

## ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ



К. О. Реутов, студент  
E-mail: kost.reutov@yandex.ru  
ФГБОУ ВО «Петрозаводский  
государственный университет»

Ю. В. Янюк, канд. техн. наук, доц.  
E-mail: yan@psu.karelia.ru  
ФГБОУ ВО «Петрозаводский  
государственный университет»

В статье описываются технологии изготовления современных чувствительных элементов (сенсоров) для изготовления фоточувствительных датчиков. Такие датчики широко используются в различных отраслях промышленности, в том числе машиностроении, для решения целого спектра задач: сортировки, идентификации объектов, пуска и останова оборудования и многих других. Приведённое в статье исследование может помочь в выборе датчика, изготовленного по определённой технологии для решения конкретной производственной задачи.

*Ключевые слова:* ПЗС, КМОП, матрица, элемент, фильтр, транзистор, машинное зрение.

### ВВЕДЕНИЕ

При создании датчиков изображения в камере используются две основные технологии, существующие в современном мире: ПЗС – прибор с зарядовой связью и КМОП – комплементарный металл-оксид-полупроводник. Они выполняют задачу преобразования света в изображение путём перехода из аналогового в цифровой сигнал.

Оба типа датчиков были изобретены в 60–70-х гг. прошлого столетия, но изначально ПЗС технология оказалась доминирующей на рынке. Они использовались в промышленности, медицине и научных исследованиях. Интерес же к КМОП технологии обострился в 90-х гг. и был связан с увеличением массового производства сенсоров изображения, стремлением удешевить производство и снизить энергопотребление матриц.

### ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования: технологии изготовления и принцип работы фоточувствительных элементов датчиков.

### ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью и задачей исследования являлось определение особенностей строения современных фоточувствительных элементов и поиск примеров их применения в машиностроении.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методы исследования: изучение и анализ ПЗС и КМОП-матриц с точки зрения основного принципа действия.

Для проведения исследования были подробно рассмотрены способы получения изображения в двух типах сенсоров, сравнивались их достоинства и недостатки, анализ которых может быть полезен в конструировании современных систем машинного зрения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

ПЗС и КМОП-матрицы состоят из пикселей, основной частью которых является фотодиод. Он регистрирует поступающий свет, его количество или мощность. Рассмотрим строение и особенности обоих типов датчиков.

Основной принцип действия ПЗС датчика заключается в том, что свет, попадающий на фотодиод (рисунок 1), придаёт ему заряд. Затем он буферизуется и движется по каналу как аналоговый сигнал. Далее сигнал усиливается и преобразуется в цифровой с помощью АЦП (на рисунке не указан), находящимся вне сенсора.

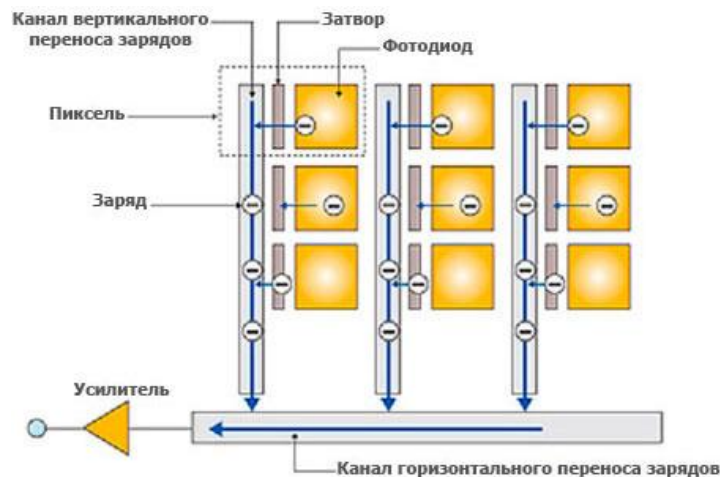


Рисунок 1 – Устройство ПЗС-матрицы

Матрицы с КМОП-технологией уже включают в себя и усилитель (рисунок 2), и АЦП, что позволяет ускорить скорость обработки данных, это и является основным отличием от ПЗС-структуры. Но при этом увеличивается нагрев из-за большего количества транзисторов, следовательно, и шум становится больше.

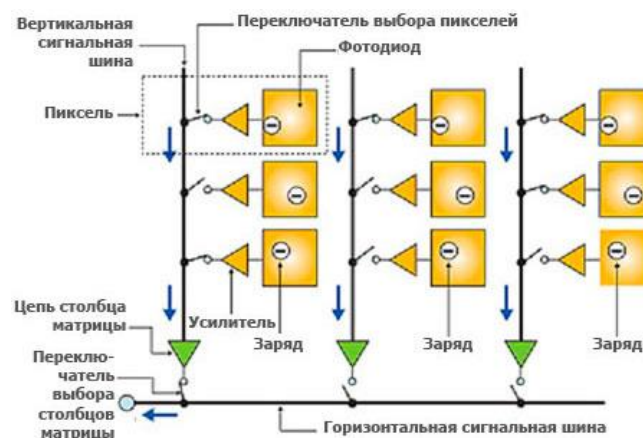


Рисунок 2 – Устройство КМОП-матрицы

Таким образом, используя определённые средства адресации, можно считывать информацию не просто с разных участков сенсора, а даже с отдельно взятых пикселей, что можно применять при выходе из строя соседних диодов.

Большую часть пиксела КМОП-матрицы занимают транзисторы и шины (рисунок 3), что уменьшает его полезную площадь.

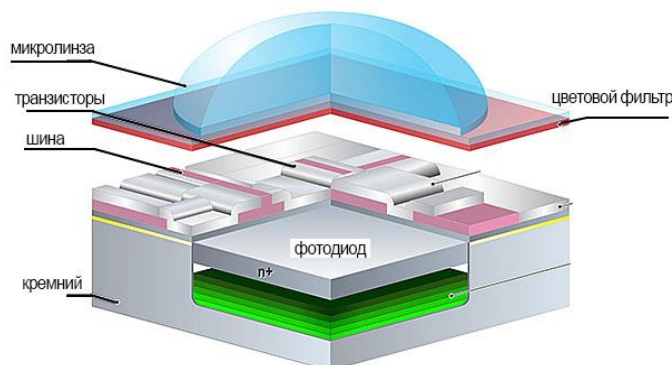


Рисунок 3 – Структура КМОП-матрицы

Однако благодаря усилиям нескольких компаний удалось найти решение для промышленных камер. Технология задней подсветки сильно улучшила эффективность сенсоров [1], что улучшило КМОП-матрицы до качества изображений ПЗС. Такое решение, пришедшее из мобильных устройств, позволило перенести светочувствительные фотодиоды из-под транзисторов прямо под микролинзы (рисунок 4). Таким образом, количество потерянного света сократилось, и неактивная зона пиксела уменьшилась.

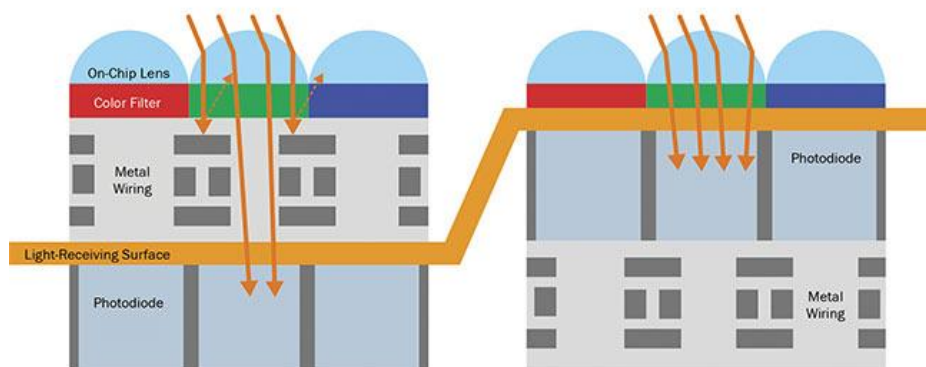


Рисунок 4 – Технологии передней и задней подсветки

Но, несмотря на подобные улучшения, технология задней подсветки может привлекать посторонние шумы в ситуациях более длительного экспонирования изображения. Современные сенсоры с передней подсветкой также предоставляют отличный результат изображения.

Имеется ещё одно важное разделение КМОП архитектуры на: построчное (скользящее) и глобальное считывание, так называемые Rolling Shutter и Total Shutter (рисунок 5). При построчном считывании пиксели передают информацию линия за линией. Таким образом, при движении объекта быстрее скорости обработки, будут создаваться искажения: смазывания или растягивания объекта съёмки. В то время как у глобального затвора все пиксели считываются одновременно. Но всё же на пикселе расположено ещё больше транзисторов, что говорит нам об ухудшении светочувствительности.

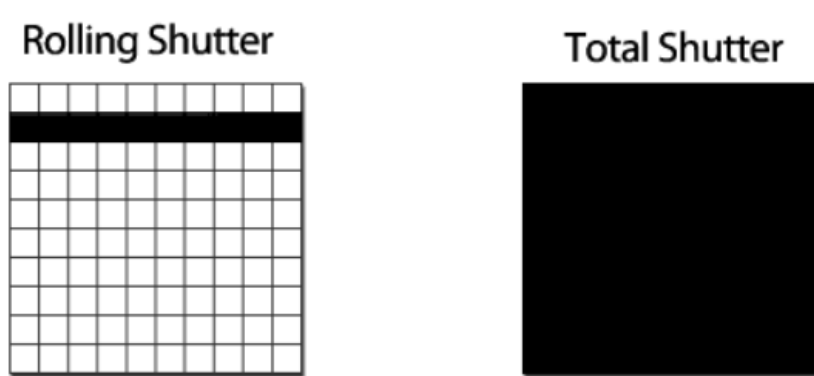


Рисунок 5 – Скользящий и глобальный затворы

Важным элементом любой матрицы является цветовой фильтр. Напомним, что фотодиод регистрирует только яркость полученного света, а значит, для получения цвета необходимо использовать специальный фильтр. Наиболее распространённый из них – фильтр Байера (рисунок 6). В данной системе размещаются массивы: красных, зелёных и синих цветов, причём зелёных в два раза больше остальных [2].

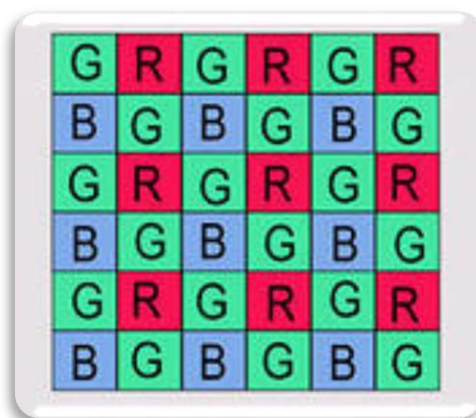


Рисунок 6 – Фильтр Байера

Такая модель позволяет получить огромное количество оттенков видимого спектра и наиболее схожа с человеческим восприятием цвета. Однако в промышленности также широко распространены фильтры форматов: CMY – циан, пурпурный и жёлтый; RGBW и другие. Первый позволяет получать более светлое изображение по сравнению с RGB, но с меньшим диапазоном цвета. А добавление W-белого фильтра помогает сократить потерю света примерно на треть, улучшить соотношение сигнал – шум, но при этом теряются мелкие цветные детали.

В наши дни на предприятиях достигнут высокий уровень цифровизации. Различные датчики и элементы управления желательно должны иметь связь друг с другом. КМОП-матрицы благодаря своей большей совместимости и возможности к программированию получают наибольшее распространение в промышленности. Тем более КМОП-сенсоры имеют гораздо более низкое энергопотребление[3], что является большим преимуществом.

Области применения промышленных камер довольно широки, начиная от контроля качества, заканчивая сортировкой и перемещением.

Основными задачами машинного зрения являются:

1. Производить высокоточные измерения размеров критически важных деталей.
2. Измерять размеры независимо от изменения ориентации детали.
3. Измерять размеры независимо от условий окружающего освещения.

Промышленные камеры позволяют измерять бесконтактно геометрические размеры и формы заготовок, деталей и готовой продукции непосредственно на самом конвейере или на производственной линии (рисунок 7).

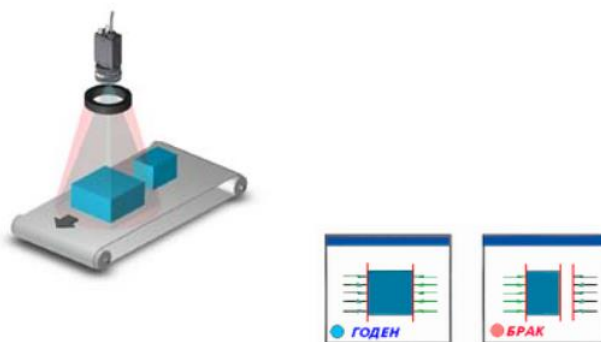


Рисунок 7 – Измерение размеров продукции

Так, например, выглядит программа для проверки качества отверстий (рисунок 8):

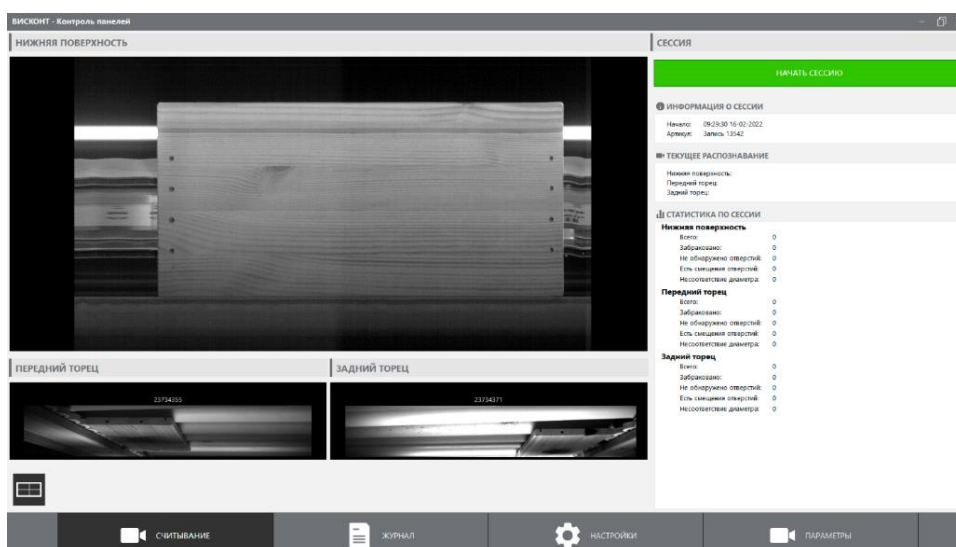


Рисунок 8 – Интерфейс программы для контроля отверстий

Стоит учитывать, что современная система машинного зрения – это не только промышленная камера и объектив, как в любительском сегменте, но и довольно сложная программа обработки данных, которая зачастую не прилагается в комплекте с камерой с тем или иным датчиком. В большинстве случаев необходимо докупать утилиты, предназначенные для определённой задачи.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приборы с зарядовой связью были широко распространены с 1960-х и до 2000-х гг. Они нашли своё применение в промышленности в сферах контроля качества, измерений и научных исследованиях. Однако, не смотря на их изначальное превосходство в светочувствительности и цветопередаче, уже в начале 2010-х КМОП матрицы смогли достигнуть достойного уровня качества изображения и к нашему времени практически полностью вытеснили ПЗС архитектуру с рынка.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Asche, F. Fluorescence Microscopy: Getting the Picture Right / F. Asche // Photonics Spectra. – 2019 [Электронный ресурс]. URL: [https://www.photonics.com/Articles/Fluorescence\\_Microscopy\\_Getting\\_the\\_Picture\\_Right/a65127](https://www.photonics.com/Articles/Fluorescence_Microscopy_Getting_the_Picture_Right/a65127) (дата обращения: 15.03.2024).
2. Воеводин, С. В. Системы охранного телевидения: учеб. пособие / С. В. Воеводин, Е. И. Духан, Е. Д. Шамонин. – Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2011. – С. 80–82.
3. Бирюков, Е. Эволюция датчиков изображения: от ПЗС к КМОП / Е. Бирюков // Компоненты и технологии: электрон. научн. журн. – 2007. – № 10. – С. 24–26.

## STRUCTURE FEATURES OF MODERN PHOTO-SENSITIVE SENSORS AND THEIR USE IN MECHANICAL ENGINEERING

K. O. Reutov, student  
E-mail: kost.reutov@yandex.ru  
Petrozavodsk State University

IU. V. IANIUK, PhD, Associate Professor  
E-mail: yan@psu.karelia.ru  
Petrozavodsk State University

Article is devoted to modern photosensitive sensors manufacturing technologies. These sensors are widely used in various industries, including mechanical engineering, solving a whole problems range, for example sorting, object identification, starting and stopping equipment and many others. The carried out research can help in choosing a sensor manufactured using a certain technology to solve a specific production problem

*Key words: CCD, CMOS, matrix, element, filter, transistor, machine vision.*