

УДК.621.383/4

Области применения изделий твёрдотельной фотоэлектроники (обзор)

А. М. Филачёв, И. И. Таубкин, М. А. Трищенко

Рассмотрены основные области применения изделий твёрдотельной фотоэлектроники: системы дневного, ночного и теплового видения, системы дистанционного зондирования Земли, лазерные системы и устройства на оптронных парах, в том числе волоконно-оптические и открытые оптические линии передачи информации. Среди гражданских применений выделены медицина, промышленность, энергетика. Без фотоэлектроники нельзя представить и современное вооружение. Рассмотрены тепловые, корреляционные, ультрафиолетовые головки самонаведения, системы астроориентации и астрокоррекции. Важнейшими средствами обнаружения стали системы оптической пассивной и активной локации, их стремительное развитие обусловлено прогрессом инфракрасных матриц. Фактически фотоэлектроника проникла во все сферы деятельности человека.

PACS: 85.-q

Ключевые слова: фотоэлектроника, системы технического зрения, тепловидение, оптическая локация, волоконно-оптические линии связи, обнаружение.

Введение

В последнее десятилетие твердотельная фотоэлектроника стремительно развивается и настолько проникла во все области человеческой деятельности, что изменила саму среду обитания человека. Без фотоэлектронных приборов уже невозможно представить не только науку, промышленность и вооружения, но и наш быт. При этом фотоэлектроника не только революционизировала все области техники, в которые она проникла, но и сама существенным образом изменилась и обогатилась. Фактически твердотельная фотоэлектроника стала необходимым компонентом развития национальных экономик и их безопасности. Научными сообществами и правительствами передовых в техническом отношении стран фотоэлектроника включена в перечни базовых, высоких и критических технологий национального значения.

Твердотельная фотоэлектроника возникла на стыке оптики и электроники и представляет собой одно из важнейших направлений оптической и квантовой электроники. В отличие от радиоэлектронных систем, действующих в радиочастотном диапазоне (субмиллиметровые, миллиметровые, сантиметровые и большие длины волн), в фотоэлектронике используются системы, работающие в области длин волн от 0,2—0,76 мкм (ультрафиолетовая и видимая области спектра) до 14 мкм и более. Этот спектральный диапазон включает ближнюю (0,78—1,1 мкм), коротковолновую (1,1—3 мкм), среднюю (3—5 мкм) и дальнюю (8—14 мкм) инфракрасные (ИК) области. Необходимость обнаружения и слежения за «холодными» объектами в космосе и космическая метеорология привели к освоению сверхдального ИК-диапазона спектра 14—30 мкм. В последнее время фотоэлектроника активно осваивает и терагерцовый диапазон, занимающий полосу частот от 0,1 до 10 ТГц (30—3000 мкм) и находящийся на стыке оптики и радиотехники.

Твердотельная фотоэлектроника практически сформировалась как самостоятельная область науки и техники. Её предметом является изучение физических механизмов взаимодействия оптического излучения с твёрдым телом, а также создание и исследование твердотельных фоточувствительных приборов — преобразователей оптической энергии в электрическую энергию и информации из оптической формы в электрическую.

Основные области применения изделий твердотельной фотоэлектроники рассмотрены ниже.

Филачёв Анатолий Михайлович, генеральный директор.
ОАО «НПО «Орион».

Россия, 111123, Москва, шоссе Энтузиастов, 46 /2.

Тел. 8 (499) 374-84-00. E-mail: orion@orion-ir.ru

Таубкин Игорь Исаакович, профессор.

Московский физико-технический институт (МФТИ).

Россия, 141700, г. Долгопрудный МО, Институтский пер., 9.

Трищенко Михаил Алексеевич, профессор.

Московский институт радиотехники, электроники

и автоматики (МИРЭА).

Россия, 119454, Москва, просп. Вернадского, 78.

Статья поступила в редакцию 20 января 2015 г.

© Филачёв А. М., Таубкин И. И., Трищенко М. А., 2015

Перечень литературы [1—14], использованной авторами при подготовке настоящего обзора, приведен в его конце.

Технические системы дневного, ночного и теплового видения

Технические системы *дневного видения* — фактически это различные видеокамеры, как правило, построенные на кремниевых матричных формирователях сигналов изображения. Всё в больших масштабах видеокамеры используются для обеспечения безопасности. Их устанавливают в подъездах домов и у дверей в квартиры, в присутственных и охраняемых местах, на станциях метро, железнодорожных вокзалах и переездах, на автомагистралях и перекрестках. Многие из видеокамер оснащены устройствами для циклической записи и последующего воспроизведения изображений. Сигналы от видеокамер, установленных, например, в московском метро, поступают в единый центр, что позволяет быстро реагировать на внештатные ситуации.

Легковые и «дальнобойные» грузовые автомобили комплектуются устройствами, предупреждающими столкновения с препятствиями, системами заднего обзора и видеорегистраторами, непрерывно фиксирующими и запоминающими дорожную обстановку.

Традиционные системы *ночного видения*, построенные на вакуумных электронно-оптических преобразователях, в том числе состыкованных с высокочувствительными кремниевыми приборами с зарядовой связью, сегодня вытесняются фотодиодными матрицами на основе полупроводниковых гетеропереходов арсенид индия-галлия/фосфид индия. И дело здесь не только в преимуществах твердотельных приборов над вакуумными. Спектр чувствительности фотодиодных матриц лучше согласован с излучением звёздного неба, что позволяет им регистрировать до 50 раз больше фотонов, чем в случае электронно-оптических преобразователей. Кроме того, полупроводниковые матрицы существенно превосходят электронно-оптические преобразователи по квантовому выходу.

Особое значение во всех технически развитых странах придаётся развитию *тепловидения*. Если глаз способен видеть только в дневных и в сумеречных условиях, то тепловидение предоставляет людям принципиально новую возможность — видеть практически в полной темноте!

В последние годы достигнут значительный прогресс в создании фокальных матриц, чувствительных в различных диапазонах инфракрасного спектра, микроэлектронных систем, обеспечивающих предварительную обработку сигналов

изображения, и микрокриогенных устройств. Всё это, а также пригодность для преобразования и представления тепловизионной информации существующих телевизионных методов и аппаратуры, позволило приступить к производству и внедрению «смотрящих» тепловизоров, обладающих высокой чувствительностью (до сотых долей градуса), в том числе доступных массовому потребителю.

Тепловизоры сегодня используются не только в армии для круглосуточного обнаружения военных целей или наведения высокоточного оружия. Они широко применяются для теплового мониторинга зданий, энергетических систем и трубопроводов, для профилактики транспортных средств (автомобилей, железнодорожных вагонов, авиационной техники, речных и морских судов) и их вождения ночью или в условиях плохой видимости, в медицинской диагностике, экологии, в системах охраны и предупреждения о возгораниях и для многих других целей. Трудно переоценить пользу тепловизоров для правоохранительных органов и пограничных служб.

Лазерные системы и устройства на оптронных парах

Возможности лазерного луча превзошли самые смелые предсказания фантастов. Однако для их реализации потребовалось разработать высокочастотные фотоприёмники и фотоприёмные устройства, оптимизированные на длины волн 0,63, 0,69, 0,8—0,95, 1,06, 1,3 и 1,55 микрон, а затем и на более далёкий инфракрасный и короткие «голубой» и ультрафиолетовый диапазоны. Сегодня полный перечень лазерных и светодиодных систем уже настолько велик, что здесь его невозможно привести.

Генераторы излучений не «гнушаются» работать в самой простой аппаратуре, построенной по принципу пересечения—отражения луча (автоматические двери, турникеты, водопроводные краны, системы охраны по периметру). Примеры более сложных систем:

- пульты дистанционного управления с импульсно-кодовой модуляцией излучения (с помощью этих пультов мы управляем телевизорами, видеоплеерами, кондиционерами, детскими игрушками, охранными системами автомобилей и др.);
- дисководы с оптронными парами «лазер-фотодиод» для цифровой записи и воспроизведения информации с оптических дисков в компьютерах и видеоплеерах;
- системы экологического мониторинга, в том числе дистанционные;
- и, наконец, лазерные дальномеры, предельная точность которых ограничена длиной волны используемого излучения.

Уже разработаны геодезические лазерные дальномеры с точностью измерений до нескольких миллиметров. В них используется частотно-модулированное излучение лазера, а расстояние определяется по разности фаз выходящего из дальномера и отражённого от объекта лучей.

Однако в дальномерах для военной техники непрерывное излучение недопустимо — противник запеленгует Вашу позицию. Поэтому применяют одиночные короткие импульсы невидимого глазом излучения, а расстояние определяют по сдвигу переднего фронта отражённого от цели оптического импульса. Погрешность наведения (доли метра) оказывается, как правило, меньше размеров целей.

В результате разработки фокальных матриц на основе лавинных фотодиодов появились лазерные системы, в том числе моноимпульсные, позволяющие не только определять расстояние до удалённых целей (обнаруженных, например, с помощью тепловизора) и идентифицировать их, но и воспроизводить трёхмерное изображение местности — сегодня это уже известные всем 3D-системы. Появились и лидары — лазерные аналоги радаров.

Волоконно-оптические и открытые оптические системы передачи информации. Интернет

Основная характеристика любой линии связи — скорость передачи информации. Скорость передачи информации в оптических линиях получается максимально достижимой — она ограничивается длительностью оптического импульса. При этом неотъемлемыми компонентами оптических линий являются фотоэлектронные приёмные модули и ретрансляторы.

Современные волоконно-оптические линии для дальней связи передают информацию со скоростью 2,4 Гбит/с. По одной такой линии уже можно передать одновременно 40000 телефонных переговоров или около 50 телевизионных программ. При этом волоконно-оптические линии сравнительно дешевы, обеспечивают направленную связь, а передаваемая информация не подвержена помехам и защищена от перехвата.

Широким фронтом ведутся работы по внедрению волоконно-оптических линий связи и их компонентов, работоспособных при скоростях до 2000 Гбит/с, исследуются пути дальнейшего увеличения скорости передачи информации. Именно такие волоконно-оптические линии связи требуются для установления связей между десятками миллионов компьютеров. Интернет, паутина которого опутала весь мир, стирая границы между странами, стал основным потребителем скорост-

ных волоконно-оптических линий связи. Можно говорить о слиянии волоконно-оптических линий связи и компьютеров и о появлении единого средства информатики 21-го века. Недаром 21-й век называют веком информатики. И это стало возможным, в том числе благодаря фотоэлектронике.

Кроме ранее рассмотренных волоконно-оптических линий для дальней связи, фотоэлектронные приёмные модули широко используются также во внутриобъектовых и беспроводных (открытых) линиях связи — это кабельное телевидение, офисные сети, космическая связь и др.

Компьютеры

Пары «генератор излучения — фотоприёмник» используются и в ряде блоков компьютера. Уже упоминалось о дисководах с оптранными параметрами для оптического считывания информации с компакт-дисков. Напомним, что при такой форме хранения информации её предельная плотность на диске определяется только длиной волны используемого излучения: она обратно пропорциональна квадрату длины волны. Уже в начале настоящего века выпускались диски, считываемые красными лазерами, с ёмкостью порядка 8 Гигабайт. На таком диске можно разместить целую библиотеку книг. Сегодня широко применяется более информативная Blue-Ray технология (за разработку «голубого» полупроводникового излучателя в 2013 году была присуждена Нобелевская премия). Перспективность модернизированных устройств, работающих уже в ультрафиолетовом диапазоне, очевидна.

Кроме того, в компьютерах используют инфракрасные порты между системным блоком и периферией, оптические мыши, видеокамеры для ввода изображений.

Ведутся поисковые работы по записи информации с помощью различных состояний квантовых частиц (например, с помощью разных поляризаций фотона), по выполнению на квантовом уровне логических операций. Квантовая оптоэлектроника стремится внедриться в сердце компьютера — его процессор!

Фото-, кино- и телевизионная техника

Именно фотоприёмники в своё время позволили «великому немому» заговорить. Они же используются для определения экспозиции при фото- и киносъёмке, а позднее обеспечили автоматическую установку не только выдержки и диафрагмы, но также резкости (фокусировки) и цветности изображений.

Однако решающим вкладом фотоэлектроники в фотокинотехнику стала замена фото- и кино-

плёнки на твердотельные формирователи электрических сигналов цветного изображения. Сегодня плёночные фотоаппараты и кинокамеры сохранились разве что у редких профессионалов — их заменили фото- и видеокамеры, включающие матричные формирователи сигналов изображения на основе кремниевых приборов с зарядовой связью или фотодиодных матриц. Такие фотокамеры уже характеризуются форматами от нескольких мегапикселей (например, формат 3000×2000) и до нескольких десятков мегапикселей. Наиболее распространённые форматы цифровых видеокамер 640×480 и 756×576, для работы с компьютерными дисплеями и телевизорами используются видеокамеры с более высоким разрешением: 1024×768, 2048×1536, 3840×2160 пикселей.

Работоспособность при ярком солнечном освещении (при освещённости 10^5 люкс) и в сумерках (до 10^{-3} — 10^{-4} люкс), встроенная корректировка цветности изображения, цифровая форма выходного сигнала, возможность отбора кадров при съёмке, возможность хранения и просмотра информации с помощью электронных средств, а также компьютерной обработки изображений и передачи их по радиоканалу и интернету — всё это сделало новые фото- и видеокамеры привлекательными не только для любителей, но и для профессионалов. В настоящее время телевидение также перешло на съёмку видеокамерами.

В 2014 году общее количество выпущенных за всё время мобильных устройств (мобильных телефонов, планшетов и других) превысило численность населения нашей планеты. Почти в каждом из таких приборов встроен и фото- или видеоаппарат, а следовательно, содержится и кремниевая фотоматрица. К этому надо добавить и собственно цифровые фото- и видеокамеры. Стало быть, теперь счёт на выпущенные кремниевые фотоматрицы идёт уже на многие миллиарды.

Экология

В наш век глобальной индустриализации необходимо принимать действенные меры по охране окружающей среды. Актуальным становится экологический мониторинг. И здесь также оказывается востребованной фотоэлектроника. Например, оптронные пары на спектральный диапазон 2—5 мкм, потому что на этот спектральный диапазон приходятся линии поглощения большинства природных и промышленных газов. Примеры: метан CH_4 (2,3 и 3,2—3,45 мкм), пары воды H_2O (2,6—2,85 мкм), углекислый газ CO_2 (2,65 и 4,2—4,3 мкм), двуокись азота NO_2 (3,4 мкм), угарный газ CO (4,8 мкм).

Оптические анализаторы позволяют измерять весьма малые концентрации газов. Например, при-

сутствие углекислого газа оценивается вплоть до 0,02 % по относительной концентрации.

В состав оптического газоанализатора, кроме основной оптронной пары, согласованной по спектру с линией поглощения контролируемого компонента газа, входит и опорная оптронная пара. Её рабочая длина волны находится вне линии поглощения компонента. Обработка фотосигналов обеих пар позволяет отделить поглощение контролируемого компонента от влияния непрозрачности среды и обеспечить стабильность показаний. Конструкции газовых анализаторов самые различные: есть портативные (габариты со спичечную коробку), есть более сложные и габаритные — например, многоканальные.

Для изготовления фотодиодов используют узкозонные полупроводники — бинарные соединения A_3B_5 на основе элементов третьей (Al, Ga, In) и пятой (P, As, Sb) групп и их тройные и четверные твёрдые растворы. Как правило, приборы представляют собой гетероструктуру. В основе технологии фотодиодов лежат газофазная эпитаксия и жидкофазная эпитаксия из металлоорганических соединений.

Часто требуется низкое рабочее напряжение фотодиода, что обеспечивает безопасность работы в агрессивных средах и низкое энергопотребление. Важной особенностью описываемых фотодиодов является возможность их работы при нормальной температуре (разработана модификация, которая работоспособна даже при повышенной температуре 80 °С). Это позволяет исключить из конструкции системы охлаждения. Напомним: для пороговых фотоприёмников на тот же спектральный диапазон 2—5 мкм необходимо охлаждение.

Технологии изготовления фотодиодов и светодиодов во многом идентичны. Это позволило изготовить универсальный прибор, который одновременно является и фотодиодом (при обратном смещении), и светодиодом (при прямом смещении).

По описанному принципу строятся оптические анализаторы не только газов, но и жидкостей. Эти анализаторы востребованы не только в экологии, но и в других областях науки и промышленности. Экологию и безопасность атомных электростанций с графито-газовыми реакторами обеспечивает контроль углекислого газа в предректорных зонах (этот газ является здесь теплоносителем). На нефтеперегонных заводах экологию и безопасность обеспечивает трассовый оптический датчик углеводородов. И, наконец, неожиданное применение фотоэлектроники-фотодиода в составе оптического газоанализатора: измерение паров спирта в выдохе водителей транспортных средств. Ох, уж эти примилле!

Дистанционное зондирование Земли

Оно осуществляется с помощью систем технического зрения, «рассматривающих» Землю с борта самолётов и космических аппаратов.

Летательные аппараты могут обеспечить развёртку изображения вдоль направления их полёта. Поэтому для дистанционного зондирования Земли используются не только смотрящие матрицы, но и многорядные линейки, работающие в режиме временной задержки и накопления.

Масштабны задачи, решаемые с помощью систем дистанционного зондирования Земли: это картография и исследование природных ресурсов, метеорология и прогнозирование урожаев, выявление чрезвычайных ситуаций (пожаров, наводнений и техногенных экологических катастроф), обнаружение плантаций наркотических растений и многое другое. Так, только в длинноволновом инфракрасном диапазоне получают информацию о горных породах, температуре и влажности почв, уровне грунтовых вод, температуре водных поверхностей, утечках в тепловых, нефтяных и газовых магистралях.

Другие гражданские области применения твердотельной фотоэлектроники

Как следует из приведенных примеров, фотоэлектронные методы и аппаратура получили широкое распространение в бытовой технике, в промышленности (различные системы автоматизации и контроля), в энергетике, в охранных системах, на транспорте. Не менее широко используются они и в научных исследованиях (радиометрические и оптические измерения, спектральный анализ, исследования быстропротекающих процессов, биологических тканей и космических объектов и многое другое), а также в медицине.

Благодаря гуманности решаемых задач применение фотоэлектроники в медицине приобретает особое значение. Важнейшие узлы в современной аппаратуре для самых действенных диагностических методов — рентгенографии и томографии — фотоэлектронные. В клиническую практику широко вошли фотоэлектрические эндоскопы, воспроизводящие увеличенное изображение внутренних органов человека на цветных дисплеях. Упомянем здесь также раннюю диагностику воспалительных процессов и онкологических заболеваний с помощью тепловизоров, оптические приборы для контроля кровотока.

Фотоэлектронные изделия нашли применение даже в торговле и в складском хозяйстве. Так, на открытых прилавках современного универсама находится около 4—5 тысяч наименований товаров, а покупателей быстро обслуживают несколь-

ко кассиров. Это стало возможным благодаря новой торговой технике — прежде всего оптическим считывателям товарного штрих-кода.

Применения фотоэлектроники в военном деле столь разнообразны и широки, что им придётся посвятить самостоятельный раздел.

Фотоэлектроника на военной службе

Без фотоэлектроники невозможно даже представить себе современное вооружение. Многие изделия твердотельной фотоэлектроники являются изделиями двойного назначения. Часть из них разрабатывалась по заказам военных и только потом нашла применение в мирной жизни.

Наиболее распространёнными фотоэлектронными изделиями в армии, по-видимому, являются приборы ночного видения и ночные прицелы на основе электронно-оптических преобразователей или твердотельных матричных формирователей сигналов изображения, а также разнообразные оптические головки самонаведения для ракет, снарядов и корректируемых авиабомб.

Оптические головки самонаведения часто работают в пассивном режиме — они захватывают цель или по её контрасту с фоном (например, по видимому контрасту цели с небом или облаками) или по собственному инфракрасному излучению цели (по тепловому излучению двигателя, факела и нагретой обшивки самолёта, ракеты или танка) — головки второго типа называют тепловыми. Перспективны также головки самонаведения, чувствительные в ультрафиолетовом диапазоне оптического спектра — за счёт ионизованных радикалов факелы реактивных двигателей создают значительное излучение с длинами волн короче 0,35 микрометра. Для борьбы с воздушными целями, как правило, используют головки, чувствительные в ультрафиолетовом и видимом диапазонах спектра, а также в инфракрасном диапазоне от 3 до 5 микрометров. Для наземных целей чаще используется диапазон 8—14 микрометров, а для слабонагретых космических объектов — сверхдлинноволновый инфракрасный диапазон.

Наибольшей дальностью захвата характеризуются головки самонаведения, укомплектованные матричными, а наилучшей помехозащищённостью — двух- и более диапазонными формирователями сигналов изображения.

В активных системах лазерного наведения цель подсвечивается невидимым для глаза лучом лазера, а оптическая головка наводится по отражённому от цели лазерному излучению. Подсветка цели и пуск ракеты (бомбометание, стрельба) теперь могут производиться с разных позиций, в том числе из-за укрытия.

Отражённое от цели лазерное излучение используется и для точного измерения расстояний с помощью лазерных дальномеров.

Системы лазерного наведения и оптические головки самонаведения обеспечивают попадание снарядов, ракет и бомб в цель с вероятностью более 0,5—0,9. Для сравнения — согласно статистическим оценкам во второй мировой войне на поражение одной цели тратилось до 170 снарядов. Высокая вероятность попадания в цель — веское основание назвать новое поколение самонаводящегося оружия высокоточным.

Разработаны оптико-электронные системы астроориентации и астрокоррекции для баллистических и крылатых ракет, запускаемых с подвижных стартовых позиций (например, с подводных лодок). Такие системы позволяют запускать ракеты в любое время суток из любого района Земли, в том числе из районов, расположенных вблизи магнитных и географических полюсов.

Фотоприёмники используются и в лазерных инерциальных (гироскопических) системах навигации — автономных системах, способных вести ракету (самолёт, судно, подводную лодку) по заданной траектории и не подверженных внешним воздействиям.

Назовём здесь также корреляционные головки самонаведения для крылатых ракет (бортовой вычислитель управляет ракетой, сравнивая корреляционные функции заложенного в него маршрута и изображения подстилающей местности, получаемого с помощью малоформатной матрицы фотоприёмников); тепло-радиолокационные ракеты (на больших расстояниях от цели ракета управляется радиолокатором, а вблизи цели — более помехозащищённой и точной оптической головкой); телеуправляемые по лазерному лучу ракеты (фотоэлектронный модуль расположен в их хвостовой части) и, наконец, нацеленные указатели цели, управляемые движением головы лётчика, и бесконтактные оптические взрыватели.

Широкое применение находит в войсках тепловизионная техника. Тепловизорами комплектуются круглосуточные пассивные системы наблюдения и охраны, стрелковые прицелы. Тепловизоры используются для управления огнём танков, вождения танков и транспортных средств ночью и в условиях плохой видимости. Самолёты, вертолёты и боевые корабли оборудуются тепловизионными системами переднего обзора, а подводные лодки — тепловизионными перископами.

Дополнительные возможности получили военные в связи с появлением миниатюрных формирователей сигналов видимого и тепловизионного изображений. Сегодня Вы можете быстро получить сведения о дислокации противника или со-

вершать диверсии в его тылу (на глубине в несколько десятков километров и более), не рискуя жизнью разведчиков и диверсантов. Эти задачи выполняют беспилотные радиоуправляемые летательные аппараты (в том числе миниатюрные), укомплектованные системами дневного и/или тепловизионного видения

Успешно решается задача по оснащению солдат малогабаритными нацеленными телекамерами и тепловизорами. Полученные от них изображения по радиоканалу могут воспроизводиться и на дисплее, расположенном на командном пункте.

Миниатюрные, управляемые по радио датчики видимого и тепловизионного изображений могут устанавливаться (например, сбрасываться с самолёта) в районе боевых действий. Информация от таких датчиков также воспроизводится на командном пункте.

Как уже упоминалось, в последнее время разработаны фокальные матрицы на основе лавинных фотодиодов и лазерные системы (в том числе моноимпульсные), позволяющие не только идентифицировать удалённые цели и определять расстояние до них, но и воспроизводить трёхмерное изображение местности.

Использование высокоскоростных и защищённых от прослушивания волоконно-оптических линий связи и передачи информации позволило существенно улучшить управление боевыми частями и согласованность их действий.

Развитие военной техники — вечная борьба «меча и щита», средств нападения и защиты. Так, на появление противотанковых ракет с лазерными системами наведения конструктора танков ответили разработкой обнаружителей лазерного излучения. При обнаружении лазерного излучения включаются различные системы постановки завес, уводящих противотанковую ракету в сторону. Самолёты и вертолёты также оснастились тепловизионными системами обнаружения нападающих ракет противника и защиты от них.

Важнейшими стратегическими средствами обнаружения нападающего противника стали наземные, корабельные, авиационные и космические системы пассивной и активной оптической локализации, построенные с использованием многоэлементных линейных и матричных формирователей сигналов изображения. Основными являются пассивные системы, фиксирующие инфракрасное, видимое или ультрафиолетовое излучение целей. Такие системы обладают большой дальностью действия, обеспечивают круговой обзор, высокую точность определения координат цели, способны одновременно сопровождать несколько сотен целей и являются ключевыми элементами национальной системы противоракетной обороны.

Заключение

Таким образом, создание и производство высокоёмких изделий твердотельной фотоэлектроники стало одним из важнейших условий не только инновационного развития, но и безопасности национальных экономик.

Авторы выражают благодарность доктору физико-математических наук профессору В. П. Пономаренко за полезные обсуждения, доктору физико-математических наук Б. А. Матвееву и кандидату физико-математических наук Г. Г. Коновалову за предоставление материалов по экологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kyoung S. D., Jung S. O., Surng G. I., et al.* Simulation of Target Detection in UV and IR Bands // *Optical Engineering*. 2001. No. 11. P. 40.
 2. II Научно-техническая конференция «Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования Земли», Адлер, 2005.

3. *Линьков В., Морозов А., Сидоров В.* Локационные системы оптического диапазона комплексов ПВО. // *Зарубежное военное обозрение*, 2000. № 6. С. 47; 2000. № 7. С. 46.
 4. *Якушенков Ю. Г.* Теория и расчёт оптико-электронных приборов. — М., Логос, 2004.
 5. *Тарасов В. В., Якушенков Ю. Г.* Инфракрасные системы «смотрящего» типа. — М., Логос, 2004.
 6. *Пономаренко В. П., Филадельф А. М.* Инфракрасная техника и электронная оптика. Становление научных направлений (1946-2006) — М., Физматкнига, 2006.
 7. Российское совещание по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники «Фотоника — 2008». Тезисы докладов. — Новосибирск, Академгородок, 2008.
 8. XXI век. Том XI «Оптико-электронные системы и лазерная техника». — М., Издательский дом «Оружие и технологии», 2005.
 9. *Пономаренко В. П.* Теллурид кадмия-ртути и новое поколение приборов инфракрасной фотоэлектроники. // *УФН*, 2003, 6. С. 649.
 10. *Chioni V., Gulininatti A., Rech I., et al.* Progress in Silicon Single-Photon Avalanche Diodes. // *IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electronics*, 2007. V. 13. No. 4. P. 852.
 11. *Asbrock J., Bailey S., Baley D., et al.* Ultra-High Sensitivity APD based 3D LADAR Sensors: linear mode photon counting LADAR camera for the Ultra-Sensitivity Detector Program. // *Proc.SPIE*. 2008, V. 6940, P. 69402.
 12. *Тиранов Д. Т., Овсянников Я. В., Филиппов В. Л.* // *Авиакосмическое приборостроение*. 2013. № 6.
 13. *Матвеев Б. А.* // *Фотоника*. 2013. № 6.
 14. *Бурлаков И. Д., Дирочка А. И., Корнеева М. Д. и др.* // *Успехи прикладной физики*. 2014. Т. 2. № 5. С. 509.

A review on applications of the devices of the solid-state photoelectronics

A. M. Filachov¹, I. I. Taubkin², and M. A. Trishenkov³

¹Orion R&P Association, Inc.
46/2 Enthusiasts highway, Moscow, 111123, Russia

²Moscow Physicotechnical Institute (State University)
9 Institute al., Dolgoprudny, Moscow Region, 141700, Russia

³Moscow Institute of Radio Electronics and Automatics (MIREA)
78 Vernadsky av., Moscow, 119454, Russia

Received January 20, 2015

Presented is a review of the main areas of application of the devices of the solid-state photoelectronics: the systems of day, night and thermal viewing, distant sounding of the Earth, laser systems and equipment on photon-coupled pairs, including optical and open information links. The medicine, industry and energetics are mentioned among the civil applications. One cannot imagine the present armaments without photoelectronics. Here you have the review of night viewing, thermal, correlated, ultraviolet homing heads, systems of astroorientation and astrocorrection. The systems of passive and active optical location turned out to be a very important sensors, their impetuous progress is conditioned by the impetuous progress of infrared matrix. In fact, the photoelectronics have penetrated in all the areas of human activities.

PACS: 85.-q

Keywords: photoelectronics, systems of technical vision, thermovision, optical location, fiber-optic lines of connection, detection.

REFERENCES

1. S. D. Kyoung, S. O. Jung, G. I. Surng, et al., *Simulation of Target Detection in UV and IR Bands*. Optical Engineering, No. 11, 40 (2001).
2. II Science-Technical Conference "Systems of Monitoring, Supervision and Distant Sounding of the Earth", *Materials* (Russia, Adler, 2005) [in Russian].
3. V. Linkov, A. Morozov, and V. Sidorov, *Location Systems of Optical Diapason of the Complex of Aircraft Defense*. Foreign Military Survey, No. 6, 47 (2000); No. 7, 46 (2000).
4. Y. G. Yakushenkov, *The Theory and the Calculation of Optical-Electronic Devices* (Logos, Moscow, 2004) [in Russian].
5. V. V. Tarasov and Y. G. Yakushenkov, *Infrared Systems of the "Looking" Type*. (Logos, Moscow, 2004) [in Russian].
6. V. P. Ponomarenko and A. M. Filachov, *Infrared Techniques and Electronic Optics. The Formation of the Schools (1946-2006)* (Fisimatkniga, Moscow, 2006) [in Russian].
7. *All-Russian Meeting on the Actual Problems of the Semiconductor Photoelectronics "Photonika — 2008". The thesis of the informs.* (Novosibirsk, Akademgorodok, 2008) [in Russian].
8. *XXI century. Vol. XI: Optic-Electronic Systems and Laser Techniques.* (Izdat. Dom Oruzhie I Technologii, 2005) [in Russian].
9. V. P. Ponomarenko, *Telluride of the Cadmium and Mercury and the New Generation of the Instruments of the Infrared Photoelectronics*. Phys. Usp., No. 6, 649 (2003).
10. V. Chioni, A. Gulininatti, I. Rech, et al., *Progress in Silicon Single-Photon Avalanche Diodes*. IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electronics **13** (4), 852 (2007).
11. J. Asbrock, S. Bailey, D. Baley et al., *Ultra-High Sensitivity APD Based 3D LADAR Sensors: Linear Mode Photon Counting LADAR Camera for the Ultra-Sensitivity Detector Program*. Proc. SPIE **6940**, 69402 (2008).
12. D. T. Tiranov, Y. V. Ovsianikov, and V. L. Filippov, *Aviakosvicheskoye Priborostroenie*, No. 6, (2013).
13. B. A. Matveev, *Photonika*, No. 6, (2013).
14. I. D. Burlakov, A. I. Dirochka, M. D. Korneeva, et al., *Uspekhi Prikladnoi Fiziki* **2**, 509 (2014).

* * *