

Влияние температуры на чувствительность CCD сенсоров фирмы Toshiba TCD1304AP и TCD1304DG.

С.А. Егоров, В.А. Егоров, А.Д. Егоров, С.И. Синельников

Институт Радиофизики и Электроники НАН Украины, 61085, г. Харьков, ул. Ак. Проскуры, 12. тел.: +38(050) 638-94-85, E-mail: yegorov@ire.kharkov.ua

Мультиспектральная съемка и спектральный анализ является важным источником информации при дистанционном зондировании поверхностей и сред. Специфика дистанционного зондирования, зачастую, подразумевает не лабораторные, а полевые измерения, часто в течение длительного промежутка времени, что неизбежно приводит к большим колебаниям температуры сенсоров. В докладе приводится описание эксперимента по сравнению характеристик двух модификаций, применяемой в аппаратуре мультиспектральной съемки, линейных CCD сенсоров TCD1304AP и TCD1304DG. Показано, что, хотя по документации производителя, данные микросхемы абсолютно идентичны, фактически, они являются разными изделиями, кардинально отличающимися поведением при изменении температуры. Показано, что закон взаимозаменяемости продолжительности экспозиции и интенсивности освещенности выполняется только при фиксированной температуре. The results of comparing, wide used for the multispectral measurements, CCD sensors TCD1304AP and TCD1304DG in different thermal conditions are presented. The sensors show opposite dependencies of sensitive on temperature. The limitation of the law of reciprocity exposition and light intensity is shown.

Введение

Мультиспектральные изображения, а также спектры пропускания и отражения – являются важным источником дистанционного получения информации о физических и химических свойствах поверхностей и сред. Но специфика дистанционного зондирования, зачастую, подразумевает не лабораторные, а полевые измерения, часто в течение длительного промежутка времени, что неизбежно приводит к большим колебаниям температуры сенсоров.

В практике спектроскопии, для регистрации одномерных изображений в ультрафиолетовом, видимом и ближнем инфракрасном диапазонах, широко используются сенсоры фирмы Sony (ILX511B), Hamamatsu (S11639), Toshiba (TCD1304AP/DG). Периодически появляются работы, сравнивающие эти микросхемы, или исследования, посвященные отдельным их параметрам [1], [2], [3], [4]. Но наибольшее распространение получили сенсоры Toshiba в силу их невысокой цены и достаточно хорошей чувствительности, обусловленной большой площадью отдельного пикселя (8x200мкм). Практически все недорогие спектрометры оснащены этими сенсорами.

Данные сенсоры выпускаются в двух модификациях - в пластиковом (TCD1304AP) и керамическом (TCD1304DG) корпусах. Несмотря на то, что по документации производителя [5],[6] они являются абсолютно идентичными изделиями, тщательное изучение показывает, что это не совсем так. Кроме того, при рассматривании микросхем даже при небольшом увеличении, легко заметить существенные отличия в их топологии.

В фирменном техническом описании этих двух модификаций сенсора не приводятся данные о поведении их светосигнальных характеристик в зависимости от температуры. Для исследования этих зависимостей нами была создана экспериментальная установка и произведены измерения.

Экспериментальная установка

Для исследования при разных температурах сравнительных характеристик упомянутых выше микросхем фирмы Toshiba был изготовлен следующий стенд:

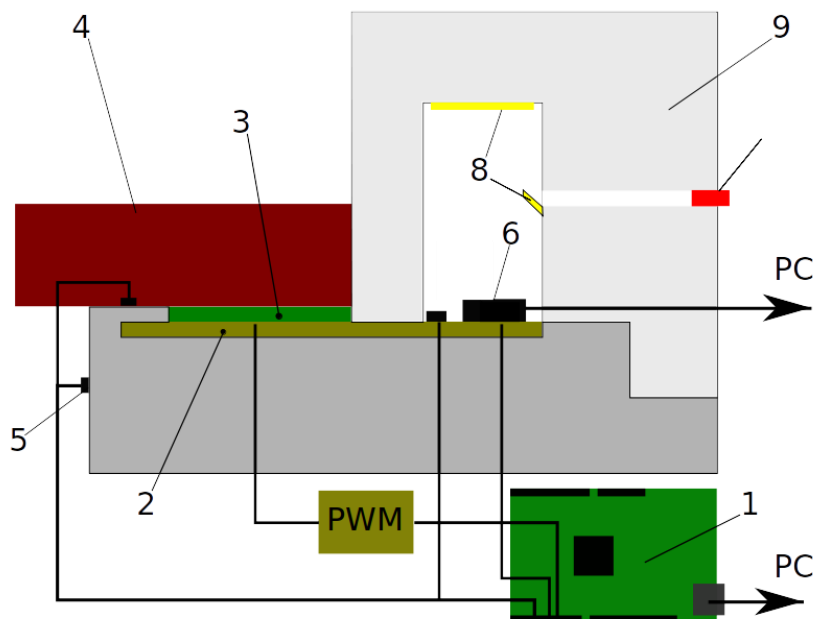


Рис. 1: Схематическое изображение экспериментального стенда

- 1) Контроллер температуры и освещения
- 2) Термостабилизируемая пластина.
- 3) Элементы Пельтье
- 4) Радиатор элементов Пельтье.
- 5) Датчики температуры.
- 6) Два сенсора (TCD1304AP и TCD1304DG)
- 7) Источник заливающего света
- 8) Отражающие матовые экраны
- 9) Тепло- и свето - экранирующий колпак.

Два сенсора TCD1304 (6) установлены на температурно контролируемую пластину (2). Включенный через регулируемый стабилизатор тока, светодиод (7), освещает два рассеивающих экрана (8), закрепленных в колпаке (9). Рассеянный отраженный свет от экранов (8) обеспечивает плавность уровня засветки сенсоров. Пластина (2) охлаждается с помощью двух элементов Пельтье, одна из сторон которых прижата к радиатору (4). Элементы Пельтье, через источник питания с регулируемой скважностью и управляемой полярностью, управляются от контроллера Arduino UNO(1) на основе информации получаемой от датчиков температуры (5).

Плата (1) подключена к компьютеру через USB интерфейс, на котором работает управляющая программа сбора и обработки информации. Через другой порт USB - управляющая программа получает информацию об уровне освещенности сенсоров.

В процессе эксперимента постоянно измеряются интегральные уровни сигналов с микросхем при следующих условиях:

1. отсутствии засветки и экспозиции в 0.7с;
2. при включенном светодиоде и экспозиции в 0.7с;
3. при отсутствии засветки и экспозиции в 4.35с, для контроля температуры кристалла непосредственно по методике [7].

Разница между вторым и первым измерением (с одной экспозиции) показывает реальный уровень засветки светодиодом. Третье измерение, при отсутствии засветки и большой экспозиции, позволяет более точно оценить уровень темнового шума, который зависит от температуры [7]. Данный цикл занимает менее 10 секунд. Весь эксперимент длился порядка 5000 секунд, что определяется необходимостью изменения, стабилизации температуры с последующим сбором статистики. Система управления производит вышеприведенные 3 измерения в следующих условиях:

- Начинается эксперимент с 300 секунд простого фотометрирования для анализа стабильности источника без изменения температуры.
- Последовательно перебирается следующий ряд температур 20, 10, 20, 30, 20, 10, 20, 40, 20, 10, 20, 50, 20°C с фиксацией в течении 300 секунд для стабилизации температуры и сбора статистики на каждой из температур.
- Заканчивается эксперимент таким же, как и вначале 300-секундным фотометрированием при комнатной температуре.

Анализ результатов

Для начала рассмотрим общее изменение уровней сигнала с разных сенсоров при разных температурах:

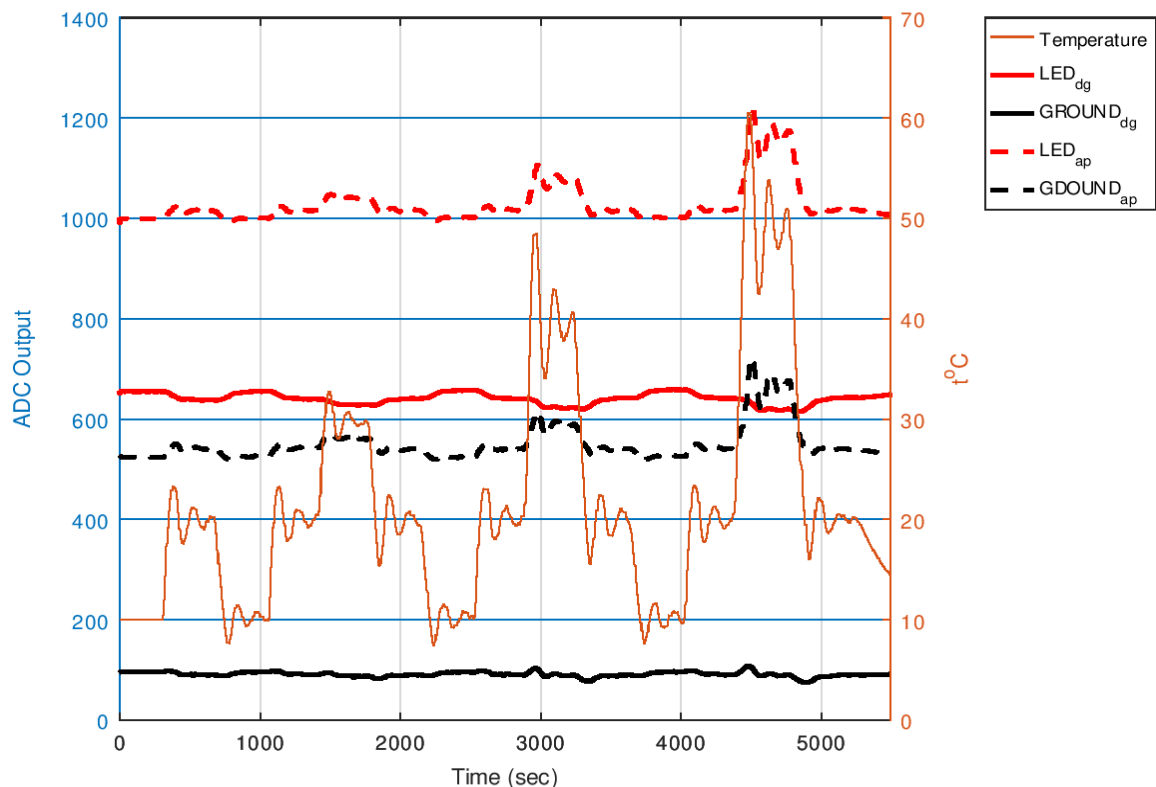


Рис. 2: Результаты измерения темнового тока (черные графики) и засветки от светодиода (красные графики) микросхемами TCD1304AP(пунктирные) и TCD1304DG(сплошные)

Temperature - это значения полученные с датчика температуры микросхем. Остальные значения - это интегральные значения по оптически чувствительным пикселям линеек. Черные графики - это уровни темнового сигнала микросхем (сплошная - для DG и пунктирная для AP). Красные линии - это уровни отклика на засветку от светодиода (сплошная - для DG и пунктирная для AP).

Первое, что бросается в глаза это разное поведение уровня отклика на освещение при разных температурах. При повышении температуры, у микросхемы AP повышается как уровень отклика на освещенность (красная пунктирная) так и уровень темнового тока (черная-пунктирная линия). Но при повышении температуры у микросхемы DG уровень отклика на освещенность падает, а уровень темнового тока практически не изменяется. Если вычтуть уровень темнового сигнала из уровня освещенности для обоих сигналов и наложить на кривую изменения температуры, то получается следующие графики:

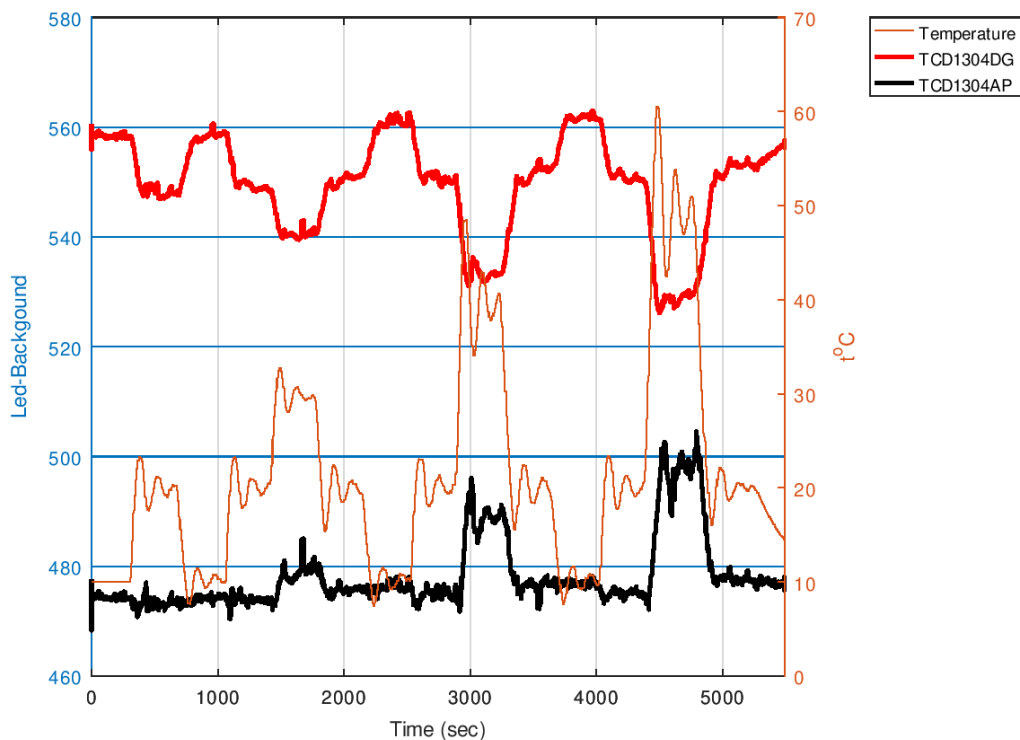


Рис. 3: Разница между сигналом освещенности и уровня темного сигнала микросхем TCD1304AP и TCD1304DG при разных температурах.

Хотелось бы обратить внимание на стабильность уровня отклика обоих микросхем при контрольной температуре 20°C - данный уровень практически не изменяется в течении всего эксперимента, что свидетельствует о стабильности источника освещения.

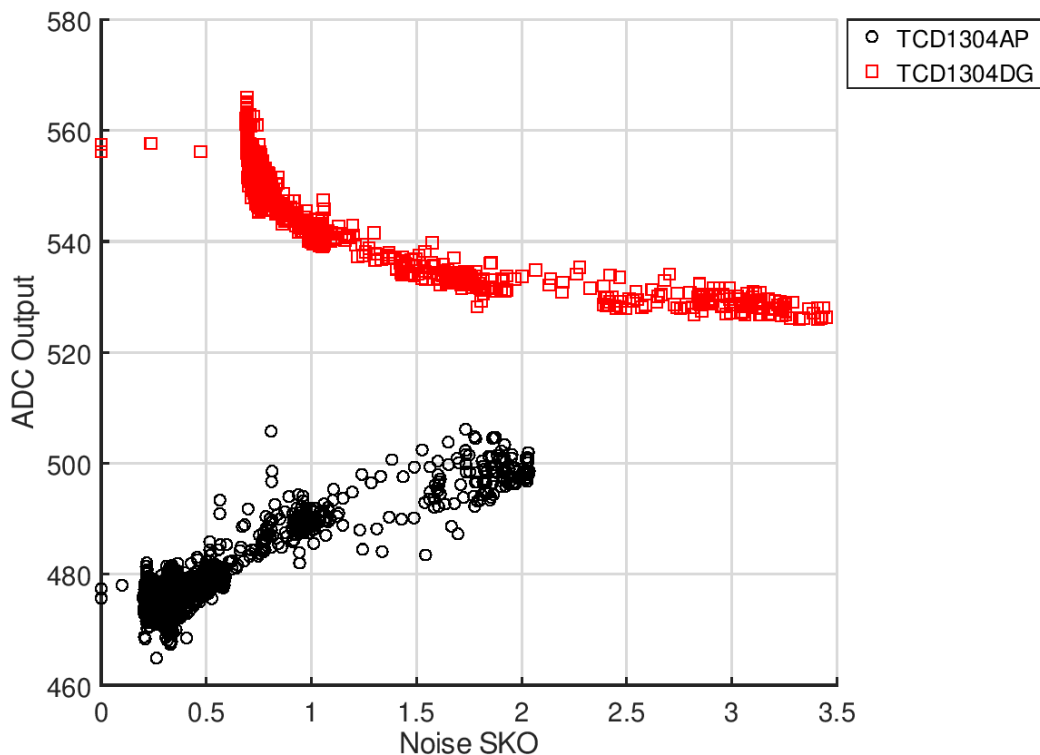


Рис. 4: Уровень отклика микросхем TCD1304AP и TCD1304DG на засветку от светодиода при разных температурах (при этом различны уровни темновых шумов).

Также на графиках хорошо видно, что с повышением температуры уровень отклика микросхемы AP растет, а у микросхемы DG - падает. Можно оценить, что изменения чувствительности составляют около 1 процента на каждые 10 градусов, со знаком минус для AP, и со знаком плюс для DG. Если использовать СКО шумов сенсоров в качестве показателя реальной температуры кристаллов микросхем, то получаются две следующие зависимости:

Данные результаты показывают, что закон взаимозаменяемости экспозиции и интенсивности падающего света [4] справедлив только при одной и той же температуре.

Выводы

Микросхемы TCD1304AP и TCD1304DG демонстрируют противоположное изменение чувствительности в зависимости от температуры: ориентировочно около 1% на каждые 10°C. Это, по-видимому, связано с различием в схемных решениях, примененных в этих сенсорах. Сама по себе зависимость отклика микросхем на освещенность от температуры делает невозможным использование закона взаимозаменяемости экспозиции и интенсивности падающего светового потока без температурной стабилизации или компенсации дрейфа чувствительности. Эта же зависимость должна учитываться при сравнении значений с разных сенсоров т.к. их температуры могут различаться.

Литература

1. McCormick D. T. Comparison of silicon linear image sensor arrays. # URL: http://advancedmems.com/pdf/AMEMS_LineSensorArraySummary_v1.pdf.
2. Research on Ultraviolet Response Enhancement Technology of Linear Array CCD / под ред. М. Chen, Z. Cen, Y. Qiu. 2016. DOI: 3.10.1109/ICOCN.2016.7875737 .
3. Modification of the Photosensitive CCD Structures for Application in the Spectrometric Equipment / V. A. Simon [и др.] // Proceedings of EIConRus. 2017. с.342-345. DOI:10.1088/1742-6596/1038/1/012098 .
4. Analysis of the plasma radiation spectra with lines of significantly varying intensity / D. Kostrin [и др.] // Journal of Physics: Conference Series 729 (2016) 012030. 2016. с. 342-345. DOI:10.1088/1742-6596/729/1/012030 .
5. Toshiba . TOSHIBA CCD LINEAR IMAGE SENSOR CCD(Charge Coupled Device) TCD1304AP. <https://toshiba.semicon-storage.com/info/docget.jsp?did=13709&prodName=TCD1304DG> . (accessed: 23.03.2019).
6. Toshiba . TOSHIBA CCD LINEAR IMAGE SENSOR CCD(Charge Coupled Device) TCD1304AP. <https://oceanoptics.com/wp-content/uploads/Toshiba-TCD1304AP-CCD-array.pdf> . # (accessed: 23.03.2019).
7. Исследование температурных эффектов при регистрации спектров фотоэлектрическими детекторами. / А. Д. Егоров [и др.] // Вісник НТУУ “КПІ” Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. 2014.