



Фотоника

Научно-производственная компания

ООО «НПК «Фотоника»
192241, г.Санкт-Петербург, улица Софийская, д. 54,
литера А, помещение 15
Тел./факс.: +7 (812) 740-71-28
www.npk-photonica.ru

MTF или частотно-контрастная характеристика сенсора.

Фоточувствительный сенсор — просто говоря, устройство для регистрации во времени и пространстве падающего на него потока фотонов. Существует ряд ограничений по количеству и частоте получаемого сигнала. В случае превышения пространственно временных величин сенсора сверх частоты Найквиста, такие потоки не могут быть получены и будут потеряны или приведут к смешиванию, растеканию заряда. Принимая во внимание матричную организацию сенсора, следует учитывать, что излишне накопленный в точке, пикселе или группе пикселей, заряд может накапливаться в смежных пикселях, приводя к так называемому растеканию заряда (англ. Blooming). Для определения и измерения этого явления применяется величина MTF или Modulation Transfer Function, т. е. дословно функция передачи модуляции или, как у нас принято называть, частотно-контрастная функция.

Привычно применимый для оптических компонентов, сегодня, с распространением высокочувствительных матриц, такой показатель обрёл вторую жизнь и применяется также для характеристики, сенсоров, в особенности, не обладающих матрицей микролинз.

Говоря о параметре MTF для оптики, мы противопоставляем транслированный через неё сигнал пространственной частоте, с увеличением которой, этот параметр падает, начиная условно со 100%. Пространственную частоту принято измерять в циклах или парах строк. И простыми словами, она призвана отражать возможность оптической системы передать контрастное изображение снимаемого объекта. (рис. 1)

Несмотря на то, что большая часть производителей пренебрегает таким параметром или опускает информацию в технической документации, значение MTF сенсора имеет не меньшее влияние на итоговый контраст изображения, чем эта величина для оптики. Стоит всегда учитывать оба параметра в связке.

Что же влияет на показатель MTF в разрезе сенсора. На самом деле, причин несколько. Рассмотрим случай, когда в качестве межпиксельной изоляции в КМОП-сенсоре используется технология STI (Shallow Trench Isolation), позволяющая с большой долей вероятности задержать образовавшийся электрон только у поверхности кремния. Большая же часть образует в толще подложки, особенно со смещением в сторону ИК-части спектра. По этой причине, MTF показатель матриц с утолщённой подложкой показывает ещё куда более скудный результат. Т. е. чем глубже образует электрон, тем больше простора для усиления перекрёстных помех.

Мы помним, что для чёрно-белой матрицы, MTF характеризует контрастность получаемого изображения. Если же на поверхности кремния нанесены цветные фильтры, MTF также определяет точность передачи цвета в сравнении с исходной сценой. Так перетекание заряда в соседние пиксели приведёт к избыточно-неверному увеличению накопленного заряда в пикселях с фильтрами других цветов. Что непосредственно

отразится на точности передачи цвета.

Ряд современных матриц, к счастью, уже лишён такой весомой проблемы: технология глубокой изоляции пикселей DTI (Deep Trench Isolation) позволяет на практике избежать перетекания заряда между пикселями в ері-слое. Хороший пример — сенсор Sony IMX174, MTF-показатель которого превосходен даже в ближней ИК-области спектра.

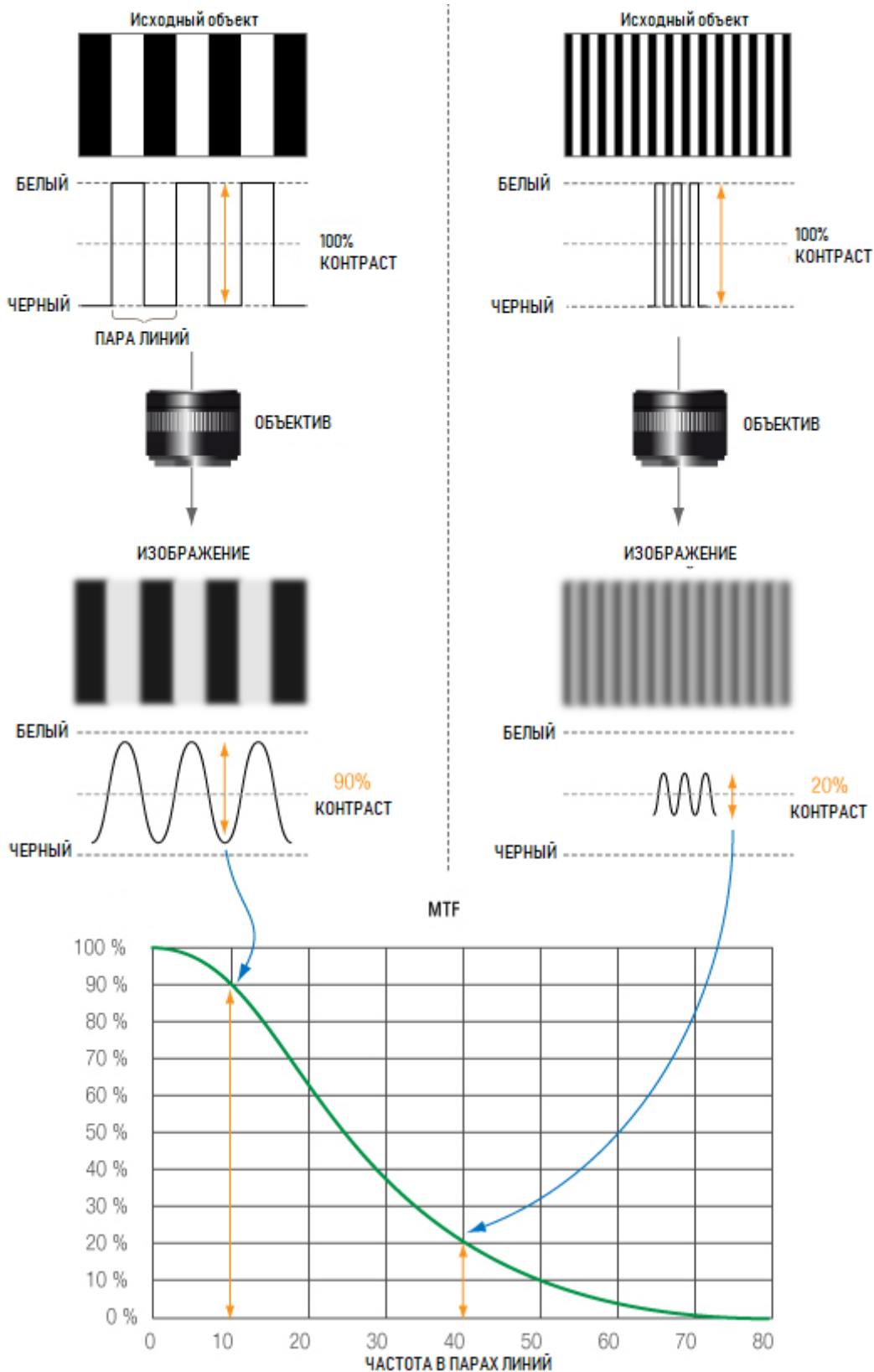


Рисунок 1.

Возвращаясь к вопросу понимания самого процесса, обратите внимание на *рисунок 1*, на исходный сигнал и вносимое объективом размытие контраста. Этот эффект, к сожалению, неизбежен. Необходимо учитывать, что исходным для матрицы сигналом всегда будет модифицированный объективом исходный сигнал.

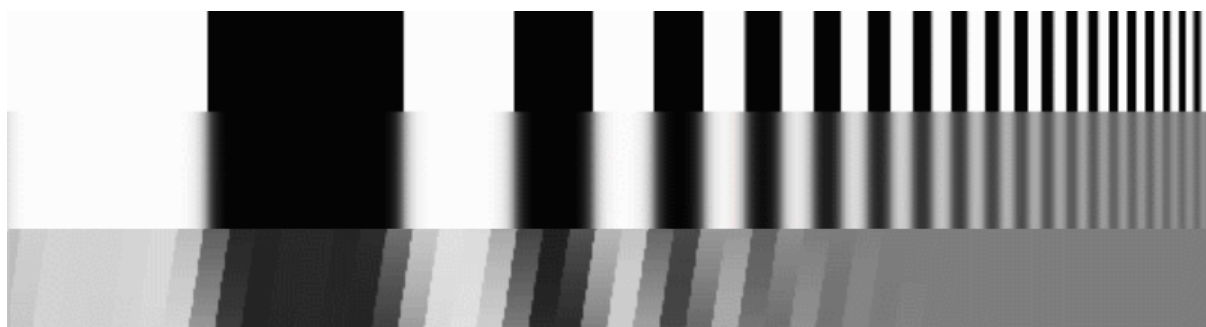


Рисунок 2.

Таким образом, итоговый цифровой сигнал на выходе видеосистемы будет результатом воздействия двух систем одновременно: объектива и матрицы (*рисунок 2*).

На основе приведенного выше примера стоит заметить, что влияние на передачу контрастного изображения оказывают множество технологических особенностей матрицы. К одному такому эффекту мы вернемся чуть позже, а прежде запомним, что вне зависимости от таких особенностей качество получаемого сигнала напрямую зависит от основного параметра — частоты дискретизации, половина которой — частота Найквиста — наша опорная точка. Из теоремы Котельникова следует, что при дискретизации аналогового сигнала потерь информации не будет только в том случае, если наивысшая частота полезного сигнала равна половине или меньше частоты дискретизации.

Эта типовая характеристика не требует детального рассмотрения, т. к. хорошо изучена и легко доступна для изучения в открытых источниках; т. о. при выборе матрицы для Вашего конкретного применения, детализированность сцены и — в противовес — значений разрешения и размеров пикселя матрицы должно быть достаточно для понимания применимости того или иного прибора. Отдельно стоит обратить внимание на приборы с обратной засветкой (BSI sCMOS), где традиционно не применяются матрицы микролинз и специальные волноводы, ограничивающие возникновение перекрестных помех со стороны чувствительной к свету стороны сенсора.

Сегодня во множестве сфер жизни применяются BSI CMOS-матрицы: начиная с обыкновенных смартфонов и бытовых фотоаппаратов, и заканчивая специализированной техникой для промышленности, науки, астрономии и даже в вопросах освоения космоса. BSI — технология, хоть и сложная в реализации, обладает рядом неоспоримых преимуществ, ставя КМОП-индустрию во главе локомотива. Никогда ещё CMOS-матрицы не достигали практически 100% порога квантовой эффективности при типовой длине волны для видимой части спектра, около 550 нм, и — 70-80 % в ультрафиолете, что в принципе, показатель уникальный для цифрового компактного датчика изображения.

Таких цифр достигли инженеры китайского производителя сенсоров Gpixel, чьи научные КМОП-сенсоры с обратной засветкой (sCMOS BSI) впервые в мире показали подобные результаты.

Как мы говорили выше, большинство производителей опускает сведения о частотно-контрастных характеристиках своих матриц, существенно ограничивая понимание реальных возможностей сенсора в плане передачи деталей изображения. Понимая значимость значения MTF для ряда критичных применений, таких как, микроскопия, Gpixel выпустил 4 Мп сенсор Gsense2020BSI сразу в двух исполнениях М и Н, что означает среднюю и высокую степень легирования соответственно.

Проведя ряд тестов по применению полупроводника разной степени обеднения, было выявлено влияние такого параметра на значение MTF. Глубоко легированный материал позволяет накапливать большее количество сигнала, что помогает избежать перетекание заряда, но вносит закономерные корректировки в показатель шума. Что вполне закономерно. Для применений, критичных к показателю шума, степень легирования была снижена, и это негативно отразилось, соответственно, на величине максимально накапливаемого сигнала и показателе частотно-контрастной функции — такой датчик получил индекс М.

На *рисунке 3* приведена зависимость ЧКХ матрицы Gsense2020BSI от длины волны излучения при разных версиях степени легирования полупроводника.

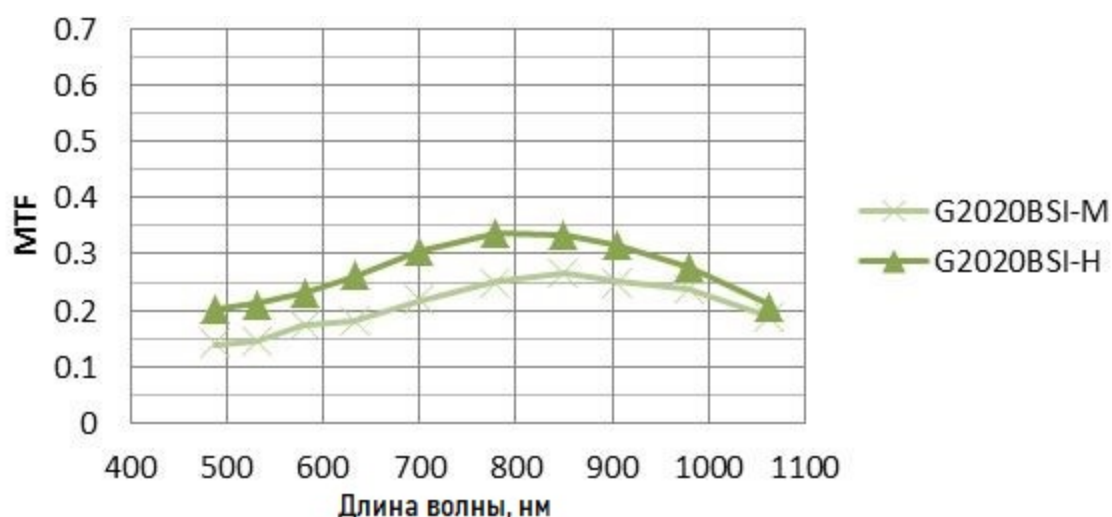


Рисунок 3.

Ниже для ознакомления также приведён пример влияния степени легирования на уровень шума в той же матрице Gsense2020BSI. (*Рис.4*)

Итак, перетекание заряда в смежных пикселях — ещё один назойливый компаньон в вопросе оценки функции MTF, и им не стоит пренебрегать, главным образом, если в ваших руках — матрица с обратной засветкой.

Подводя итоги, стоит отметить значимость параметра MTF при выборе компонентов вашей видеосистемы: параметр в равной степени важен как для оптических приборов, так и для датчиков захвата видеосигнала, и несёт актуальную информацию только при суммировании значений обоих этих компонентов системы.

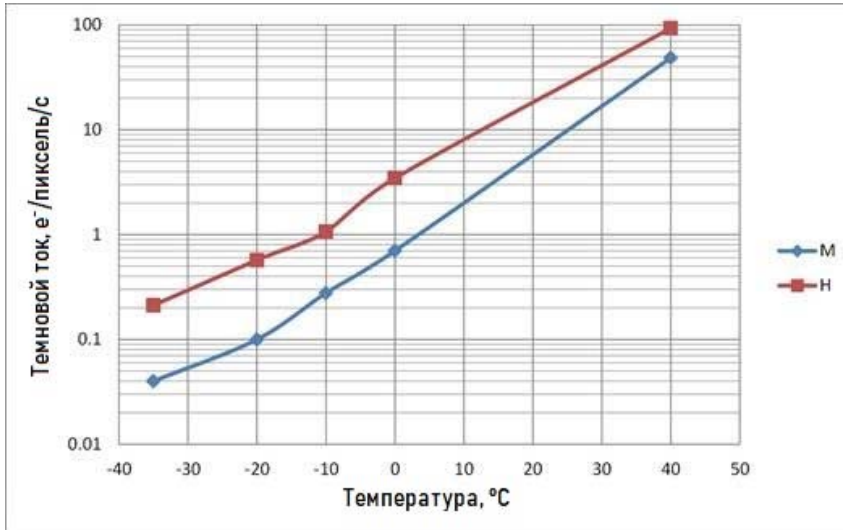


Рисунок 4.