

КМОП- И ПЗС-ДАТЧИКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ВПЕРЕДИ СВЕТЛОЕ БУДУЩЕЕ

КМОП- и ПЗС-датчики изображения последнего поколения превосходят датчики предыдущих поколений по спектральной полосе пропускания и чувствительности, шумам и форм-фактору. Кроме того, они дешевле их. Новые архитектуры в сочетании с быстродействующими процессорами обработки изображения позволили повысить эксплуатационную гибкость и обеспечить большую универсальность систем, в которых эти датчики используются. Сегодня датчики изображения можно найти в мобильных телефонах, ноутбуках и портативных компьютерах, цифровых фотокамерах, видеоиграх, игрушках, медицинских приборах, автомобильных системах, системах безопасности, промышленном оборудовании и многих других устройствах. КМОП-датчики, которые дешевле ПЗС-устройств, широко применяются и во многих бытовых системах. Датчики этого типа непрерывно совершенствуются и уже вытесняют ПЗС в автомобильных системах безопасности. Согласно прогнозам, области применения КМОП-датчиков будут расширяться быстрее, чем ПЗС-преобразователей. Но вместе с тем промышленное оборудование, системы технического зрения, средства безопасности, научная и военная/космическая аппаратура по-прежнему нуждаются в ПЗС-датчиках с более высокими, чем у КМОП-преобразователей, характеристиками.

СРАВНЕНИЕ ПЗС- И КМОП-ДАТЧИКОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ

В конце 1960-х и начале 1970-х годов появились два совершенно разных устройства формирования изображения со своими достоинствами и недостатками — ПЗС- и КМОП-датчики. Непосредственно сравнивать эти два типа преобразователей изображения нельзя. Каждый тип привлекателен для конкретной области применения и ни один не превосходит другой по всем параметрам. Оба типа датчиков преобразуют свет в электрический сигнал. В ПЗС-датчике заряд каждого элемента изображения минимальных размеров (пиксела) передается

В.Шурыгина

на выходной (как правило, один) узел, где он преобразуется в напряжение. Это напряжение хранится в буфере и затем передается внешним устройствам обработки аналогового сигнала. Поскольку падающий свет преобразуют все пиксели матричного датчика, выходной сигнал ПЗС-преобразователя однороден, что важно для получения высококачественного изображения.

В КМОП-датчике изображения каждый пиксел преобразует заряд в цифровой сигнал с помощью фотодиода, соответствующего усилителя, схем подавления шума и преобразования получаемого напряжения в цифровую форму. В результате схема КМОП-датчика достаточно сложна, а минимальный размер элемента изображения относительно велик. А поскольку каждый пиксел самостоятельно преобразует падающий свет в электрический сигнал, однородность сигналов изображения хуже, чем у ПЗС-устройств.

Как ПЗС-, так и КМОП-датчики постоянно совершенствуются, и рынки их успешно развиваются. Существенно улучшены конструкция ПЗС-датчиков, методы их изготовления и используемые материалы. Непрерывно повышается квантовая эффективность, уменьшаются темновой ток, размер пиксела, рабочее напряжение, потребляемая мощность, совершенствуются методы обработки сигнала. Внешние схемы становятся сложнее, что облегчает применение ПЗС-преобразователей и позволяет быстрее выпускать их на рынок. Современные ПЗС-преобразователи обеспечивают более высокие характеристики, меньшие потребляемую мощность и габариты видео- и фотокамер. Они широко используются в системах массового производства (сотовых телефонах, камкордерах и цифровых фотоаппаратах) и системах, где требуются высокие характеристики датчика изображения (в профессиональной фотоаппаратуре, научном, медицинском и военном/аэрокосмическом оборудовании).

Первоначально на рынке преобладали ПЗС-преобразователи, поскольку при технологическом уровне 1970-х годов получаемое с их помощью качество изображения было выше, чем у КМОП-устройств. И лишь с развитием литографии в 1990-е годы удалось уменьшить размеры пикселей, снизить потребляемую КМОП-преобразователем мощность и создать камеру на кристалле с помощью полупроводниковой технологии. Началось



интенсивное развитие КМОП-датчиков изображения. Но за все, как в жизни, так и в технике, приходится платить. Совершенствование литографии и увеличение плотности размещения элементов датчика привели к росту издержек производства и усложнению конструкции устройства, а выполнение цифровых устройств обработки сигнала на одном кристалле с преобразователем – к росту шумов, вносимых транзисторами. К тому же, современные КМОП-преобразователи не оказались намного дешевле ПЗС-приборов, как изначально предполагалось. И сегодня не существует четкого разграничения между областями применения ПЗС- и КМОП-датчиков изображения. ПЗС-датчики можно найти в дешевых маломощных камерах сотовых телефонов, а КМОП-преобразователи – в профессиональных и промышленных видеокамерах с высокими характеристиками.

По данным аналитической компании IC Insights, среднегодовые темпы прироста продаж ПЗС- и КМОП-датчиков изображения за период 2008–2013 года составят 14%. При этом, согласно оценкам другой аналитической компании In-Stat, рынок ПЗС-датчиков за этот период практически не изменится, тогда как продажи КМОП-преобразователей достигнут ~2 млрд. шт. (рис.1). И если в 2008 году на их долю приходилось 87% объема отгрузок датчиков изображения, то в 2013-м эта доля превысит 96%. КМОП-датчики, которые до последнего времени использовались в основном в цифровых зеркальных фотоаппаратах, успешно вытесняют ПЗС-устройства в простейших цифровых фотоаппаратах типа "навел и снял" ("мыльница"). Тем не менее, аналитики компании In-Stat считают, что до 2013 года в профессиональных цифровых фотоаппаратах по-прежнему будут преобладать ПЗС-датчики.

Росту продаж датчиков изображения в ближайшие годы будет способствовать развитие сетей связи четвертого поколения (4G) на основе беспроводной технологии Long Term Evolution (LTE), обеспечивающей передачу видео высокой четкости в режиме реального времени. Изготовители мобильных средств связи включают в свои изделия цифровые фотокамеры в качестве стандартного компонента. При этом все больше изготовителей выпускают мобильные устройства с двумя камерами: одной – для съемки и второй – для поддержки видеосвязи.

Вторым крупным сегментом рынка станут встраиваемые камеры персональных компьютеров. По объему продаж датчики изображения для ПК уже к 2011 году превзойдут приборы для цифровых фотоаппаратов. Если несколько лет назад только компания Apple выпускала настольные и портативные компьютеры с цифровыми камерами, то в 2008 году почти все крупные поставщики ПК предлагали мобильные ПК с видеокамерами.

Основные поставщики датчиков изображения – компании Aptina Imaging (выделавшееся в 2008 году отделение фирмы Micron Technology), MagnaChip, OmniVision Technologies, Sharp, Sony и Panasonic.

Каковы же последние достижения в области преобразователей изображения?

КМОП-ДАТЧИКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Совершенствование характеристик

Сегодня КМОП-датчики изображения отвечают многим требованиям современных систем формирования изображения. Новые разработки и технологические процессы обеспечивают дальнейшее совершенствование рабочих характеристик этих устройств. Так, идея, предложенная специалистами Лаборатории реактивного движения (JET) космического агентства NASA*, позволяет существенно снизить перекрестные помехи преобразователя, обусловленные диффузией возбужденных носителей заряда. В идеальном случае пространственное разрешение КМОП-преобразователя изображения ограничено геометрическим размером пиксела. Но в действительности разрешение, как правило, ограничено перекрестными помехами (срабатыванием пиксела на свет, падающий на соседний элемент изображения) матричного датчика, что приводит к снижению его чувствительности, ухудшению цветовой верности и возникновению дополнительного искажения изображения после корректировки цвета.

Пиксел обычного датчика изображения содержит диод, образованный карманом n-типа и эпитаксиальным слоем p-типа и через p⁺-область присоединенный к истоку МОП-транзистора сброса (рис.2а). Транзистор сброса и связанный с ним истоковый повторитель представляют собой n-канальные МОП-транзисторы, размещенные в кармане p-типа. При напряжении питания МОП-транзисторов 3–5 В (и, соответственно, при напряжении диода 2–3 В) глубина залегания области обеднения p-n-перехода слишком мала для того, чтобы предотвратить горизонтальную диффузию фото-возбужденных носителей в необедненную эпитаксиальную область. Чтобы увеличить глубину залегания обедненной области, необходимо подавать на диод обратное напряжение, равное ~50 В, что недопустимо, поскольку напряжение питания транзисторов пиксела должно составлять всего 3–5 В.

Специалисты JET предложили легировать структуру каждого пиксела двумя примесями для формирования дополнитель-

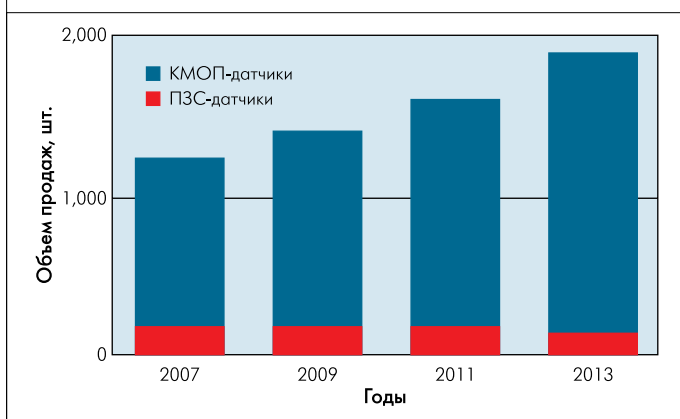


Рис. 1. Мировой объем отгрузок датчиков изображения

* Любопытно, что первые образцы датчиков с так называемыми активными пикселями были созданы именно в этой лаборатории.

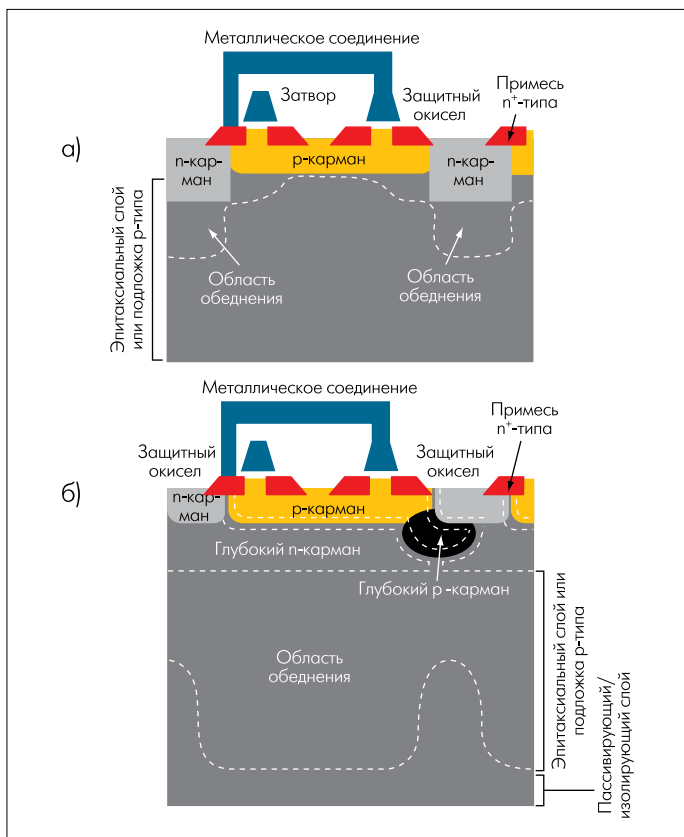


Рис.2. Структуры обычного КМОП-датчика (а) и датчика JET с глубокими p- и n-карманами (б)

ных глубоких карманов n- и r-типа. В такой структуре фотодиод формируют глубокий карман n-типа и эпитаксиальный слой или подложка r-типа. Анод диода (n-область) через обычный n-карман присоединен к n⁺-области истока транзистора сброса. При этом оба МОП-транзистора (сброса и истоковый повторитель) расположены, как в обычном датчике, в r-кармане (рис.2б). Однако в отличие от обычного устройства глубокий n-карман в вертикальном направлении электростатически отделяет r-карман от эпитаксиального слоя или подложки r-типа. Изоляцию соседних фотодиодов в горизонтальном направлении обеспечивают глубокие r-карманы, препятствующие диффузии электронов в соседние элементы изображения. Поскольку обычные и глубокие r-карманы электростатически изолированы глубоким n-карманом от эпитаксиального слоя или подложки r-типа, на этот эпитаксиальный слой можно подавать любое отрицательное смещение (вплоть до 50 В, что обеспечивает глубину залегания обедненной области 50 мкм), не вызывая увеличения разности потенциалов между n- и r-карманами выше уровня 2–3 В, требуемого для работы МОП-транзисторов в обычном режиме.

В системах контроля перемещений и в промышленных системах управления необходим синхронный опрос всех пикселей преобразователя изображения и сохранение неискаженных данных до полного считывания изображения часто при неблагоприятных условиях освещения. Долгое время КМОП-преобразователи изображения не отвечали этим требованиям. Поэтому в промышленных системах управления предпочтение отда-

валось ПЗС-датчикам, в которых заряды всех экспонированных пикселей переносятся одновременно. Фотодиоды ПЗС-матрицы сразу готовы к следующей экспозиции. Это позволяло применять электронный затвор для кадровой передачи изображений. Разработка КМОП-преобразователей с возможностями параллельного вывода сигналов, организации многооконного интерфейса и интеграции электронных компонентов на одном кристалле с датчиком открыла новые области их применения, в том числе и в системах технического зрения. Так, бельгийской компанией Stmosis разработан КМОП-датчик изображения с шеститранзисторной структурой электронного кадрового затвора. Система формирования изображения на основе этого датчика в процессе считывания может захватывать следующий кадр. Это достигнуто благодаря вводу в каждый пиксел датчика накопительного узла, которому и передается сигнал после захвата изображения. Чувствительность накопительного узла к свету весьма низкая, это обеспечивает малые шумы, вносимые в сигнал каждого пиксела, и широкий динамический диапазон датчика. В столбцах пикселей датчика расположены разработанные компанией быстродействующие АЦП.

Швейцарская компания Photonfocus AG в сентябре 2008 года выпустила КМОП-датчики изображения третьего поколения серии A1312. Датчики выполнены по оптимизированной 0,35-мкм КМОП-технологии и отличаются высокими значениями чувствительности и квантовой эффективности в спектральном диапазоне 350–1000 нм. Разрешение новых датчиков составляет 1312 1082 пиксела, размер пиксела – 8 8 мкм, коэффициент заполнения пиксела (отношение светочувствительной площади пиксела к его общей площади) – 60%. Датчики имеют электронный кадровый затвор, позволяющий получать резкое неискаженное изображение при высоком быстродействии. Благодаря запатентованной компанией технологии LINLOG, обеспечивающей линейную характеристику чувствительности при низких уровнях освещенности и логарифмическую зависимость при высоких уровнях освещенности, динамический диапазон датчиков достигает 120 дБ при быстродействии до 110 кадров/с и полном разрешении. Датчики имеют прочное неорганическое покрытие, которое уменьшает отражаемый поверхностью датчика свет и предотвращает нежелательные искажения, вызываемые оптикой системы, особенно в ближней ИК-области (~850 нм). Поставляются датчики в корпусе CQFP144 без стеклянной крышки. Диапазон рабочих температур – -20...85°C.

Чем меньше размеры пиксела КМОП-датчика, тем сложнее достичь требуемых характеристик и качества изображения. По утверждению разработчиков компании OmniVision Technologies, ими совместно с производственным партнером Taiwan Semiconductor Manufacturing Corp. (TSMC) удалось успешно решить эту проблему путем подсветки датчика с тыльной стороны пластины (backside illumination – BSI). В КМОП-датчике с такой архитектурой, названной OmniBSI, исключены потери, обусловленные прохождением света через несколько ме-



таллических и диэлектрических слоев, необходимых для преобразования энергии фотонов в энергию электронов (рис.3). OmniBSI-архитектура имеет и дополнительные достоинства: большую чувствительность, лучший квантовый выход, меньшие шумы и разброс времени отклика пикселей матрицы. Датчики с такой архитектурой более компактны в сравнении с датчиками с фронтальной регистрацией светового потока (front side illumination, FSI) и по качеству формируемого изображения не уступают образцам с более крупными пикселями. Правда, BSI-техника не нова (исследования ведутся уже ~20 лет) и варианты ее запатентованы несколькими производителями. Но компания OmniVision оказалась первой, запустившей ее в коммерческий оборот. В подтверждение этого на ежегодном Всемирном мобильном конгрессе (Mobile World Congress), проходившем в феврале 2009 года в Барселоне, компания продемонстрировала фотоприемник OV8810, выполненный на базе 8-Мп (восьмимегапиксельного) датчика серии CameraChip с OmniBSI архитектурой (размер пикселя – 1,4 мкм) и цифрового процессора обработки изображения Milbeaut M-5MO компании Fujitsu Microelectronics. Серийное производство фотоприемника планировалось начать в первом квартале 2009 года.

КМОП-датчики изображения с тыльной подсветкой выпустили также компании Sony (5-Мп устройство с размером пикселя 1,75 мкм, предназначенное для мобильных телефонов, цифровых фотоаппаратов и камкордеров) и STMicroelectronics (3-Мп датчик с размером пикселя 1,45 мкм).

Совершенствование видео- и фотокамер

Встроенные видеокамеры быстро становятся стандартным компонентом ПК и ноутбуков. А с распространением широкополосных дисплеев ПК получают возможность воспроизведения видеoinформации высокой четкости (High Definition – HD). На рынке уже появились специально разработанные видеокамеры HD-изображения. И, согласно прогнозам аналитической компании Techno Systems Research, объем продаж web-камер для ноутбуков к 2012 году превысит 6 млрд. долларов.

О возможности успешного проникновения КМОП-датчиков изображения с высокими характеристиками на рынок бытовой техники свидетельствуют новые преобразователи VD6853 и VD6803 с разрешением 3,15 Мп (2048 1536 пикселей) компании STMicroelectronics. Датчики имеют встроенные средства регулировки глубины резкости, что наряду с малыми размерами пикселя (1,75 мкм), позволяет получать изображение отличного качества при фокусном расстоянии менее 15 см. Кроме того, датчик содержит встроенные фильтры, в том числе четырехканальный антивиньеточный фильтр для балансировки неравномерности освещения или мгновенной коррекции дефектов в момент съемки. Это обеспечивает оптимальное качество изображения без усложнения процедуры настройки. VD6803 выпускается с параллельным 10-бит интерфейсом, VD6853 – с интерфейсом CPP2. Датчики поставляются для непосредствен-

ного монтажа кристаллов на плату или в корпусе с размерами, близкими к размеру кристалла, который монтируется на плату по технологии выполнения соединений с помощью сквозных отверстий в кремнии (Through Silicon Via – TSV). Размер модуля составляет 6,5 6,5 мм. Предназначены датчики для мобильных устройств, сотовых телефонов, смартфонов, КПК, игровых консолей. Массовое производство датчиков VD6853 и VD6803 намечено на третий квартал 2009 года.

Интерес представляет и появившийся в конце 2008 года КМОП-датчик компании Samsung с разрешением 1,2 Мп (1280 960 пикселей) и малыми габаритами, позволяющими монтировать его в обрамление дисплея портативного компьютера. Датчик S5K4AW оптического формата 1/4 дюйма представляет собой систему на кристалле (размер пикселя 2,8 мкм) и поддерживает съемку HD-видео стандарта 720p (1280 720 пикселей) со скоростью 30 кадров/с, а также VGA-видео (640 480 пикселей) со скоростью до 60 кадров/с. Разработчикам удалось решить задачу получения изображения высокой четкости в реальном времени с помощью усовершенствованной технологии биннинга (процесса суммирования зарядов смежных ячеек в один суперпиксел при считывании информации). Предложенная технология обеспечила создание групп по 2 2 пикселей и позволила справиться с проблемой низкой светочувствительности КМОП-датчиков изображения. Причем в отличие от традиционных методов биннинга, используемых в промышленных устройствах и дающих прирост светочувствительности на 20%, компания Samsung добилась увеличения светочувствительности датчика почти в три раза. Этот показатель особенно важен в случаях, когда единственным источником света служит компьютерный экран. Таким образом, в сравнении с камерами с несколько большим разрешением (1,3 Мп), которые сегодня можно найти во многих ноутбуках, световые характеристики нового КМОП-датчика изображения компании Samsung значительно выше.

Помимо камер ПК и ноутбуков, датчик S5K4AW может быть использован для проведения видеоконференций, обмена фай-

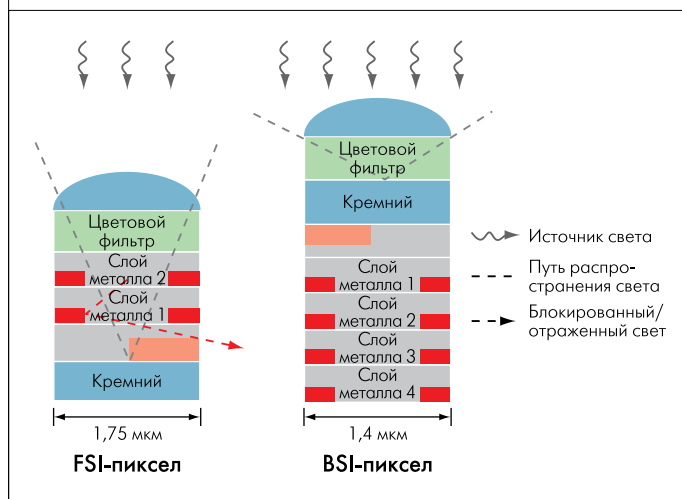


Рис.3. Переход от архитектуры с фронтальной регистрацией светового потока (FSI) к архитектуре с тыльной засветкой (BSI)

лами в социальных сетях, таких как YouTube, для непосредственного сканирования изображений в Интернете, биометрической идентификации, а также в системах безопасности.

Массовое производство нового датчика изображения планировалось начать в первой половине 2009 года.

В начале 2009 года компания OmniVision представила новейший цветной КМОП-датчик изображения для web-камер модели OV7740. Датчик разработан специально для получения изображения высокого качества при низких уровнях освещенности. Чувствительность датчика с фирменной архитектурой OmniPixel3-HS (технологическая норма 4,2 мкм) составляет 6800 мВ/л.с. OmniPixel3-HS – это архитектура последнего поколения, в которой предусмотрено фронтальное освещение кремниевого слоя, что обеспечивает существенное улучшение качества изображения в условиях низкой освещенности. Пиксел датчика такой архитектуры формирует резкое, чистое с точным воспроизведением цвета изображение. При размере пиксела 4,2 мкм датчик OV7740 по своим характеристикам не уступает однокристалльной камере оптического формата 1/5 дюйма. Скорость передачи составляет 60 кадров/с для VGA-разрешения и 120 кадров/с для QVGA-разрешения (320 240 пикселей) при полном управлении качеством изображения, форматированием и передачей выходных данных пользователем. Все функции обработки изображения, включая установку времени экспозиции, степени контрастности, баланса белого, насыщенности цвета, регулировку цветового тона, подавление сигнала дефектного пиксела и помех, программируются через последовательный интерфейс шины управления. Кроме того, в схему датчика входит однократно программируемая память.

Помимо ноутбуков, датчик OV7740 может найти применение в системах безопасности, наблюдения, автомобилях, играх и игрушках. Массовое производство датчика планировалось начать в первом квартале 2009 года.

В начале 2009 года компания OmniVision также представила камеру с возможностью изменения формата изображения, выполненную на основе технологии CameraCube. В компактном корпусе камеры размером 2,5 2,9 2,5 мм расположены полнофункциональный однокристалльный датчик изображения, встроенный процессор обработки изображения и оптика. Благодаря своим функциональным возможностям и малым габаритам камера весьма перспективна для применения в современных мобильных телефонах очень малой толщины. Компания предлагает два датчика, выполненных по этой технологии, – OVM6680 с разрешением 400 400 пикселей и OVM7690 с разрешением VGA.

Перспективная область применения КМОП-датчиков изображения – зеркальные фотоаппараты. Усиление требований к выполнению съемки с таким же фокусным расстоянием и под тем же углом, что и 35-мм фотокамеры со сменными объективами, стимулирует разработку полноформатных КМОП-датчиков изображения 35-мм формата. И такие датчики уже появились. Полноформатный 35-мм КМОП-датчик изображения

(диагональ изображения – 43,3 мм) для цифровых зеркальных фотоаппаратов создан компанией Sony. Разрешение его составляет 24,81 эффективных пикселей. В датчике использован разработанный компанией метод параллельного аналого-цифрового преобразования столбцов, для чего каждый столбец датчика имеет 12-бит АЦП. В результате минимизируется ухудшение качества изображения, вызываемое помехами, которые возникают при аналоговой обработке сигнала. К тому же при этом обеспечивается чрезвычайно высокая скорость преобразования. Быстродействие датчика составляет 6,3 кадра/с. Предусмотрен вывод данных через 12-канальный параллельный LVDS-интерфейс. Размер кристалла датчика составляет 41 31,9 мм, размер пиксела – 5,94 5,94 мкм.

Значительно повысить чувствительность КМОП-датчиков, предназначенных для мобильных телефонов и цифровых зеркальных фотоаппаратов, удалось специалистам компании Eastman Kodak. К красным, зеленым и синим элементам массива фильтров цветовой модели Байера они добавили четвертый "чистый" элемент. В итоге новый массив пикселей датчика улавливает большее количество света, и чувствительность датчика возрастает на порядок. Таким образом, стала возможна съемка при скудном освещении.

Совершенствование характеристик КМОП-датчиков изображения открывает новые возможности их применения как в бытовой, так и профессиональных системах. В качестве примера можно привести цифровую камеру средства контроля MicroExplorer компании Ridge Tool, выпускающей инструментальное оборудование. В камере использован КМОП-датчик изображения, укрепленный на одном конце гибкого кабеля, к другому концу которого присоединено ручное устройство контроля с цветным ЖК-индикатором.

Прямая дорога вперед

Системы помощи водителю в управлении автомобилем, оснащенные видеокамерами на основе КМОП-датчиков изображения, играют важную роль в обеспечении безопасности дорожного движения. Совместно с последними поколениями высокопроизводительных традиционных и сигнальных процессоров и программными средствами эти системы формирования изображения смогут поддерживать потоки данных видеосистем, радио- и лазерных локаторов, а также выступать в роли "мозга" будущих автомобилей. Они могут определить, что водитель устал, по изображению его лица различать дорожные знаки, предупреждать об условиях парковки или нарушении полосы движения, воспроизводить передний и задний виды дороги, обнаруживать пешеходов, помогать управлять автомобилем в ночное время. Примеров КМОП-датчиков изображения, предназначенных для автомобилей, множество. Наиболее интересные приборы в последнее время представили компании Melexis, OmniVision Technologies, Sensata Technologies и STMicroelectronics.

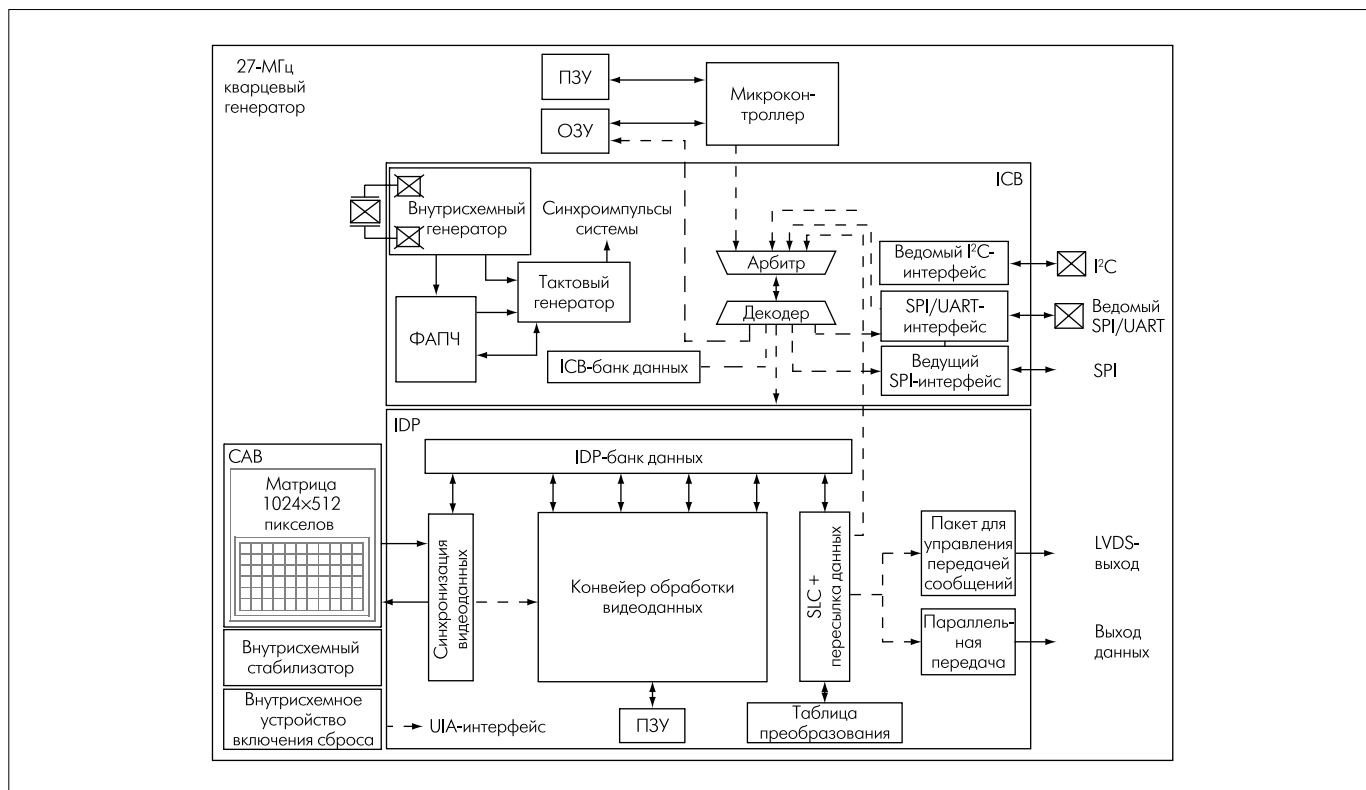


Рис.4. Блок-схема преобразователя изображения VL5510

Компания Melexis в конце 2008 года выпустила КМОП-датчик изображения третьего поколения MLX75307 для видеокамер автомобилей. Благодаря высокому разрешению (750 400 пикселей) и достаточно большому размеру пиксела (10 10 мкм) датчик пригоден для систем переднего обзора, таких как усовершенствованные системы помощи водителю (Advanced Driver Assistance Systems – ADAS), для систем адаптивного освещения и систем ночного видения. Кадровый затвор с высоким динамическим диапазоном (190 дБ при работе в многокадровом режиме) позволяет снимать быстро движущиеся объекты при ярком освещении и в тени. Отношение сигнал-шум равно 102 дБ, напряжение питания – 3,3 В. Широкий диапазон рабочих температур (-40...125°C при соответствии требованиям к электрическим характеристикам и -40...105°C при соответствии требованиям к оптическим характеристикам) позволяет монтировать датчик под крышкой автомобиля за лобовым стеклом. Характеристики датчика определены в соответствии со стандартом 1288 Европейской ассоциации технического зрения (EMVA).

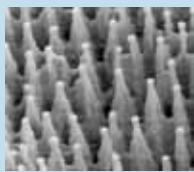
Перспективен для систем ADAS и КМОП-датчик изображения модели VL5510 компании STMicroelectronics. Разрешение датчика, выполненного по 0,13-мкм технологии с четырьмя уровнями металлизации, составляет 1024 512 пикселей, чувствительность – 7,14 В/лк, размер пиксела – 5,6 5,6 мкм, скорость сканирования – 34 кадров/с. Датчик содержит следующие блоки (рис.4):

- специальный хост обработки изображения (eWARP-микроконтроллер), разработанный совместно с компанией MobilEye VisionTechnologies;

- блок управления изображением (Imager Control Block – ICB), в который входят все интерфейсы датчика, устройства маршрутизации и сброса, а также схема управления тактовыми сигналами;
- блок конвейерной обработки данных изображения (Imager Data Pipeline – IDP) в реальном времени на тактовой частоте пиксела;
- специализированный аналоговый блок (Custom Analog Block – CAB), в который входят матрица пикселей и все аналоговые элементы преобразователя;
- блок передающих устройств, содержащий кодеры видеоданных и передатчики, а также последовательные и параллельные интерфейсы.

Динамический диапазон КМОП-преобразователя изображения компании Sensata Technologies (Нидерланды) составляет 54 дБ, что позволяет различать детали объекта при ярком свете и в тени. Преобразователь позволяет получать изображение в монохромном, RGB- или интенсивном RGB-формате (RGBi).

На Международной конференции по твердотельным схемам (ISSCC) представители Швейцарского центра электроники и микропроцессорной техники (Swiss Centre for Electronics and Microtechnology – CSEM) сообщили о результатах своей почти десятилетней работы, целью которой было снизить стоимость преобразователей изображения для автомобилей, промышленного оборудования и бытовой техники. Центром создана система на кристалле Isusat, содержащая КМОП-датчик с разрешением 320 240 пикселей, 32-бит сигнальный микроконтроллер на частоту 50 МГц и СОЗУ емкостью 128 Кбайт. Разрешение датчика не-

"ЧЕРНЫЙ КРЕМНИЙ" ВЫХОДИТ В СВЕТ

Следует признать, что "черный кремний" – весьма интересный технический термин, появившийся в последние годы. Материал, который, согласно отчетам, в 100–500 раз превосходит обычный кремний по светочувствительности, получен почти десять лет назад учеными Гарвардского университета. Они обнаружили, что при воздействии на кремний мощным лазерным излучением с длительностью несколько фемтосекунд (10^{-15} с) в присутствии газообразного гексафторида серы поверхность материала окантовывается "украшенной" гирляндами небольших конусообразных выступов. Такой шероховатый кремний поглощает почти весь падающий на него свет и кажется черным. Отсюда и его название. Первоначально предполагалось, что высокая чувствительность черного кремния обусловлена многократным соударением фотонов с выступами, в результате чего возрастает вероятность их поглощения и перехода электронов из валентной зоны в зону проводимости. Однако теоретически энергия ИК-излучения, на которое также реагировал черный кремний, недостаточна для того, что вызвать переход электронов из одной зоны в другую зону с большей энергией. ИК-излучение должно проходить через материал, не взаимодействуя с ним. По-видимому, воздействие лазерного импульса в парах гексафторида серы приводит к необычно высокому уровню легирования серой тонкого слоя верхушек выступов. Для переброса электронов, возбуждаемых в таких слоях, в зону проводимости требуется значительно меньше энергии, чем обычно. Таким образом, обработанный кремний может поглощать больше света видимого диапазона, а также, в отличие от традиционно используемого в полупроводниковой электронике кремния, поглощать и ИК-излучение. При этом подача небольшого напряжения на черный кремний приводит к тому, что фотон высвобождает значительно больше электронов в валентной зоне, т.е. материал сильнее реагирует на слабый сигнал.

Сейчас разработки в области черного кремния ведет компания SiOnyx, образованная учеными Гарвардского университета и имеющая исключительную лицензию на этот материал. Компания активно ведет работы по коммерциализации изделий на основе нового материала. По мнению специалистов компании, его свойства позволят создавать приборы, которые заменят менее чувствительные преобразователи изображения в самых разнообразных системах – от рентгеновского оборудования и аппаратуры ИСЗ до очков ночного видения и бытовой электроники. Кроме того, разработчики считают, что новый материал весьма перспективен для создания высокоэффективных солнечных батарей. Правда, эта разработка будет реализована еще не скоро.

<http://earth2tech.com>

велико по сравнению с мегапиксельными устройствами, используемыми в цифровых фотоаппаратах и видеокамерах телефонов. Однако в системе Isusat предусмотрено управление временем интеграции отклика пиксела, что позволяет логарифмически масштабировать регистрируемую интенсивность света в чрезвычайно широком динамическом диапазоне – 132 дБ. Размер преобразователя, выполненного по 0,18-мкм КМОП-технологии, составляет 44,2 мм. Потребляемая мощность равна 80 мВт.

Разработчики утверждают, что однокристалльный преобразователь изображения Isusat позволит снизить стоимость "умных" видеосистем, благодаря чему они станут стандартными устройствами будущих автомобилей. По оценкам компании по маркетинговым исследованиям ABI Research, к 2012 году "умными" видеосистемами Isusat будут оснащены до 3 млн. автомобилей.

ПЗС-ДАТЧИКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ НЕ УСТУПАЮТ СВОИХ ПОЗИЦИЙ

Высококачественные профессиональные фотоаппараты, системы технического зрения, системы формирования изображения высокой четкости, беспроводные системы безопасности и военная/аэрокосмическая аппаратура не могут обойтись без ПЗС-датчиков изображения. И наряду с активным совершенствованием КМОП-датчиков не прекращаются работы и в области ПЗС-устройств. В качестве примера можно привести разработанную компанией Eastman Kodak технологию четвертого поколения TRUESENSE, предназначенную для создания полноформатных ПЗС-датчиков с размером пиксела 6 мкм для профессиональной фотоаппаратуры. Разрешение первого, реализованного по этой технологии матричного ПЗС-датчика KAF-50100, составляет 50 Мп (8176 × 6132 пикселей). Размер датчика – 48 × 36 мм, размер пиксела – 6 мкм, что на 28% меньше размера пиксела датчиков предыдущего поколения. Несмотря на такой размер пиксела, основные характеристики датчика не изменились в сравнении с предыдущими устройствами.

Для снижения шума датчика разработчики вдвое увеличили (с двух до четырех) число каналов считывания, уменьшив в два раза ширину пропускания усилителей. Четыре усилителя датчика работают на частоте 18 МГц против частоты двух усилителей датчика предыдущего поколения 24 МГц. Другой прием, использованный компанией для сокращения энергопотребления датчика и времени "щелчка для захвата изображения", заключается в одновременном возврате всех принимающих ячеек матрицы в исходное состояние с помощью одного импульса. Метод, названный "импульсной очисткой", позволил сократить время возврата в исходное состояние с миллисекунд до микросекунд. Кроме того, с целью улучшения цветопередачи красные светофильтры сдвинуты на 15 нм ближе к синим, что обеспечило лучшее считывание изображения желтого и оранжевого цвета.

Новая технология использована и в ПЗС-датчике изображения KAF-37500, разрешение которого составляет 37,5 Мп. Размер датчика – 45 × 30 мм.



На выставке Photokina, проходившей в сентябре 2008 года в Кельне, демонстрировались две профессиональные фотокамеры на базе новых датчиков – зеркальная камера модели H3DII-39 компании Hasselblad с датчиком KAF-5010 и камера S2 компании Lieca с датчиком KAF-37500.

Многие годы компания Fujifilm совершенствует технологию получения высококачественных фотографий с использованием платформы Super CCD Sensor, которая позволяет получать высокое разрешение и широкий динамический диапазон. Последняя разработка компании – датчик Super CCD EXR, или датчик "три в одном". Он назван так, поскольку сочетает три до сих пор считавшиеся несовместимыми характеристики – высокое разрешение, высокая чувствительность и широкий динамический диапазон.

До последнего времени считалось, что в одном датчике изображения, особенно предназначенном для компактных камер, нельзя получить высокое разрешение и высокую чувствительность. Это связано с тем, что при высокой плотности размещения пикселей приходится уменьшать физические размеры фотодиодов, что влечет за собой увеличение шума и степени размытости изображения. Решение этой проблемы стало возможным в рамках проводимой компанией Fujifilm программы естественной фототехнологии (Real Photo Technology), цель которой – создание компактного универсального датчика, как можно более точно имитирующего работу человеческого глаза.

В ПЗС-датчике изображения Super CCD EXR усовершенствованы три ключевых элемента:

- компоновка цветового фильтра;
- метод биннинга пикселей;
- схема управления зарядом.

В отличие от классической байеровской матрицы, в датчике Super CCD EXR пиксели одного цвета располагаются попарно. В результате площадь элементов формирования изображения и, следовательно, их чувствительность удваиваются, а темновой ток существенно уменьшается. Благодаря такому расположению пикселей появилась возможность суммировать сигнал двух соседних элементов изображения одного цвета. Это приводит к уменьшению разрешения, но позволяет значительно уменьшить уровень шума. Кроме того, диагональное, и, как следствие, более близкое расположение пикселей одного цвета позволяет избежать проблемы "ложного цвета".

Чтобы обеспечить широкий динамический диапазон, компания применила технологию двойного захвата изображения (Dual Capture Technology). При ее разработке компания Fujifilm взяла все лучшее от датчика Super CCD SR предыдущего поколения, сочетающего большие высокочувствительные S-пиксели и маленькие, менее чувствительные, R-пиксели. Объединение сигналов пикселей двух типов позволяет получить расширенный динамический диапазон. В новом сенсоре использована технология двойного управления экспонировани-

ем за счет контроля времени экспозиции. Одна и та же сцена регистрируется датчиком дважды: один раз – с высокой чувствительностью, второй – с низкой. На основе полученной информации формируется кадр. Таким образом, новая матрица позволяет считывать сигнал каждой половины пикселей отдельно, благодаря чему можно одновременно экспонировать пиксели одного размера с разной чувствительностью и получать фотографии с широким динамическим диапазоном. Кроме того, метод позволяет выбирать один из трех возможных режимов работы сенсора. При хорошем освещении оправдана работа в режиме высокого разрешения, когда активны все пиксели матрицы. При недостаточно высокой интенсивности целесообразно работать в режиме слияния пикселей (Pixel Fusion), когда пары соседних пикселей образуют матрицу с разрешением 6 Мп. При этом достигаются высокая чувствительность и малый шум. Для получения хорошо прорисованных деталей как в светлых, так и темных участках кадра предпочтителен режим Dual Capture.

Для обработки больших изображений компания Fujifilm применила быстрый RP (Real Photo) процессор.

Новая компоновка светофильтров в сочетании с другими новыми технологиями позволила обеспечить то же высокое разрешение 12 Мп, что и у ПЗС-датчиков предыдущих поколений, не жертвуя при этом качеством изображения.

На Международной выставке "Фотофорум 2009", проходившей в апреле 2009 года в Москве, компания FujiFilm представила цифровой фотоаппарат Fuji FinePix F200EXR с датчиком изображения Super CCD EXR.

Конечно, КМОП-датчики изображения вытесняют ПЗС-устройства во многих системах. Но ПЗС-датчики всегда найдут свои ниши, в которых только они смогут обеспечить требуемое качество изображения. А в дополнение к господствующим на рынках КМОП- и ПЗС-датчикам изображения можно ожидать появления преобразователей изображения на новом материале ("черном кремнии"), которые будут более чем в 100 раз превосходить обычные датчики по чувствительности и реагировать на излучение в диапазоне от ультрафиолетового до инфракрасного света. ○

