



НАУЧНЫЕ ЦИФРОВЫЕ КАМЕРЫ.

УСТРАНЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НАУЧНОЙ КМОП-КАМЕРЫ (sCMOS)

Доктор К. Коатес, (Andor Technology); доктор Б. Фоулер, Fairchild Imaging; доктор Г. Холст, РСО АС

ПЗС-сенсоры, используемые в регистрационной научной аппаратуре, базируются на технологии, разработанной в конце 60-х годов прошлого века. Производительность ПЗС-сенсоров раздвинула границы в эффективности регистрации света и уменьшения шума, как от слабого сигнала, так и от усилителя считывания. Однако, одним из недостатков ПЗС-сенсоров является тот факт, что матрица по существу представляет собой устройство последовательного считывания, позволяя получать низкие шумы за счет медленной скорости считывания. Но, когда появляется необходимость получить более высокие скорости кадров, уменьшается разрешение и снижается динамический диапазон или увеличивается шум считывания. Технология sCMOS-камеры уникальна тем, что позволяет преодолеть ряд ограничений, оптимизируя производительность камеры.

Представителями научных цифровых камер являются:

- популярная ПЗС-камера (CCD);
- ПЗС-камера с электронным умножителем (EMCCD);
- научная КМОП-камера (sCMOS);
- ПЗС-камера с ЭОП (ICDD).

В первых трех видах камер используется кремниевый диодный фотодатчик (пиксел), соединенный с участком накопления заряда, который, в свою очередь, подключен к усилителю, считающему количество накопленного заряда. Падающие光子 генерируют электронные заряды, которые накапливаются в области хранения заряда. Если падающие光子 обладают достаточной энергией и поглощаются в обедненной области полупроводника, то происходит освобождение электрона, который может быть зафиксирован как заряд.

CCD-КАМЕРА

В ПЗС- (CCD - Charge-Coupled Device) сенсорах (прибор с зарядовой связью), как правило, используется только один усилитель, расположенный в углу всей матрицы. Накапливаемый заряд, последовательно переносится через параллельные регистры в линейный последовательный регистр, а затем на выходной узел, прилегающий к считающему усилителю (рис.1).

Технология ПЗС-сенсоров, разработанная в конце 60-х годов прошлого века, до сих пор считается хорошо продуманной. Производительность ПЗС-сенсоров раздвинула границы в эффективности регистрации света и уменьшения шума как от слабого сигнала, так и от усилителя считывания.

Одним из недостатков ПЗС-сенсоров является тот факт, что матрица является по существу устройством последовательного считывания, позволяя получать низкие шумы за счет медленной скорости считывания.

КМОП- (CMOS - Complementary Metal-Oxide Semiconductor) камеры могут достичь высокой частоты кадров со средней чувствительностью. В КМОП-сенсорах каждый отдельный пиксел или каждый столбец пиксельный имеет усилитель, связанный с ним. Ряд пикселов может считываться параллельно строке, выбрав адрес регистра или отдельный пиксел с помощью мультиплексора столбца. КМОП-камера по существу является устройством параллельного считывания и, следовательно, позволяет достичь более высоких скоростей считывания, что особенно актуально для обработки изображений. Тем не менее, технология КМОП-сенсора по-прежнему нуждается в значительном развитии, чтобы конкурировать с ПЗС-матрицами в научных применениях. Научные применения требуют получения высокой чувствительности и скорости считывания при различных уровнях освещенности. Данные свойства могут быть достигнуты при использовании EMCCD- (Electron Multiplying Charge-Coupled Device) камеры с электронным умножением.

EMCCD-КАМЕРА

EMCCD-камера имеет по существу такую же структуру, как ПЗС-сенсоры с добавлением очень важной особенности. Накапливаемый заряд переносится через параллельные регистры к линейному регистру, как и прежде, но теперь, перед тем как произвести считывание заряда, происходит его усиление через

регистр умножения (рис.2). Сигнал усиливается выше шума считывания усилителя, что приводит к более высокой чувствительности по сравнению с ПЗС-сенсорами. EMCCD-камеры используют аналогичные структуры, как и CCD-камеры, и так же ограничены в получении минимального времени экспозиции.

ICCD-КАМЕРА

ICCD-(Intensified Charge-Coupled Device) камера позволяет достичь сверхкороткого времени экспозиции. В электрооптическом преобразователе (ЭОП) светочувствительная поверхность (фотокатод) захватывает падающие фотоны и генерирует усиленные электронные заряды. Фотокатод схож по своей природе со светочувствительной областью фотоэлектронного умножителя (ФЭУ), которые широко используются в конфокальных микроскопах и спектрометрах. Фотокатод использует энергию падающих фотонов для освобождения электронов. Освобожденные электроны ускоряются в направлении электронного умножителя, состоящего из ряда наклонных трубок, называемых микроканальными пластинами. Под ускоряющим потенциалом высокого напряжения падающие электроны получают энергию, достаточную, чтобы выбить дополнительные электроны и, следовательно, усилить исходный сигнал. Этот сигнал может быть зарегистрирован несколькими способами - непосредственным обнаружением с использованием специальной ПЗС-матрицы (CCD-матрица с электронной бомбардировкой) либо косвенно с помощью люминофора и ПЗС-матрицы (рис.3).

ICCD-камера позволяет достичь короткого времени экспозиции при использовании импульсного напряжения затвора между фотокатодом и микроканальной пластинкой. Прикладывая небольшое положительное напряжение, электроны, испускаемые фотокатодом, могут быть подавлены и, следовательно, не обнаружены. При переключении напряжения на отрицательную полярность электроны из фотокатода ускоряются через зазор к микроканальной пластинке, где они усиливаются и регистрируются. Прикладывая соответствующий короткий импульс напряжения, усилитель может эффективно включаться и выключаться в наносекундном режиме. ICCD-камера позволяет получать короткое время экспозиции или стробирование, что находит свое применение в лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии или исследованиях процессов горения.

В большинстве научных применений, предъявляющих требования к чувствительности или дина-



Рис.1. Принцип работы ПЗС-матрицы

мическому диапазону, используются CCD-камеры. ПЗС-камеры предлагают огромный выбор сенсоров, подходящих для применений, начиная от астрономии до спектроскопии. ПЗС-технология является относительно новой, а КМОП-технология еще нуждается в значительном развитии, чтобы конкурировать с CCD-матрицами в научных применениях. ICCD-камера лучше всего подходит, когда требуется сочетать высокую чувствительность с высокой скоростью обработки изображения. Это особенно актуально в таких применениях, как флуоресцентная микроскопия или сверхбыстрая спектроскопия.

SCMOS-КАМЕРА

Гибридные сенсоры, которые сочетают в себе ПЗС- и КМОП-технологии, обеспечивают высокую производительность, превосходящую традиционные ПЗС- и КМОП-детекторы. Гибридные ПЗС/КМОП-устройства были разработаны для того, чтобы соответствовать характеристикам изображения, получаемого с помощью ПЗС-матриц с возможностями скорости считывания КМОП-матриц.

ПРИНЦИП РАБОТЫ SCMOS МАТРИЦЫ

Для того чтобы одновременного свести к минимуму шум считывания и максимизировать динамический диапазон была разработана следующая схема sCMOS (Scientific CMOS) сенсора. Сенсор имеет раздвоенную схему считывания, в которой верхняя и нижняя половинки сенсора считаются независимо друг от друга. Каждый столбец в каждой половине сенсора оснащен двумя усилителями и двумя аналого-цифровыми преобразователями (АЦП), как показано на рис.4.

Пара, состоящая из двух усилителей и двух АЦП, имеет независимые настройки усиления. Таким

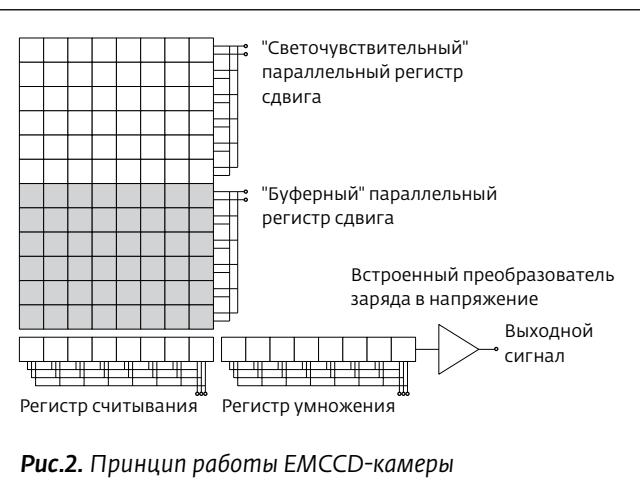


Рис.2. Принцип работы EMCCD-камеры

образом, окончательное изображение восстанавливается путем комбинирования считывания пикселя с обоих каналов, с канала высокого и низкого коэффициента усиления считывания для достижения широкого динамического диапазона внутри кадра для маленького шага пикселя.

Каждый пиксель имеет 5 транзисторов (дизайн "5T"), позволяя использовать режим "кадрового затвора", производить двойную коррелированную выборку (для уменьшения шума) и горизонтальный анти-блюминг (для уменьшения засветки).

УНИКАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ SCOSMOS-КАМЕРЫ

Технология sCMOS-камеры уникальна тем, что позволяет преодолеть ряд ограничений, оптимизируя производительность камеры.

Часть 1. Современные научные камеры: межстрочная CCD и EMCCD-камера

Многие научные применения требуют использования сенсоров с большим разрешением в фокальной плоскости, которые могут работать с очень высокой чувствительностью и широким динамическим диапазоном. Также необходимо, чтобы данные сенсоры имели высокую частоту кадров для захвата динамических событий с высоким временным разрешением.

Но существуют моменты, при которых определенные требования не выполняются. К примеру, для достижения среднеквадратического шума CCD-камеры в 3 е⁻ приходится жертвовать скоростью частоты кадров, что особенно неудобно при использовании камеры с разрешением в несколько мегапикселов. И наоборот, когда мы хотим получить более высокие скорости кадров, уменьшается разре-

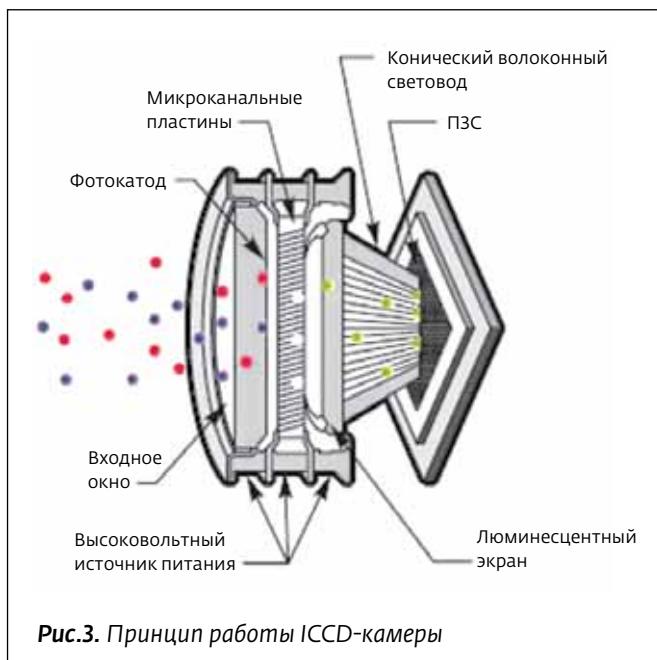
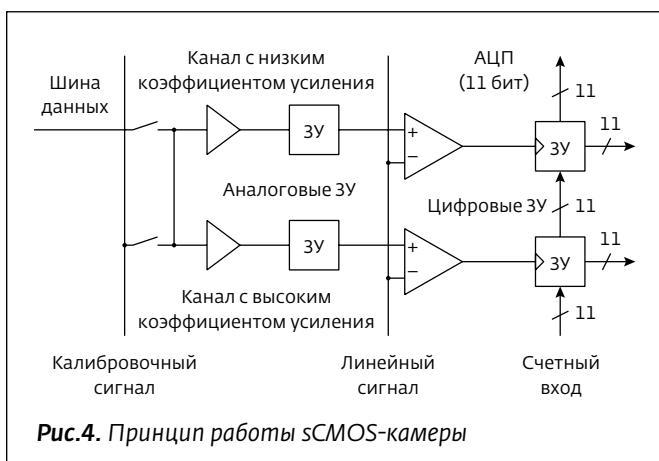


Рис.3. Принцип работы ICCD-камеры

шение, поле зрения, динамический диапазон или увеличивается шум считывания.

В качестве иллюстрации рассмотрим одну из самых популярных, высокопроизводительных научных ПЗС-технологий, представленных на рынке – построчную CCD-камеру. Эти устройства могут иметь скорость считывания в 20 Мп/с со среднеквадратичным шумом считывания от 5 до 6 е⁻. На этой скорости считывания 1,4 Мп сенсор может достигать 11 кадров в секунду. Использование микролинз гарантирует, что большинство падающих фотонов попадут на активную область сенсора, минуя построчную металлическую оболочку, ограничивающую каждый пиксель, что приведет к пиковой квантовой эффективности более чем в 60%. Высокая производительность в сочетании с низкой стоимостью сделали построчную ПЗС-камеру очень популярным выбором для таких применений, как флуоресцентная клеточная микроскопия, визуализация люминесценции и машинное зрение. Тем не менее, даже значение шума от 5 до 6 е⁻ слишком велико для большинства научных применений, использующих низкий уровень освещенности. Например, при визуализации динамики живых клеток существует необходимость ограничить поток света для флуоресцентного возбуждения. Кроме того, динамическая визуализация требует использования более короткого времени экспозиции, уменьшая количество падающих фотонов на кадр.

Значение шума считывания становится доминирующим параметром, определяющим предел



обнаружения и серьезно ставящим под угрозу соотношение сигнал-шум и, следовательно, способность различать тонкие структурные особенности внутри клетки при очень низкой освещенности. Таким образом, построчные CCD-камеры ограничены в использовании, так как не могут одновременно поддерживать низкий уровень шума при более высокой скорости считывания.

EMCCD-камера была введена на рынок компанией Andor в 2000 году и представляет собой значительный шаг вперед в решении проблемы одновременного получения низкого уровня шума при высокой скорости считывания, как описано выше. EMCCD-камеры используют механизм усиления на чипе, который называется "ударная ионизация", умножая фотоэлектроны, которые генерируются кремниевым сенсором. Таким образом, сигнал от одного фотона может быть усилен выше уровня шума считывания, даже при высоких скоростях считывания порядка мегагерц. Важно отметить, что это позволяет EMCCD-сенсору регистрировать одиночные фотонны при быстрой частоте кадров (например, 34 кадра/сек при формате матрицы 512x512). Это свойство нашло свое применение при визуализации одной молекулы при низком освещении.

Однако, несмотря на высокую чувствительность в условиях очень низкой освещенности, существует ряд недостатков технологии EMCCD. Механизм усиления, необходимый для уменьшения эффективного шума считывания до $<1e^-$ также вызывает дополнительный источник шума, именуемый как мультиплексивный шум. Это значительно увеличивает дробовой шум сигнала на коэффициент 1.41, что проявляется в увеличении изменчивости низкого светового сигнала от пикселя к пиксели и от кадра к кадру. Суммарный эффект мультиплексивного шума проявляется в том, что полученное

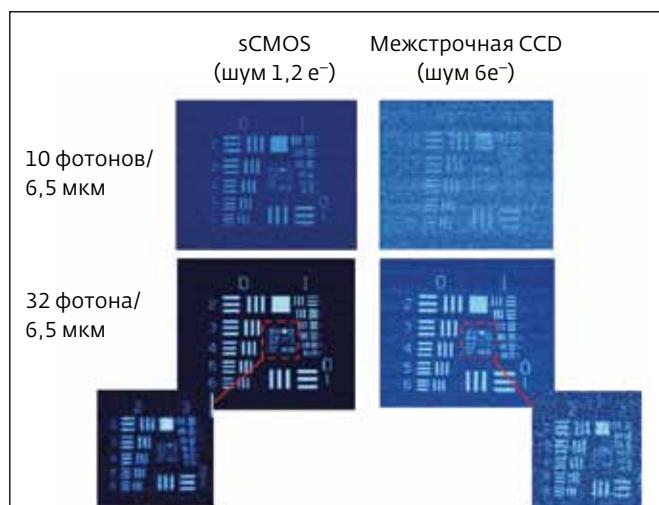


Рис.5. Сравнение чувствительности научных камер Andor на диаграмме разрешения при низком светодиодном освещении: sCMOS-матрица (шум считывания $1,2 e^-$ – при скорости считывания 560 МГц) и межстрочная CCD-матрица (шум считывания $6 e^-$ – при скорости считывания 20 МГц)

изображение имеет сниженное отношение сигнал-шум, уменьшая в два раза квантовую эффективность сенсора. Например, квантовая эффективность в 90% фактически имеет только 45%. Необходимо также учитывать ограничения динамического диапазона. Можно достичь высокого значения динамического диапазона с пикселем большого размера

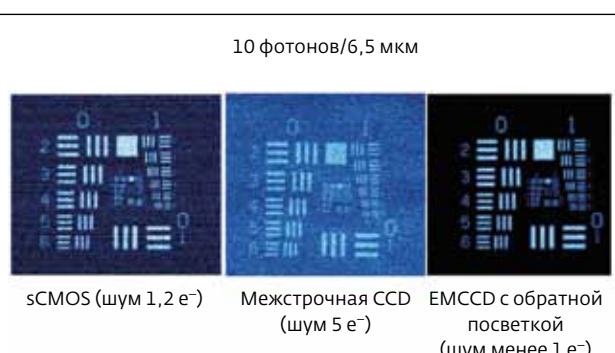


Рис.6. Сравнение чувствительности научных камер Andor на диаграмме разрешения при низком светодиодном освещении (10 фотонов на 6.5 мкм): sCMOS-матрица (шум считывания $1,2 e^-$ – при скорости считывания 560 МГц), межстрочная ПЗС-матрица (шум считывания $5 e^-$ – при скорости считывания 20 МГц) и EMCCD камера с задней подсветкой (шум считывания $<1 e^-$). Для получения эффективного шага пикселя и приема освещения на площадь пикселя, размер пикселя sCMOS-матрицы и межстрочной CCD-матрицы был подогнан по размеру пикселя EMCCD-камеры за счет режима биннинга 2x2 и составил 13 мкм.

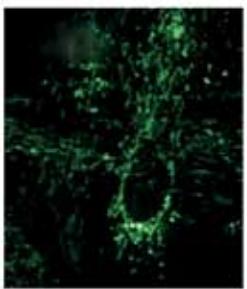
Таблица 1. Зависимость частоты кадров от размера матрицы для кадрового и строкового режима чтения sCMOS-камеры.

Размер матрицы (В x Ш)	Строковый режим чтения (число кадров в сек)	Кадровый режим чтения (число кадров в сек)
2560×2160 (полный кадр)	100	50
2064×2048 (4 Мп)	104	52
1 392×1 040 (1,4 Мп)	204	100
512×512	412	200
128×128	1,616	711

(от 13 до 16 мкм), но только при низких скоростях считывания.

Таким образом, более высокий динамический диапазон может быть достигнут только при более низкой частоте кадров (или путем уменьшения размера матрицы) и низком усиении. Применение более высокого значения усиления электронного умножителя негативно влияет на динамический диапазон. Стоимость данной матрицы также является ограничивающим фактором для ее использования. В настоящее время самый большой коммерчески доступный EMCCD-сенсор с задней подсветкой имеет разрешение 1024x1024 пикселов с шагом пикселя 13 мкм. Габаритный размер сенсора 13,3x13,3 мм.

sCMOS



Межстрочная CCD

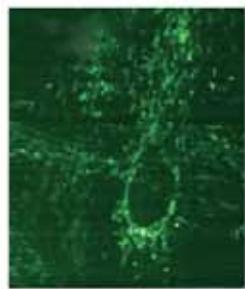


Рис.7. Сравнение чувствительности научных камер Andor при визуализации клетки методом флуоресценции, используя врачающие диски на конфокальном микроскопе (60-кратный иммерсионный объектив) при времени экспозиции 100 мс и одинаковой мощности лазера: sCMOS-матрица (шум считывания 1,3 е – при скорости считывания 560 МГц) и межстрочная CCD-матрица (шум считывания 5 е – при скорости считывания 20 МГц).

sCMOS (шум 1,2e⁻) Межстрочная CCD (шум 5e⁻)

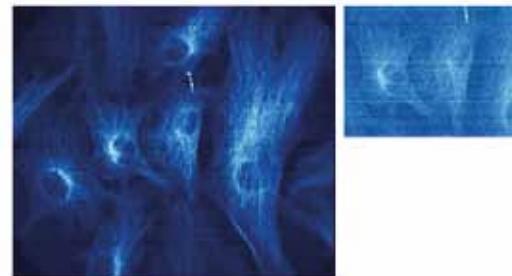


Рис.8. Сравнение чувствительности научных камер Andor при динамической визуализации живых клеток при низкой освещенности на флуоресцентном микроскопе: sCMOS-матрица (шум считывания 1,3 е – при скорости считывания 560 МГц) и межстрочная CCD-матрица (шум считывания 5 е – при скорости считывания 20 МГц). В широкопольном флуоресцентном микроскопе для уменьшения интенсивности света относительно уровня шума считывания использовались фильтры нейтральной плотности

Дальнейшее увеличение разрешения приведет к значительному росту цены сенсора.

Часть 2. sCMOS-камера: устранение ограничений

Технология sCMOS основана на новом поколении дизайна и технологии КМОП-процесса.

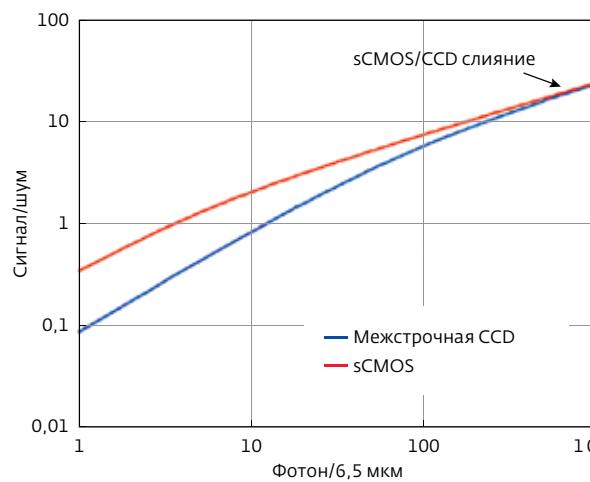


Рис.9. Сравнение соотношения сигнал-шум для научных камер Andor: sCMOS-матрица и межстрочная CCD-матрица. Поток фотонов (т.е. входная интенсивность света) представлен как отношение количества фотонов к размеру пикселя 6,5 мкм для каждого сенсора



Таблица 2. Сравнительные характеристики трех основных типов сенсоров: sCMOS, CCD и EMCCD

Параметры	Neo sCMOS	Межстрочная CCD	EMCCD
Формат сенсора	5,5 Мп	1,4 to 4 Мп	0,25 до 1 Мп
Размер пикселя	6,5 мкм	от 6,45 до 7,4 мкм	от 8 до 16 мкм
Шум считывания	1 е- при 30 кадр/с 1,3 е- при 100 кадр/с	4—10 е-	< 1е- (с усилением)
Полная частота кадров (макс.)	Стандартный режим: >30 кадров/сек Режим ускоренной обработки: 100 кадр/с	от 3 до 16 кадр/с	~ 30 кадр/с
Квантовая эффективность	57%	60%	90% при задней подсветке 65% при технологии "virtual phase"
Динамический диапазон	30000:1 (при 30 кадр/с)	~ 3000:1 (при 11 кадр/с)	8500:1 (при 30 кадр/с при низком усилении)
Мультипликативный шум	Отсутствует	Отсутствует	При усилении в 1.41 раз (фактически делит пополам квантовую эффективность)

Этот тип устройства имеет расширенный набор функций, что делает его пригодным для количественных научных измерений повышенной точности. sCMOS-сенсор можно считать уникальным прибором, который преодолевает ограничения, обсуждаемые ранее, а также устраняет недостатки производительности, которые традиционно были связаны с обычными КМОП-матрицами.

Сенсор sCMOS-матрицы с разрешением 5,5 Мп имеет большое поле зрения и высокое разрешение, не ставя под угрозу шум считывания или частоту кадров. Значение уровня шума считывания незначительно, даже по сравнению с самыми высокопроизводительными ПЗС-матрицами. Даже ПЗС-матрицы с медленным сканированием не способны достичь такого низкого уровня шума. Тот факт, что sCMOS сенсор достигает значения среднеквадратичного шума считывания в 1 е- электрон при считывании 5,5 Мп изображения со скоростью 30 кадров/с делает его поистине уникальным на рынке. Кроме того, сенсор способен достигать 100 полных кадров в секунду со среднеквадратическим шумом считывания в 1,3 е- электрон. Для сравнения, самое низкое значение уровня шума построчной ПЗС-камеры при считывании изображения размером 1,4 Мп при скорости 16 кадров/с составляет примерно 10 е-.

Можно получить большую скорость кадров посредством выбора определенной области, так что при изменении поля зрения достигается высокое

пространственное разрешение. Таблица 1 показывает зависимость частоты кадров от размера матрицы для кадрового и строкового режимов чтения sCMOS камеры

Следует отметить, что каждое из окон может быть расширено до полной ширины в горизонтальном направлении, и по-прежнему поддерживать ту же указанную частоту кадров. Например, окна

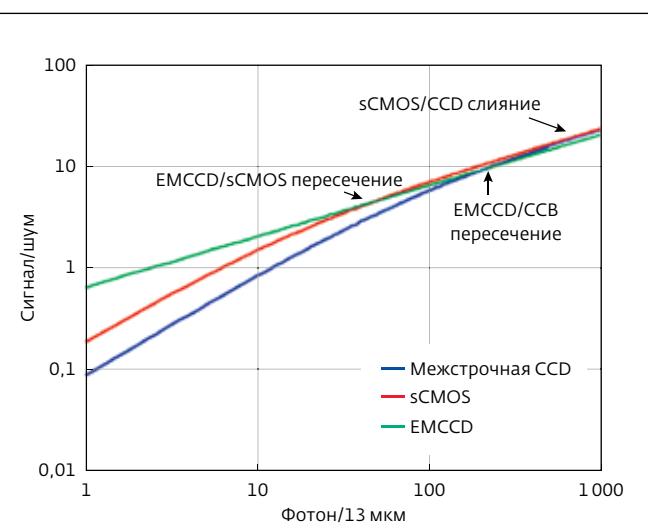


Рис.10. Сравнение соотношение сигнал-шум для научных камер Andor: sCMOS матрица, межстрочная CCD-матрица и EMCCD-матрица с задней подсветкой. Для объективной оценки размер пикселя sCMOS- и CCD-матриц был подогнан под размер пикселя EMCCD-матрицы путем режима биннинга 2x2

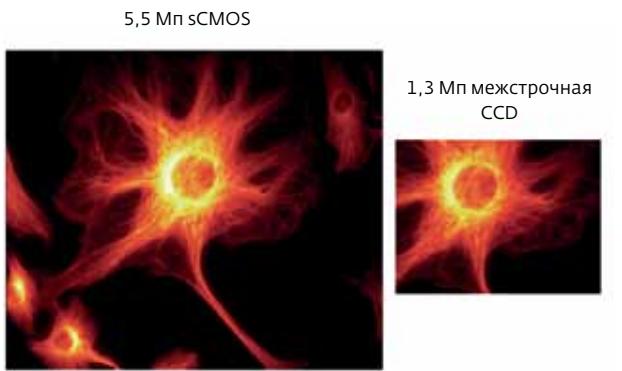


Рис.11. Сравнение поля зрения научных камер Andor (шаг пикселя составляет 6.5 мкм) при 60-кратном увеличении и числовой апертуре 1,25: sCMOS-матрица и межстрочная CCD-матрица с разрешением 5,5 и 1,4 Мп, соответственно. sCMOS-матрица демонстрирует широкое поле зрения при скорости 100 кадров/сек и шуме считывания 1,3 e-

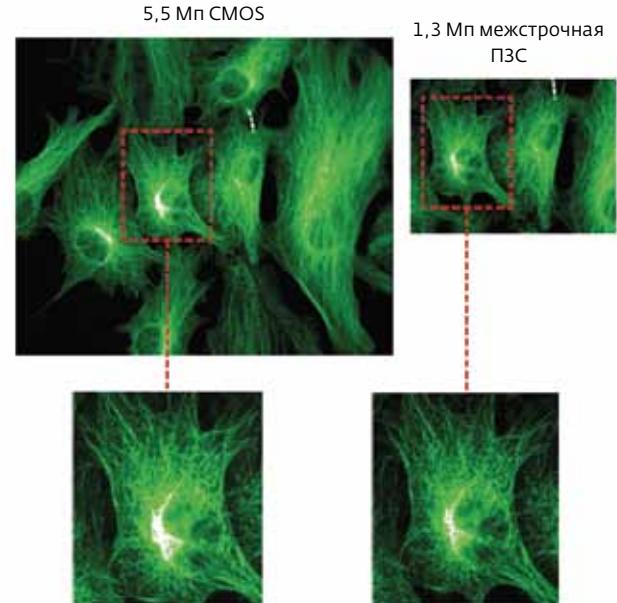


Рис.12. Сравнение поля зрения и разрешения научных камер Andor (шаг пикселя составляет 6,5 мкм) при 100-кратном увеличении и числовой апертуре 1,45: sCMOS матрица и межстрочная CCD-матрица с разрешением 5,5 и 1,4 Мп, соответственно

размером 1390×1024 и 2560×1024 пикселов поддерживают 220 кадров в секунду в построчном режиме работы камеры. Это особенно важно для приложений, где необходимо использовать длинную область захвата.

Значение низкого уровня шумов считывания дополняется высоким динамическим диапазоном 30000:1 при скорости 30 кадров в секунду. Сравнивая CCD- или EMCCD-сенсоры можно сказать, что для достижения высокого динамического диапазона им приходится ограничивать скорость считывания. Кроме того, структура sCMOS-сенсора при высоком динамическом диапазоне имеет большую емкость потенциальной ямы, несмотря на малый размер пикселя. Для сравнения, CCD-матрица с разрешением в 1,4 Мп получает динамический диапазон 1800:1 при 16 кадрах в секунду для аналогичного по размеру пикселя.

Часть 3. Сравнение sCMOS-камер с научными CCD- и EMCCD-камерами

Краткий сравнительный обзор sCMOS-сенсора приведен в табл.2. В табл.2 приведены сравнительные характеристики трех основных типов сенсоров: sCMOS, CCD-и EMCCD. Далее будут рассмотрены два вида сенсоров: CCD и EMCCD, учитывая их популярность использования в научных применениях для обработки изображений. Межстрочные CCD-матрицы, как правило, имеют разрешение от 1,4 до 4 Мп. Сенсоры EMCCD-матрицы имеют разрешение 0,25 или 1 Мп со скоростью до 30 кадров в секунду.

Очевидно, что по большинству параметров sCMOS матрицы имеют лучшие значения, это относится к шуму, скорости считывания, динамическому диапазону и соотношению поля зрения к разрешению. Важно отметить, что эти преимущества выполняются без ограничений. Преимущество по уровню шума считывания остается у EMCCD-технологии, которая усиливает входной сигнал над уровнем шума считывания и делает его значение менее <1e-. Помимо этого, sCMOS сенсоры имеют высокую квантовую эффективность (90%). EMCCD-технология, не имея таких высоких значений параметров, как у sCMOS сенсора (разрешение, поле зрения, динамический диапазон и частота кадров), тем не менее позволяет регистрировать слабые сигналы.

Рис. 5-8 демонстрируют чувствительность трех камер: sCMOS-камера с разрешением 5,5 Мп, межстрочная ПЗС-камера с разрешением 1,4 Мп и EMCCD-камера с задней подсветкой с разрешением 1 Мп. Данные камеры имеют следующие характеристики:

- sCMOS камера: скорость считывания 560 МГц, 100 кадров в секунду и шум считывания в 1,3 e-.
- CCD-камера, Andor Clara: скорость считывания 20 МГц, 11 кадров в сек и шум считывания в 5 e-.



- EMCCD-камера, Andor iXon 888: скорость считывания 10 МГц с 300 кратным коэффициентом усиления, 9 кадров в сек и шум считывания в 0.15 е-.

Условия формирования изображения при низкой освещенности были созданы с помощью светонепроницаемой установки, оснащенной диффузным, с переменной интенсивностью, свето-диодным источником света с длиной волны 622 нм, маской (состоящей как из набора отверстий так и из таблицы разрешения), а также с помощью конфокального вращающегося диска и обычных широкопольных флуоресцентных микроскопов, визуализирующих фиксированные бычии эпителиальные клетки, меченные красителем BODIPY FL (максимальная длина волны излучения ~ 510нм).

Светодиодная установка отлично подходит для сравнения чувствительности при крайне низкой освещенности, используя два параметра низкой интенсивности света: 10 фотонов/6,5 мкм и 32 фотонов/6,5 мкм. Превосходство соотношения сигнал-шум sCMOS камеры над оптимизированной CCD-камерой проявляется в виде контраста сигнала над шумом, что также способствует улучшению разрешающей способности. Тем не менее, сравнение двух sCMOS- и CCD-камер, а также EMCCD-камеры (рис. 6) в светонепроницаемой светодиодной установке

показали, что значение уровня шума считывания <1 е- и высокая квантовая эффективность приводят к высокому уровню контраста слабого сигнала.

На рис. 7 и 8 показаны четкие различия в контрастности слабых сигналов sCMOS и межстрочных CCD-камер. Разница контраста изображения возникает из-за разности шума считывания между двумя технологиями. Чувствительность трех матриц можно сравнить графически, используя параметр соотношения сигнал-шум, как показано на рис.9 и 10. На рис. 10 показано сравнение соотношения сигнал-шум для трех матриц (sCMOS, CCD и EMCCD с задней подсветкой). Все три сенсора имеют одинаковый размер пикселя 13 мкм. Есть два заметных пересечения, где соотношение сигнал-шум EMCCD-матрицы пересекает обе кривые значений sCMOS и CCD-матрицы, при потоках фотонов ~55 фотонов на пиксель и ~225 фотонов на пиксель, соответственно.

На рис. 11 и 12 показаны изображения от широкопольного флуоресцентного микроскопа при 60- и 100-кратном увеличении соответственно для 5,5 Мп sCMOS-матрицы и 1,4 Мп CCD-матрицы. Обе матрицы имеют шаг пикселя ~ 6,5 мкм, что позволяет наблюдать тонкие внутриклеточные структуры при большой освещенности, как показано на рис.12. При низком освещении, как показано



на рис.5 и 6, высокий уровень шума считываания CCD-матрицы влияет на разрешение и контраст изображения. Это основополагающий момент для измерения живых клеток, требующий низкого освещения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

После нескольких десятилетий развития технологии изготовления сенсоров для получения цифрового видеоизображения был достигнут зна-

чительный прорыв. Мы с уверенностью можем утверждать, что следующий шаг развития сенсорной технологии будет за КМОП-сенсорами. Технология sCMOS-матриц получила широкое признание в различных областях науки и техники, благодаря сочетанию следующих характеристик: чрезвычайно низкий уровень шума, высокая частота кадров, широкий динамический диапазон, высокая квантовая эффективность, высокое разрешение и большое поле зрения. ■

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОПТО- И МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Азиатско-тихоокеанская конференция по теме "Фундаментальные проблемы опто - и микроэлектроники" пройдет в 11–13 октября 2016 года в Хабаровске. Она станет продолжением ранее начатых обсуждений последних достижений в развитии оптоэлектронники, в области появления новых электронных и микроэлектронных систем, развития способов и устройств связи, методов измерения и сенсорных систем и сетей, их применений в науках о жизни, биомедицине, социальном обеспечении, контроле за про-



мышленными объектами. Также будет уделено внимание технологиям разработки и создания новых материалов и конструкций и новым принципам и методам обработки информации. Среди организаторов конференции Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС), Хабаровск. Председатель оргкомитета академик РАН Ю.Н.Кульчин (Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток). Сопредседатели: академик РАН О.Н.Крохин (ФИАН, Москва), академик Китайской академии наук О.У. Цзиньпин (DLUT, Далянь), доктор Иеши Никава (Univ. Kokushikan, Токио, Япония) и д.ф.-м.н. В.Криштоп (ДВГУПС, Хабаровск). Окончание регистрации на конференцию 20 сентября.

[По материалам arcom2016.dvgups.ru](http://arcom2016.dvgups.ru)



СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ, МОНИТОРИНГА И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

XIII научно-техническая конференция "Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования Земли" пройдет 12–18 сентября 2016 года в Сочи. Основные направления работы конференции:

- системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ);
- оптико-электронная аппаратура, устройства и датчики для систем наблюдения, мониторинга и ДЗЗ;
- наземные средства и методы приема и обработки информации;
- фотоприемники и элементная база для систем наблюдения и ДЗЗ;

- фотоника, авиационные и специализированные системы наблюдения.

Программа конференции "СИСТЕМЫ ДЗЗ-2016" предполагает проведение пленарных и секционных заседаний, выступления со стендовыми докладами, а также круглый стол по тематике конференции. Среди организаторов мероприятия ГК "РОСКОСМОС", МНТОРЭС им. А.С.Попова, АО "РКЦ "ПРОГРЕСС", НПП "ОПТЭКС", ОАО "РОССИЙСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ" и другие ведущие предприятия отрасли.

mntores.inlife.ru

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОПТИКИ-2016

На конференции "Фундаментальные проблемы оптики" ФПО-2016, которая состоится в Санкт-Петербурге 17–21 октября 2016 года, предполагается организовать работу по секциям, отражающим актуальные проблемы оптики:

- оптика фемто- и аттосекундных импульсов,
- квантовая оптика и фундаментальная спектроскопия,
- когерентные процессы взаимодействия света с веществом,
- новые принципы оптической передачи, обработки и хранения информации,
- оптические материалы фотоники,
- оптика для биологии и медицины.

Председатели конференции: академик РАН Ж.И. Алферов и член – корреспондент РАН В.Н. Васильев (Университет ИТМО), председатель программного комитета конференции: академик РАН Е.Б. Александров (ФТИ).

Организаторы конференции

- Оптическое общество им. Д.С.Рождественского, Санкт-Петербург (ООП)
- Университет ИТМО
- Московский государственный Университет им. М.В.Ломоносова (МГУ)
- Санкт-Петербургский государственный Университет (СПбГУ)
- НПК "Государственный оптический институт им. С.И.Вавилова" (ГОИ)
- Физико-технический институт им.А.Ф.Иоффе (ФТИ)
- Открытое акционерное общество "ЛОМО" (ЛОМО)
- Поддержку проведению конференции оказывают общества SPIE, IEEE, OSA.

conf-bpo.ifmo.ru