



Фотоника



ЗАТВОРНЫЕ ТЕРМОСТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ МИКРОБОЛОМЕТРИЧЕСКИЕ КАМЕРЫ ДАЛЬНОГО ИК-ДИАПАЗОНА (8 — 14 мкм).

За последние несколько лет получение инфракрасного (ИК) изображения получило более коммерческий оттенок, что сделало исконно военную отрасль чувствительной к стоимости производимых изделий, конкуренция принесла разнообразие применяемых алгоритмов – неизменными же остаются фавориты – детекторы, основа основ любой ИК-системы. Как и прежде типовыми игроками здесь являются микроболометры, выполненные на основе оксида ванадия (VO_x) и аморфного кремния ($\alpha-Si$). Вспомним на мгновение о существовании ещё одной вошедшей в историю технологии – BST. Такие, выполненные на сегнетоэлектрическом эффекте приборы, практически канули в лету, процент применения их в мировой практике сегодня крайне низок.

Получение чистого информативного изображения в темноте, сквозь туман и дым всегда зависит от качества детектора, и согласно опыту большинства мировых производителей, а это 70 %, мяч на стороне оксида ванадия. Всестороннее изучение этой технологии в последние годы позволило достичь оптимального сочетания цена/качество, оставив конкурентов далеко позади.

В начале семидесятых годов прошлого века правительство США начало финансировать два идущих параллельным курсом проекта по созданию ИК-систем, что привело к появлению в 1978 году патента на

технологии BST, а в последствии, и появлению технологии VO_x . Последняя, показав со временем своё полное превосходство, получила полное государственное обеспечение, оставив конкурента за бортом, – значительное количество компаний в США в 2009 году уже производили только такие передовые системы. Делиться успехом американское правительство не желало, ограничивая и даже запрещая экспорт изделий на основе оксида ванадия, что привело к появлению с середины девяностых аналога, и тогда, для упрощения и удешевления производства, слой оксида ванадия заменили на хорошо известный кремний, аморфный кремний ($\alpha-Si$), позволивший производить матрицы на существующем и легкодоступном оборудовании. Сегодня это преимущество весьма размыто, и датчики на основе оксида ванадия также производятся на кремниевых «фаундри». Такое экспортное преимущество аморфный кремний потерял с появлением среди азиатских компаний производителей систем на основе оксида ванадия, продуктов достойных и конкурентоспособных по качеству, и уже успешно внедрённых в изделия отечественного производства. Таким образом единственная пара веских причин обратить своё внимание на аморфный кремний канула в лету и оставила нам превосходящую всех конкурентов по большинству параметров технологию ИК-систем на оксиде ванадия.

Совсем не секрет, существует одна, всем известная французская компания, та самая, что сделала рекламу аморфному кремнию, и зарекомендовала себя как достойная замена американским продуктам. Для многих в России она стала синонимом микроболометра. Компания и сегодня продолжает развивать свою технологию, и это объяснимо – ведь за плечами большой опыт развития, хоть и не передовых, тем не менее достойных существования продуктов. В частности, государственные военные программы Франции и ЕС должны иметь своего производителя в ИК направлении, это типовая мировая практика. Но для нас интерес к такому продукту сомнителен, ведь, находясь под строгим экспортным контролем, сегодня аморфный кремний стал недоступен.

Одной очень важной задачей при выборе ИК-системы, действующей в диапазоне 8 — 14 мкм, является вопрос выбора подходящей оптики. Стекло не пропускает излучение в этой зоне, и для фокусировки применяют германиевые линзы, стоимость которых высока и растёт пропорционально диаметру. В такой ситуации, цена конечного изделия сильно зависит от правильного выбора объектива, и позволить себе объектив меньшего диаметра – значит существенно сэкономить. В этом ключе, матрица, чей чувствительный элемент имеет меньшее сопротивление, как у оксида ванадия, может быть изготовлена в меньшем форм-факторе при схожем итоговом разрешении. Кроме того, интересным бонусом будет меньшая масса объектива, а значит – центр тяжести изделия не будет смещён вперёд, что может принести значительные неудобства при работе с переносными устройствами, приборами, устанавливаемыми на

подвижные блоки или лёгкие беспилотные аппараты. Компактные камеры нужны не только военной машине США, так микроболометры на основе оксида ванадия устанавливаются на автомобили известных автопроизводителей в составе системы помощи при вождении в тёмное время суток: BMW, Audi, Porsche, Cadillac.

С технологией чувствительной матрицы мы практически определились: выбирая приборы на основе VO_x, Вы получаете более компактные, более чувствительные, и зачастую, менее дорогие системы с большим сроком выработки на отказ. Детекторы на оксиде ванадия повсеместно распространены, в развитие этой технологии вложено значительное количество времени, их производят по всему миру: всё это делает VO_x более доступной, проверенной временем и наиболее современной технологией.

Посмотрим с другой стороны: применение микроболометров дальнего ИК-диапазона несёт в себе некоторые особенности в работе с ними. Один из таких моментов, весьма важный – необходимость периодической калибровки матрицы для компенсации ошибок сенсора. Точность определения сенсором температурной разницы изучаемой сцены падает со временем, поскольку накопленный матрицей тепловой сигнал начинает вносить свои собственные коррективы. Для компенсации таких искажений, а также при запуске матрицы, требуется обнулить значение получаемого сигнала при отсутствии внешнего воздействия. Наиболее эффективным и зарекомендовавшим себя методом является калибровка при помощи затвора; ими сегодня комплектуются все требовательные к точности получаемой

информации современные микроболометрические системы. Это касается как систем на оксиде ванадия, так и приборов, основу которых составляет аморфный кремний; примером тому – именитый бельгийский производитель ИК-сенсоров и систем для требовательных околокосмических применений*.

Действительно, наличие дополнительного, пускай и не всегда дорогостоящего, оборудования вносит свои коррективы, усложняет систему и её интеграцию, понижает её надёжность в силу наличия дополнительной механики. И всё это ведёт в виде оптимизации к поиску возможности упростить прибор, и такие модули и камеры существуют, технологии развиваются, и многие уже говорят и громко заявляют о том, что век затворных приборов прошёл. Но нет никакой возможности сбросить накопленную погрешность, кроме как откалибровать прибор, поэтому мы стали

свидетелями появления двух абсолютно жизнеспособных технологий, но для каждой из них существует своя ниша.

Применяемые в нетребовательных промышленных или любительских приборах, эксплуатация которых ведётся в благоприятных и заранее определённых условиях, беззатворные матрицы не могут справиться с поставленной задачей, когда речь заходит о высокодетализированной съёмке при сложной метеорологической обстановке, когда нет времени на длительную постобработку сигнала и на принятие решения даются считанные секунды. Чтобы не быть голословными, приведём пример кадров, сделанных в схожих условиях камерами российского производства.

**Названия приведённой для сравнения продукции коммерческих предприятий в этой статье из этических соображений опущены.*



Рис. 1. Кадр с камеры известного российского производителя на основе всё того же французского микроболометра на аморфном кремнии. Камера без затвора. «Сырое» изображение.

С первого взгляда – хорошая «картинка», но при детальном рассмотрении Вы увидите малый температурный контраст объектов,

изображение насыщено статическим шумом настолько, что создается ощущение налипшей пыли.



Рис. 2. Кадр, сделанный камерой КБ ВиТА на основе китайского термостабилизированного микроболометра GWIC. Камера с затвором. 18-кратное сжатие изображения.

Изображение на рисунке 3 значительно «чище», шум есть, но он динамический и появляется при определённых значениях контраста, и оттого «картинка» значительно информативнее. Обратите внимание на детали сцены – на снимке видны даже провода, и само изображение более однородно, и это при сжатии исходного материала в 18 раз.

С точки зрения эксплуатации камеры всё просто: для большинства применений

лучший выбор – оснащённая затвором система. Приборы на основе микроболометров со временем деградируют, и для оптимального качества изображения пиксели время от времени нужно «нормализовать». Такой процесс называют Flat Field Correction (FFC), или компенсацией неоднородностей изображения, параметрами которого являются время и температурные изменения. Затворные камеры,

производимые лидером отрасли, американской компанией из штата Орегон, выполняют операцию FFC автоматически, позволяя пользователю настроить частоту таких корректировок, путем выставления длительности периода между ними и/или величины изменения окружающей температуры. В определённых ситуациях, при съёмке высокоподвижных объектов при хороших погодных условиях и отсутствии требований к деталям сцены применение беззатворных систем оправдано; однако, влияние времени калибровки (необходимого при использовании затвора) на целостность получаемого видеосигнала сегодня легко компенсируется встроенными в затворные камеры механизмами постобработки. Таким образом единственное весомое преимущество беззатворных систем меркнет. Кроме того, первоначальная калибровка при запуске камеры – практически необходимый атрибут получения качественного изображения, или правило хорошего тона. Тем более, при отсутствии специальных равномерных объектов, поможет простое закрытие объектива рукой.

Несложно проанализировать ведущих производителей ИК камер в мире, чтобы окончательно поставить точку в данном вопросе. К упомянутым выше компаниям из США и Бельгии можно добавить крепкие производственные организации из штата Вирджиния и солнечной Флориды – все они – опора и надежда американского правительства и американской же военной машины – применяют затворы в своих приборах, и это нетрудно проверить. Кроме того, обратимся к производителям термографов на основе любой из технологий, как α -Si, так и VO_x , эти

устройства, все как один, оснащены затворами, ведь им, как никому другому, нужна точность.

Согласно отзывам потребителей систем на основе беззатворных тепловизионных камер, основной проблемой их эксплуатации стала неизбежная естественная деградация ИК-матриц. Применяемые в таких камерах компенсационные калибровочные таблицы со временем теряют свою актуальность, и для получения достоверного изображения требуется определение новых коэффициентов; сделать это можно только силами производителя камеры, что неизбежно потребует демонтаж и долговременную транспортировку до завода-изготовителя и обратно.

Итак, выбор технологии изготовления микроболометра, равно как и применение затвора зависит от применения и личных предпочтений. Существует большое количество производителей, ещё шире функционал различных представленных на рынке приборов, разобраться в нём порой не так просто: удостовериться в необходимости тех или иных функций зачастую ещё сложнее. Познакомиться с некоторыми из них можно на примере приборов производства КБ-ВиТА, маркированных VLM384 и VLM640.

Прежде всего, отметим лежащие в основе камер матрицы GWIC китайского производства, выполненные на оксиде ванадия VO_x . GWIC входит в состав военно-промышленного концерна Norinco, что свидетельствует о высоких требованиях к системе менеджмента качества на предприятии и высоких технических характеристиках сенсоров. Применяемые в составе модулей VLM сенсоры имеют

повышенные значения эксплуатационных характеристик, и в том числе, обладают значительно большей температурной чувствительностью NETD. Не стоит забывать и о дружественных отношениях России и КНР, что благоприятно влияет на условия поставки высокотехнологичной продукции Поднебесной, которая не имеет экспортных ограничений.

Одной из ноу-хау функций модулей VLM стал алгоритм локального контрастирования, позволяющий значительно расширить динамический диапазон, т. е. одновременно видеть горячие и холодные объекты сцены.



Рис. 3. Стандартная ситуация в работе оператора, когда в кадр одновременно попадает холодное небо (около -50°C) и тёплая подстилающая поверхность. АРУ (автоматическая регулировка усиления) любого модуля обрабатывает по среднему значению сцены, в результате, часть кадра становится малоконтрастной или же имеет перенасыщенный контраст, за счёт чего оператор теряет значительную часть информации. Слева – типовой пример работы модуля при съёмке объектов с большим температурным контрастом, справа – пример работы алгоритма локального контрастирования.



Рис. 4. Слева на рисунке – пример работы модуля VLM с включенным алгоритмом локального контрастирования, справа – пример работы модуля на аморфном кремнии другого российского производителя. Кадры сделаны одновременно в равных условиях.

Подобная точность в распознавании объектов станет нелишней в таких применениях, как:

- Поиски потерпевших при пожаре.
- Обнаружение утечек тепла.
- В литейном производстве: для наблюдения за процессом плавки металла.
- Прицельно-обзорные каналы для нужд силовых структур (наблюдение за полем боя с большим



количеством горящих объектов и наличием вспышек).

- Медицина (наблюдение за кровотоками, маммография и т. п.)

Ещё одна интересная функция, также уникальная в своём роде – «сверхконтрастный алгоритм» – предназначен для обнаружения подвижных малогабаритных объектов (изначально разрабатывался для обнаружения БПЛА).

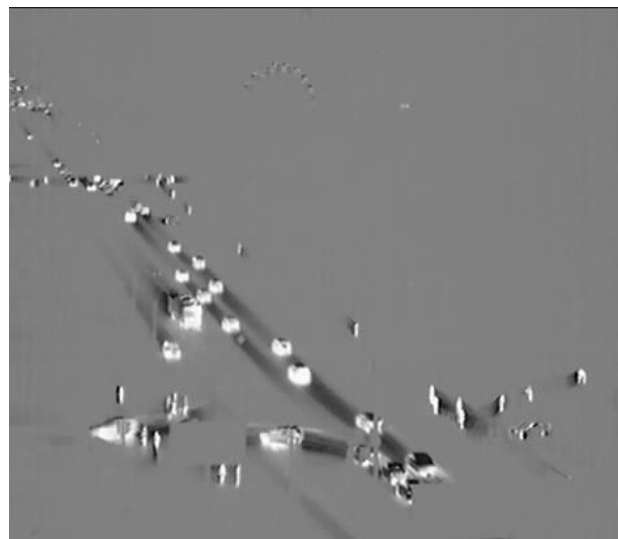


Рис. 5. Слева на изображении вы видите работу модуля VLM в стандартном режиме, справа – пример изображения при включенном «сверхконтрастном алгоритме». Такой алгоритм применим в системах наблюдения, когда из-за большого количества различных объектов в кадре, оператор не в состоянии оценить приоритетность наблюдения. Обратите внимание на колесо обозрения.

Системы КБ ВиТА VLM отличает большое количество преимуществ, многие из них становятся очевидными с первых минут эксплуатации приборов. Стоит отметить широкий рабочий температурный диапазон камер, это $-60...+55$ °С, что позволяет

применять такие приборы в авиации или северных регионах. При этом, "холодный" старт возможен уже при -60 °С, таким образом, даже при сверхнизких температурах, для запуска системы не требуется её предварительного прогрева.

В статье использованы аналитические материалы мировых производителей LWIR-систем и результаты лабораторно-полевых испытаний инженеров компании КБ ВиТА.

*Александр Шведов,
Руководитель службы проектной технической поддержки,
Главный редактор информационно-новостного ресурса НПК Фотоника.*