

Эволюция датчиков изображения: от ПЗС к КМОП

Новая эра датчиков изображения берет свое начало с момента изобретения ПЗС-структур (прибор с зарядовой связью) в 1969 году. С тех пор технология преобразования светового потока в электрический заряд постоянно совершенствовалась, находя все большее применение в различных сферах человеческой деятельности. Обнаружение у КМОП-структур (комплементарный металло-оксидный полупроводник) фоточувствительных свойств дало толчок развитию и постоянному соперничеству датчиков изображения на базе КМОП и ПЗС. Целью данной статьи является обзор современного рынка КМОП-сенсоров, варианты их применения, сравнение с ПЗС-датчиками и перспективы дальнейшего развития.

Евгений БИРЮКОВ

Золотой век датчиков изображения

21 февраля 2006 года Национальная Академия инженеров наградила Уильямса Бойля и Джорджа Смита премией Чарльза Старка за вклад в изобретение и исследование ПЗС-структур на базе лаборатории Bell в 1969 году. Качество изображения, полученное с помощью этих сенсоров, в то время было столь высоким, что работы по исследованию КМОП в последующие десятилетия показались неперспективными. Сегодня Уильямс Бойль и Джордж Смит закономерно считаются первопроходцами, чьи исследования дали толчок началу развития датчиков изображения. Результатом их совместной работы стал массовый выпуск в 1975 году первых телевизионных камер на базе цифровых сенсоров. Дальнейшее развитие и исследование ПЗС-матриц привело к созданию целого поколения устройств, принцип действия которых был основан на преобразовании световой энергии в электрическую. На рынке появились цифровые сканеры, устройства считывания цифрового кода, копировальные устройства и другая техника.



Рис. 1. Демонстрация первого экспериментального видефона Уильямсом Бойлем и Джорджем Смитом в 1973 г.

Изобретение Бойля и Смита (рис. 1) опередило технологии того времени на десятилетия, благодаря чему период с 1983 по 1989 год называется золотым временем датчиков цифрового изображения.

Несмотря на то, что КМОП-структуры были изобретены в 1970-х годах, до середины 1990-х годов они не рассматривались как серьезный конкурент ПЗС-сенсоров. Толчком к их развитию послужили исследования доктора Эрика Фоссунна на базе лаборатории НАСА (Национальный комитет по аэронавтике и исследованию космического пространства, США), в ходе которых были обнаружены их отличия от ПЗС-структур. Оказалось, что КМОП-сенсоры потребляют значительно меньше энергии и менее чувствительны к радиационному облучению, а также, что наиболее важно, — с помощью КМОП-технологии возможно создание готового решения (датчик изображения с АЦП и т. д.) с интегрированными функциями на базе одного кристалла, обладающего минимальным потреблением энергии.

Принцип работы ПЗС и КМОП-сенсоров

ПЗС и КМОП-сенсоры представляют собой матрицу, состоящую из набора фотоприемников — пикселей, способных преобразовывать световую энергию в заряд, который впоследствии передается, и с его помощью формируется конечное изображение, полученное сенсором. Остановимся на принципах работы обоих типов сенсоров, а также рассмотрим вопросы качества получаемой картинки.

Прибор с зарядовой связью — полупроводниковый прибор, представляющий собой матрицу или линейку изолированных от подложки затворов (МДП-структур), под которыми может происходить перенос к стоку информационных пакетов неосновных носителей заряда, либо инжектированных из истока, либо возникших в подложке из-за поглощения оптического излучения.

Принцип действия ПЗС-матриц (рис. 2) довольно хорошо описан в различной литературе, мы лишь вкратце остановимся на основ-

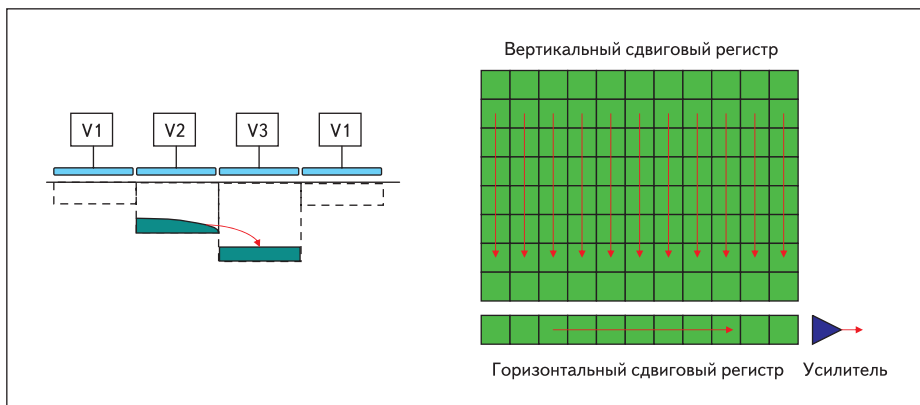


Рис. 2. Принцип работы ПЗС-структуры

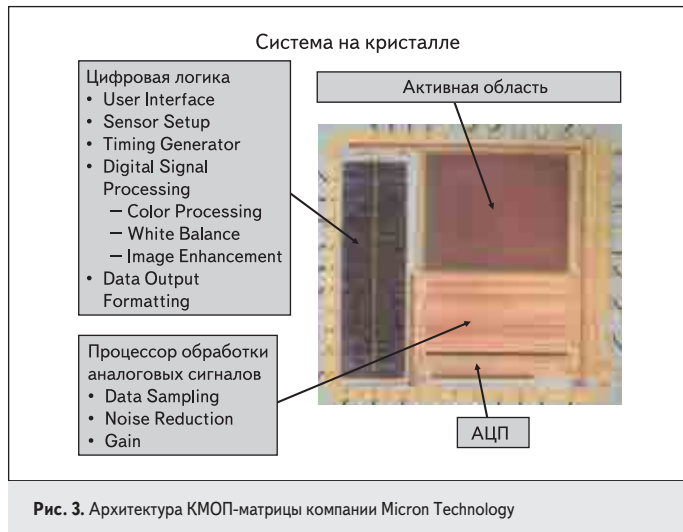


Рис. 3. Архитектура КМОП-матрицы компании Micron Technology

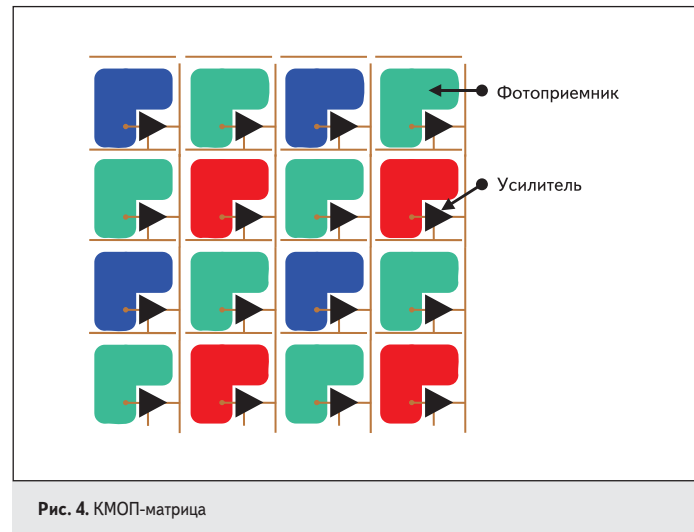


Рис. 4. КМОП-матрица

ных принципах организации работы данного прибора. С помощью подачи соответствующего напряжения на электрод в материале образуются потенциальные ямы, которые и хранят заряд — информацию о полученном изображении. Под электродом с положительным зарядом соответственно будут храниться электроны, которые не рекомбинируют в связи с отсутствием «дырок» в обедненной области. Задавая тактовую последовательность импульсов на электродах, мы можем переносить эти пакеты информации и затем считывать.

Отметим отдельно одну из ключевых особенностей ПЗС-матриц — наличие электронного затвора, с помощью которого можно влиять на время экспозиции. Затвор отмеряет время, в течение которого свет воздействует на сенсор (выдержку). Электронный затвор в отличие от механического невозможно потрогать руками, но благодаря его наличию появляется возможность регулировки динамического диапазона, кроме того, время его выдержки может быть ультракоротким.

Рассмотрим принцип действия КМОП-матриц. На рис. 3 приведена архитектура сенсора компании Micron Technology. Не трудно заметить, что сенсор содержит помимо самой оптической матрицы дополнительные блоки, например АЦП (аналогово-цифровой преобразователь), логические устройства, интерфейс и др.

Участок, непосредственно воспринимающий оптическое излучение (пиксель), представлен на рис. 4. Наличие у каждого пикселя своего собственного усилителя является очень существенным отличием от ПЗС-датчиков, которые не обладают такой возможностью интеграции. Кроме этого, с помощью простой XY-адресации можно считывать информацию не со всей структуры, а с определенной ее части или вообще отдельной области.

Полупроводниковая КМОП-матрица снабжена системой микролинз, каждая из которых располагается непосредственно над

пикселем и фокусирует падающий свет на фотодетектор. С целью предотвращения попадания этого излучения на подложку, что может сгенерировать дополнительные заряды и привести к нежелательным наводкам, подложка защищена специальным непрозрачным металлическим слоем.

Резюмируя описание КМОП-датчиков, можно выделить следующие их основные преимущества перед ПЗС-датчиками:

- минимальное потребление энергии;
- высокая степень интеграции и размещение на базе чипа дополнительных блоков для обработки изображения;
- небольшая стоимость;
- возможность выборочного чтения.

Не стоит забывать также, что при всех перечисленных преимуществах КМОП-сенсоров ПЗС-датчики все-таки имеют меньший уровень шумов и более широкий динамический диапазон, что ограничивает применение в высокотехнологичных областях недорогих КМОП-сенсоров.

Основные характеристики сенсоров

При выборе сенсора разработчик должен произвести анализ всех предложений на рынке и сделать выбор в пользу наиболее оптимальной микросхемы с точки зрения технических характеристик и стоимости. Не секрет, что датчик изображения, применяемый в системах видеонаблюдения, в большинстве случаев будет значительно отличаться от датчика изображения, используемого в камере для скоростной съемки, отличие будет проявляться как в технических характеристиках, так и стоимости. Рассмотрим основные характеристики сенсоров и составим сравнительную таблицу, характеризующую продукцию компаний Micron Technology, OmniVision и Cypress на базе сенсоров с оптическим форматом 1/3 дюйма (таблица).

В таблице приведены различные типы сенсоров в зависимости от частоты кадровой раз-

вертки, чувствительности, разрешения и других характеристик. У каждого из производителей КМОП-датчиков продукция ориентирована на определенные области применения, например компания Omnivision имеет очень сильные позиции на рынке датчиков изображения для работы в диагностической медицинской технике. КМОП-сенсоры от Micron имеют самый широкий спектр применения на сегодняшний день. Компания предлагает датчики изображения с разрешением от VGA до планируемого к выпуску в конце 2007 г. сенсора MT9E001 с разрешением 3264×2448. Частота кадровой развертки сенсоров компании Micron от 2500 кадров в секунду при разрешении 512×512 (КМОП-датчик MT9S402, не указан в таблице) до стандартных 15–30 кадров в секунду. Применение подобных сенсоров позволяет разрабатывать высокоскоростные камеры для отслеживания различных быстропротекающих процессов, а также решать другие задачи.

Основные характеристики сенсоров:

1. Разрешение — характеристика сенсора, показывающая количество пикселей по горизонтали и вертикали. В портативной технике (в цифровых фотоаппаратах и мобильных телефонах) принято показывать общее количество пикселей в мегапикселях.
2. Размер пикселя — физический размер пикселя (мкм).
3. Частота кадровой развертки измеряется в количестве снятых кадров в секунду (fps, кадр/с).
4. Диагональ рабочей площади матрицы выражается в долях дюйма и показывает размер активной площади матрицы.
5. Частота тактирования шины данных определяет скорость обработки данных (МГц).
6. Чувствительность к освещению (В/лк·с) — изменение электрического сигнала в зависимости от изменения освещения.

Все эти характеристики являются лишь частью большого количества характеристик. Не стоит забывать, что сам датчик может на кристалле содержать дополнительные блоки,

Таблица. Основные характеристики сенсоров компаний Micron Technology, OmniVision и Cypress

	Micron Technology				Cypress		OmniVision	
	MT9V032	MT9M413	MT9D011	MT9T012	ACM100	CYIA2SC0300AA	OV2630	OV3630
Оптический формат, дюймов	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
Размер пикселя, мкм	6×6	12×12	2,8×2,8	3,2×3,2	8×8	8×8	3,18×3,18	2,2×2,2
Разрешение	752×480 (WVGA)	1280×1024 (1,3 Мр)	1600×1200	2048×1536	640×480	482×642	1600×1200	2048×1536
Тактовая частота, МГц	26	85	40	48	48	—	—	—
Спектральный диапазон, нм	450–1050	~400–1000	—	~400–800	450–1050	—	—	—
Разрядность АЦП, бит	10, 12	12	10	10	—	12	10	10
Чувствительность, В/лк-с	4,8 (на 550 нм)	1,2	1	1	10	—	0,9	—
Скорость съемки, fps	60 (разрешение 752×480)	500 (1024 линии) 1000 (512 линий) 2000 (256 линий)	15–30	12–93	30	60	15–60	15–90
Напряжение питания, В	3,3–3,6	3,3–3,6	2,8	3,3	4	3,3–3,6	2,8	2,8
Цвет	Доступна цветная и монохромная версия сенсора	Доступна цветная и монохромная версия сенсора	Цветная версия	Цветная версия	Монохромный	Доступна цветная и монохромная версия сенсора	Цветная версия	Цветная версия
Рабочий температурный диапазон, °С	от –40 до +85	от –5 до +60	от –30 до +70	от 0 до +60	от –40 до +85	—	от –20 до +70	—
Корпус	кристалл, 48-выводной CLCC	керамический PGA	кристалл	48-выводной PLCC	Модуль	60 CPGA	42-выводной CSP2	36-выводной CSP2

обеспечивающие сенсору большую функциональность и простоту применения. Например, в качестве такого узла может выступать АЦП, тогда к характеристикам сенсора добавляются дополнительные параметры, традиционно являющиеся характеристиками самого АЦП.

Применение КМОП-сенсоров

В начале 1990-х годов на рынке фотооборудования намечалось оживление, направленное на новые разработки, посредством которых планировалось создать недорогие и качественные фотоаппараты и камеры с КМОП-датчиками изображения. Сегодня КМОП-матрицы на равных конкурируют с ПЗС-сенсорами на рынке фототехники, и каждая из технологий обладает определенными особенностями и преимуществами. Выделим несколько сфер применения датчиков изображения:

- мобильные устройства (мобильные телефоны и камеры);
- автомобильный рынок;
- системы наблюдения;

- промышленное техническое зрение (контроль геометрических параметров и т. д.);
- медицинское оборудование.

Несомненно, наиболее развитый рынок для применения КМОП-видеосенсоров — это сегмент портативной техники, включающий в себя цифровые камеры и мобильные телефоны. Сенсоры, изготовленные по КМОП-технологии, имеют низкое потребление и возможность создания систем на кристалле (system on chip), что является большим преимуществом перед ПЗС-структурами. Кроме этого, технология изготовления позволяет выпускать недорогие продукты и существенно выигрывать у ПЗС-структур без значительного снижения качества получаемого изображения. Наряду с пользовательской электроникой активно развивается рынок систем безопасности, по оценкам специалистов компании Micron, системы видеонаблюдения на базе КМОП-видеосенсоров сегодня имеют от 300 до 350 миллионов частных домов и организаций в мире, каждая система соответственно в свой состав может включать от 3 и более камер. Несмотря на существенные объемы,

этот рынок продолжает расширяться с каждым днем благодаря выпуску рядом компаний готовых недорогих решений, быстро и просто интегрируемых в систему охраны дома или офиса.

Активно внедряются в промышленность системы технического зрения, которые могут контролировать различные процессы или просто геометрические параметры предметов. В Москве несколько компаний ведет разработки автономных систем для ГИБДД, с помощью которых на дорогах возможно осуществление контроля скорости автотранспорта с приложением фотографии машины и ее номера. Это может расстроить любителей быстрой езды, но направлено на повышение безопасности дорожного движения и фиксирование нарушения правил водителем без присутствия выездной бригады сотрудников инспекции. Применение в медицине КМОП-сенсоров сегодня обусловлено их небольшим размером и достаточными для диагностирования характеристиками, большинство сенсоров находят применение в эндоскопах и другом оборудовании.

Очень широкое применение в последнее время находят КМОП-датчики в автомобильной промышленности (рис. 5). Наряду с уже ставшими стандартными камерами бокового вида для упрощения парковки и обзора во время движения активно внедряются камеры для контроля положения пассажира при его посадке в транспорт для приведения систем безопасности (ремней и т. д.) в состояние, обеспечивающее наибольший комфорт пассажиру. Также очень интересной можно считать разработку датчика состояния водителя, который посредством контроля степени закрытости глаза, среднего количества моргания глаза, положения головы и других параметров отслеживает признаки усталости водителя и информирует об этом, дабы предотвратить аварию. Камеры инфракрасного диапазона позволяют водителю контролировать ситуацию на дороге (появление животных и т. д.) в темное время суток без включения фар дальнего света, что дает возможность дополнительно обезопасить води-



Рис. 5. Применение КМОП-датчиков в автомобильной промышленности

телей транспортных средств встречного направления.

Актуальным направлением можно также считать камеры на базе высокоскоростных сенсоров со скоростью съемки от 500 и более кадров в секунду (например сенсор MT9M413 компании Micron). Решения на базе этих систем позволяют отслеживать и анализировать динамику быстропротекающих процессов в природе и повседневной жизни.

Разработка систем на базе КМОП-видеосенсоров

Наряду с КМОП-видеосенсорами большинство производителей предлагает инженерам средства, позволяющие заметно сократить так называемое время выхода готового изделия на рынок, что в значительной степени экономит средства и время для компаний-разработчиков. Подобная практика существует во всех областях электроники, будь то аналого-цифровое преобразование сигнала, построение источника питания или проектирование системы на базе DSP (цифрового сигнального процессора).

Для решения подобных задач компания Micron Technology предлагает набор разработчика DEMO2 (рис. 6). Этот набор соединяется посредством интерфейса USB 2.0 с персональным компьютером, на котором поль-



Рис. 6. Набор разработчика DEMO2



Рис. 7. Виды объективов для набора разработчика DEMO2

зователь может наблюдать полученную картинку и проводить настройку режима работы сенсора. Отдельно стоит отметить, что плата работает со всеми типами КМОП-сенсоров компании Micron Technology.

Требования к ПК:

- Pentium 3 (450 МГц) или выше;
- 128 MB RAM;
- контроллер USB 2.0;
- Widows 2000/XP.

Состав набора:

- плата;
- КМОП-сенсор;
- объектив;
- штатив для камеры;
- программное обеспечение;
- инструкция.

В зависимости от требований к разрабатываемому устройству набор разработчика может поставляться с 3 типами объективов: C-mount, S-mount и mini Lens (рис. 7).

Выводы

Развитие портативной техники — мобильных телефонов, цифровых камер и др. — требует дальнейшего уменьшения энергопотребления и повышения качества изображения, получаемого с помощью ПЗС и КМОП-датчиков. Как было отражено в статье, каждая из этих технологий обладает определенными преимуществами и недостатками. С большой долей вероятности

можно предположить, что рынок портативной, автомобильной и охранной техники со временем останется за КМОП-датчиками, так как сенсоры на базе ПЗС-структур лучше использовать в камерах высокого разрешения и чувствительности. Среди всех производителей КМОП-сенсоров наиболее широкой программой поставок выделяется компания Micron Technology, выпускающая датчики как для коммерческого рынка, так и для специальной техники, а наличие инструментов для создания готового изделия с минимальными затратами делает индустрию оптических датчиков перспективной и привлекательной. ■

Литература

1. Информационный портал по КМОП-сенсорам компании Micron Technology
<http://www.micron.com/products/cmos/>
2. Информационный портал по применению КМОП-сенсоров компании Micron Technology
<http://www.micron.com/applications/>
3. Информационный портал по применению КМОП-сенсоров компании OmniVision
<http://www.ovt.com/products/applications.asp>
4. Описание микросхемы MT9M413
<http://www.micron.com/products/partdetail?part=MT9M413C36STC>
5. Описание микросхемы MT9V032
<http://www.micron.com/products/partdetail?part=MT9V032C12STC>