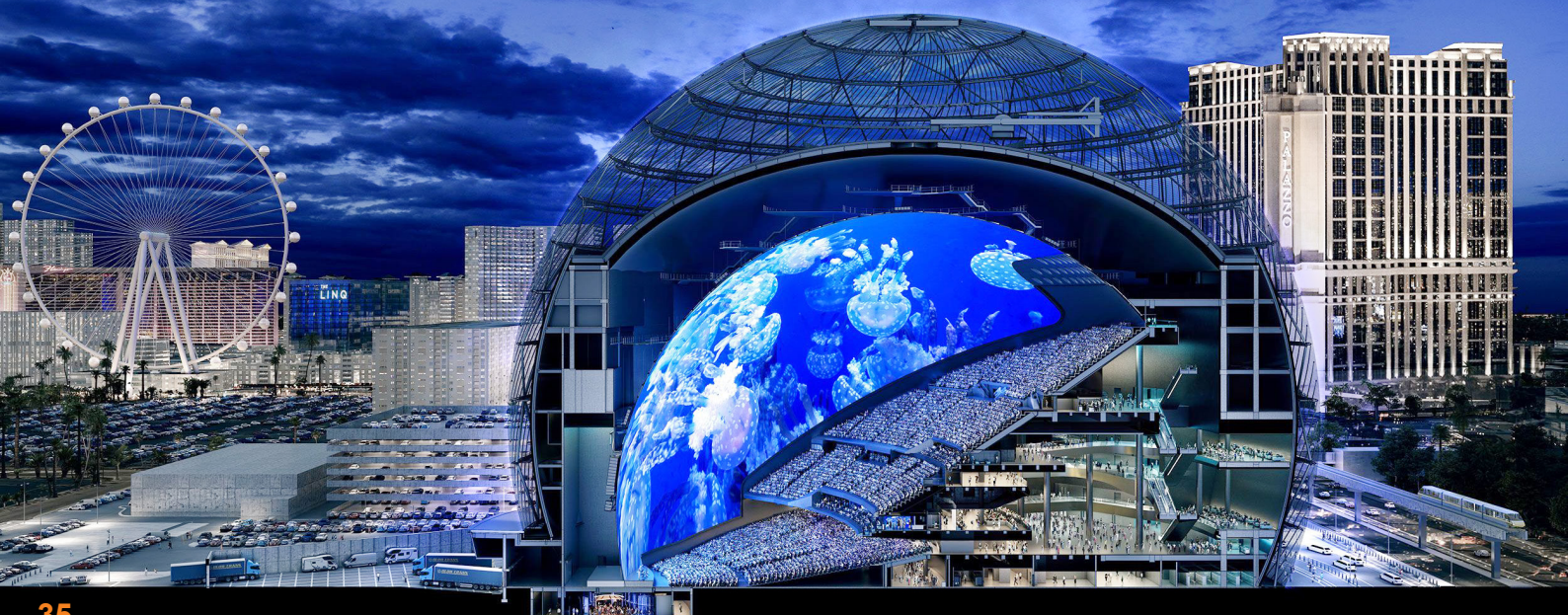
Сенсор камеры Big Sky (фото Sphere Entertainment)

Итак, камера Big Sky, созданная для того, чтобы снимать изображение, которое будет демонстрироваться на огромном сферическом экране сооружения The Sphere в Лас-Вегасе (США), «вооружена» огромным по современным меркам датчиком изображения, размеры которого составляют 3,91×3,27" (99,2×83,1 мм). Сразу надо оговориться, что это размеры подложки, а светочувствительная область – квадратная, 3×3". Это HDR-сенсор типа CMOS, его разрешение составляет 316 Мпк и он поддерживает скорость съемки в разрешении 18К до 120 кадр/с. Уже известно, что динамический диапазон сенсора никак

не меньше 14,5 стопов, что очень даже неплохо. Над разработкой сенсора трудились специалисты компаний Forza и Sphere Entertainment.

Имеет смысл напомнить и о том, что такое «Сфера». Как уже отмечалось в предыдущей статье, нашлись острые на язык специалисты, успевшие прикрепить к этому гигантскому сферическому экрану ярлык «Стероидный IMAX». Сооружение расположено в Лас-Вегасе и к нему вполне применим эпитет «будущее сферы развлечений». Экран

«Сфера» – «стероидный IMAX» (иллюстрация Sphere Entertainment)



состоит из огромного числа дисплеев, формирующих эффект погружения при воспроизведении изображений. Применяются также 4D-технологии, усиливающие этот эффект, который создается с помощью экрана разрешением 16К×16К. А тот, в свою очередь, является светодиодным и имеет самое высокое разрешение в мире.

Внутри сферы расположены 10 тыс. кресел со встроенной в них ультразвуковой тактильной системой, которая помогает сидящему в кресле не только видеть, но и в определенной степени чувствовать происходящее на экране. Сама «Сфера» стала еще одной яркой достопримечательностью Лас-Вегаса, которую видно почти из любой точки города.

Зная, пусть даже в общих чертах, что представляет собой экран «Сферы», несложно представить, какой контент нужен для демонстрации на этом экране. Если сделать следующий логический шаг в этом рассуждении, то можно прийти к заключению, что для съемки такого контента нужны камеры как минимум среднего формата. Именно такая логическая цепочка и привела группу инженеров-конструкторов к созданию Big Sky. Она представляет собой во многом революционную съемочную систему сверхвысокого разрешения с точки зрения технологий и специализированный инструмент создания контента с точки зрения применения. Как уже отмечалось, камеру создали в компании Sphere Studios для съемки впечатляющего видео для его демонстрации на самом высокоразрешающем экране в мире – на экране «Сферы».

Вот что о камере говорят представители Sphere Entertainment: «Каждый аспект Big Sky – это существенный шаг вперед в сфере современных наилучших кино-съемочных систем. Это касается, в том числе, и самого большого из коммерчески доступных сенсоров, обеспечивающего предельно детализированную фиксацию изображения очень большого формата».

Довольно долго подробности о сенсоре камеры Big Sky держались в секрете. Но, как известно, все тайное рано или поздно становится явным. «Срыванию покрыва тайны» также поспособствовала научная статья «316-мегапиксельный датчик изображения HDR CMOS со скоростью считывания 120 кадр/с для иммерсивных дисплеев следующего поколения» (A 316MP, 120FPS, High Dynamic Range CMOS Image Sensor for Next Generation Immersive Displays), которую написали Абхинав Агарвал, Джатин Хансрани, Сэм Бэгвелл, Александр Рытов, Варун Шах, Кай Линг Онг, Даниэль Ван Блерком, Джонатан Берджи, Нил Кумар, Тим Лу и др. Статья раскрывает множество технических подробностей, касающихся этого особенного сенсора. Понятно, что обсуждать здесь все эти подробности – долго и вряд ли необходимо. Но некоторые из них определенно заслуживают внимания.

Итак, основным разработчиком сенсора является компания by Forza Silicon (корпорация АМЕТЕК), которая базируется в калифорнийском городе Пасадена (США). Город, надо сказать, небольшой, но в нем достаточно высокотехнологичных компаний, в том числе и Forza Silicon. Сразу надо отметить, что новый сенсор – это не результат работы только Forza Silicon. Разработка велась с активным участием Sphere Entertainment, что не удивительно, ведь последняя выступает еще и в роли заказчика.

Динамический диапазон сенсора Big Sky составляет 14,5 стопов. В статье утверждается, что CMOS-сенсор Forza Silicon имеет разрешение 18К, формат 1:1, и позволяет снимать со скоростью до 120 кадр/с. В предисловии к статье говорится следующее: «Мы представляем совмещенный на плоскости 316-мегапиксельный CMOS-сенсор, обеспечивающий съемку изображения в расширенном динамическом диапазоне со скоростью 120 кадр/с. Сенсор имеет 92 выходных CML-порта с совокупной пропускной способностью 512 Гбит/с. Общие габариты сенсора составляют 99,2×83,1 мм, чип изготовлен по 65-нм технологии в соответствии с процессом 4 metal BSI, а общая потребляемая сенсором мощность не превышает 23 Вт. 4,3-мкм пиксель с двойным усилением обеспечивает высокое и низкое усиление преобразования в 6600 и 41000 электронов соответственно, а общий пространственный шум при высоком усилении составляет 1,8 электрона, что позволяет достичь суммарного динамического диапазона 87 дБ (14,5 стопов)». Более того, во введении утверждается, что в статье представлен очень большой 2D-считываемый 316-мегапиксельный CMOS-сенсор, поддерживающий высокую скорость съемки в разрешении 18К×18К. В сенсоре применен HDR-подход с однократным экспонированием и двойным усилением, что позволило уменьшить артефакты движения, которые могут появляться при использовании других HDR-методов с многократным экспонированием.

Одной из наиболее сложных задач, которые пришлось решить разработчикам сенсора, стало считывание данных с очень большого 2D-массива пикселей, сканируемого с высокой кадровой скоростью, с поддержанием предельно малого уровня шума.

Вряд ли кого-то удивит утверждение, что есть прямая взаимосвязь между характеристиками (возможностями) дисплеев и требованиями к изображениям, которые планируется демонстрировать с их помощью. Равно как суще-

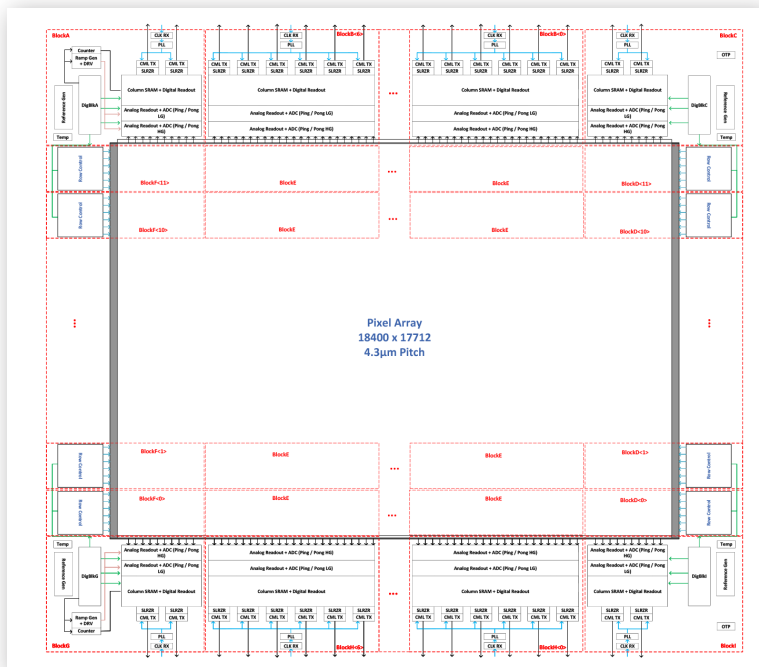


Схема сегментирования сенсора (источник – IISW2023)

стует и обратная зависимость – чем выше характеристики съемочных систем, тем жестче требования к средствам отображения. Но в данном случае речь идет о первом варианте. Появление очень больших высоко разрешающих дисплеев следующего поколения, способных вызвать у аудитории сильное ощущение погружения в экранное действие, сопровождается очень жесткими требованиями к съемке видеоматериала для таких дисплеев. Дело в том, что экраны, подобные «Сфере», характеризуются очень высоким разрешением в сочетании с очень большими размерами. Поэтому все дефекты демонстрируемого на этих экранах изображения сразу становятся видны. И требуется сенсор, способный формировать изображение очень высокого разрешения и столь же высокого качества, с предельно малым уровнем шума, широким динамическим диапазоном и минимальными артефактами, в том числе и вызываемыми работой электронного затвора.

В ответ на эти требования и был разработан сенсор, не получивший пока собственного имени, но зато способный обеспечить наилучшее общее качество изображения с особым акцентом на сверхвысоком разрешении, широком динамическом диапазоне и высокой кадровой скорости съемки.

Как известно, создание большого по размерам высоко разрешающего изображения – задача не новая, и как минимум одно решение для нее уже давно известно. Это формирование общего холста из отдельных частей, снятых несколькими камерами. Решение, надо признать, громоздкое и технически сложное как на этапе съемки, так и на стадии совмещения отдельных частей в общее изображение. Такое совмещение требует применения сложных алгоритмов обработки, большой вычислительной мощности задействованных рабочих станций. И даже при соблюдении всех технологических требований на результирующем изображении часто появляются дефекты, такие как двоения, тянущиеся продолжения, заметность стыков, что вызывается параллаксом между исходными ракурсами.

Чтобы избежать проблем, связанных с данным подходом, и был разработан новый сенсор, состоящий из множества сегментов, сшивка изображений от каждого из которых производится прямо в самом сенсоре. Сенсор работает по принципу бегущего затвора и может функционировать в одном из двух режимов – либо с высокой кадровой скоростью с одинарным усилением при считывании, либо с пониженной кадровой скоростью и поддержкой HDR. В HDR-режиме используется функция двойного усиления на

уровне пикселей, что позволяет получить расширенный динамический диапазон при однократном экспонировании и одновременной минимизации артефактов, которые проявляются при других подходах к съемке в режиме HDR.

Основные технические характеристики сенсора камеры Big Sky:

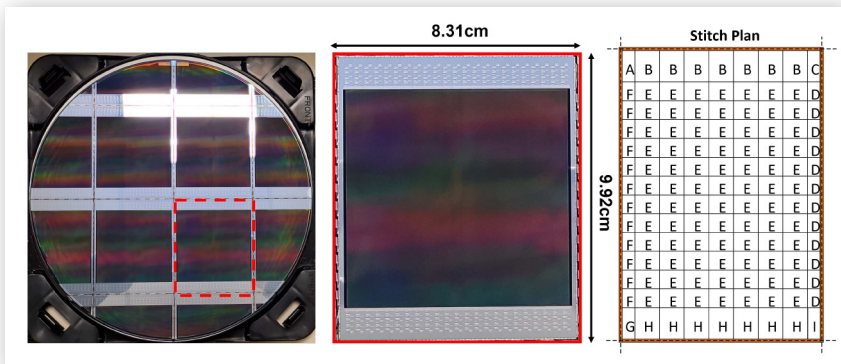
- ◆ размер пикселя – 4,3 мкм;
- ◆ общее число пикселей – 325900800 (18400×17712);
- ◆ число активных пикселей – 31622400 (18000×17568);
- ◆ время сканирования строки: при одинарном усилении – 5,5 мкс, при двойном усилении – 11 мкс;
- ◆ максимальная кадровая скорость: при одинарном усилении – 120 кадр/с, при двойном усилении – 60 кадр/с;
- ◆ разрядность аналого-цифрового преобразования – 12 бит (частота дискретизации 2,8 ГГц);
- ◆ полная линейная вместимость скважины: при большом усилении – 6600 электронов, при малом усилении – 41000 электронов;
- ◆ усиление при преобразовании: при большом усилении – 150 мкВ/электрон, при малом усилении – 19,1 мкВ/электрон;
- ◆ общий пространственный шум: при большом усилении – 1,8 электрона при малом усилении – 13 электронов;
- ◆ динамический диапазон – 87 дБ;
- ◆ задержка изображения – 0,45 электрона;
- ◆ PRNU (неравномерность фотоответа) для участка изображения 4000×3000 – 0,8%;
- ◆ темновой ток – 55 электронов/с (при 70°C);
- ◆ общая потребляемая мощность – 23 Вт;
- ◆ размеры подложки – 99,2×83,1 мм;

Интересно не только рассмотреть характеристики сенсора Big Sky, но и сравнить его с другими флагманскими датчиками изображения типа CMOS, тоже относящимися к категории сенсоров сверхвысокого изображения среднего формата.

Сенсор камеры Big Sky очень хорош по двум важным параметрам – динамическому диапазону и скорости съемки. Это 14,5 стопов и 120 кадр/с, соответственно. Такие характеристики выводят данный датчик в лидеры среди лучших больших сенсоров CMOS.

Как утверждает в уже упоминавшейся выше научной статье, сравнение эффективности данного датчика изображения с другими сенсорами, чьи характеристики опубликованы, показывает, что у датчика Big Sky в 120 раз выше скорость сканирования по сравнению с некоторыми другими, несмотря на считывание большего числа строк пикселей с большим шагом. И это достигается с двукратным преимуществом по темновому пространственному шуму, с расширенным на 9 дБ динамическим диапазоном и втрое лучшими показателями темнового тока. По сравнению с сенсором GMAX3005 достигнута в 12 раз более высокая кадровая скорость считывания данных, двукратное превосходство по темновому пространственному шуму и на 20 дБ более широкий динамический диапазон при более чем 7-кратном преобладании по темновому току.

Что же можно сказать в завершение? Если опираться на опубликованные данные, созданный компанией Forza сенсор выглядит одним из лучших крупноформатных датчиков изображения на рынке. Он характеризуется впечатляющими пара-



Сенсор на 12" пластине (4 штампа на пластину), фото штампа и план сшивки (источник – IISW2023)



Съемка камерой Big Sky



Демонстрация фильма «Открытие с Земли» в «Сфере»

метрами и был разработан специально для того, чтобы снимать контент для демонстрации на экране «Сферы». По размерам сенсор камеры Big Sky можно назвать среднеформатным стероидным, по аналогии с тем, что саму «Сферу» уже прозвали «Стероидным IMAX».

Неудивительно также, что камеру Big Sky использовали в паре с ARRI ALEXA 65, когда снимали контент для отображения на «Сфере». В данном случае ALEXA 65 ис-

пользовалась для съемки некоторых фрагментов несферического контента пониженного разрешения.

Один проект – «Открытие с Земли» Даррена Аронофски и его команды – уже был показан на/в «Сфере» и вызвал восторженные отзывы о качестве изображения и эффекте погружения в него. Интересно будет посмотреть и на другие специальные проекты, снятые с помощью камеры Big Sky. Надеюсь, ждать придется недолго. ▶

Сравнительные характеристики больших CMOS-сенсоров

Параметр	Сенсор			
	Big Sky	Bogaerts et.al.	GMAX32152	GMAX3005
Технология	65 нм BSI	90 нм BE, 65 нм BE	–	–
Размер пикселя, мкм	4,3	3,9	3,2	5,5
Архитектура пикселя	Неразделяемая 5Т с двойным усилением	Неразделяемая 4Т	–	4Т со связыванием пикселей
Затвор	Бегущий	Бегущий	Кадровый	Бегущий
Общее разрешение	18400×17712	26456×15072	16556×9200	30000×5000
Эффективная область, мм	77,4×75,54	101,84×58,50	53×29,4	165×27,5
Размер чипа, мм	83,1×99,2	105,18×65,63	59×35,2	167,6×30,1
Макс. скорость считывания, кадр/с	120/60*	1	16	10
Эффективная пиксельная скорость, Гпк/с	39,11	0,4	2,44	1,5
Вывод данных	92 CML при 5,6 Гбит/с (DDR)	24 LVDS при 300 Мбит/с (DDR)	38 sub-LVDS при 960 Мбит/с	120 LVDS при 200 Мбит/с
Разрядность АЦП, бит	12	14	12	16
Частота дискретизации АЦП, МГц	2800	150	–	–
Емкость скважины строки, электроны	41000/6600**	31500	9300***	23000
Усиление при преобразовании, мкВ/электронов	150/19,1**	45	–	–
Режим HDR	Есть	Нет	Нет	Есть
Темновой пространственный шум, е/с	1,8	3,7	5***	3,94
Динамический диапазон, дБ	87	> 78	> 65,4***	67
PRNU	0,8%****	1%	–	–
Темновой ток, е/с	55 (70С)	95 (60С)	1,4 (30С)	< 10 (32С)
Потребляемая мощность****, Вт	23	1,75	2,8	2,5

*С одинарным усилением/с двойным усилением (HDR).

**С малым усилением/с большим усилением.

***При 1,4-кратном усилении.

****Для выбранной области 4000×3000.

*****При максимальной скорости сканирования, полном разрешении и наибольшей разрядности АЦП.