

Автоматизированная система синтеза ИК-изображений для тестирования характеристик матричных фотоприемных устройств

А. Г. Верхогляд, И. С. Гибин, А. Г. Елесин, Л. Б. Касторский, С. А. Кокарев,
А. В. Солдатенко, М. Ф. Ступак

Изложены результаты разработки и апробирования отечественной автоматизированной системы синтеза динамических и статических ИК-изображений в составе испытательного стенда контроля характеристик МФПУ. Реализованы наличие двух независимых каналов засветки поверхности тестируемого изделия – канал объекта и канал фона, возможность независимого изменения уровней облученности в обоих каналах в широком диапазоне – в канале фона облученность не менее 10^{-7} Вт/см², в канале объекта в диапазоне 10^{-9} – 10^{-6} Вт/см². Размер точечного объекта, формируемого в плоскости изображения тестируемого МФПУ, не превышает 30 мкм, скорость его перемещения до 250 мкм/с.

Ключевые слова: матричное фотоприемное устройство, МФПУ, синтез динамических ИК-изображений, контроль характеристик МФПУ, прецизионное позиционирование.

Введение

Последнее десятилетие характеризуется небывалой концентрацией усилий зарубежных и отечественных разработчиков на создании высокоэффективных чувствительных матричных фотоприемных устройств (МФПУ) на ИК- и даже ТГц-диапазоны. Одним из важнейших этапов при создании таких МФПУ ИК-диапазона, а также различных систем ночного видения является стадия их всестороннего испытания и тестирования. В реальной обстановке этим приборам приходится следить за быстро перемещающимися и изменяющимися объектами, причем в этом режиме характеристики МФПУ могут существенно отличаться

от характеристик, измеренных в статическом или квазистатическом режимах.

Минимизация затрат на такие испытания с их максимальной заменой лабораторным тестированием на специализированном стенде является одним из способов значительной экономии средств при разработке МФПУ, с одной стороны, а с другой – позволяет разработчикам оценивать и оптимизировать характеристики будущих МФПУ уже на этапе конструкторской проработки изделий.

Поэтому чрезвычайно актуальными являются разработка и создание как принципов, так и конкретных стендов, систем, синтезирующих различные динамические тесты для испытания современных МФПУ. Базовыми элементами этих стендов и систем являются комплексированные преобразователи сформированных на компьютере изображений в заданную ИК-область спектра, обеспечивающие формирование как статических тестовых изображений, так и динамических сцен.

Целью данной работы является изложение результатов разработки и апробирования отечественной автоматизированной системы синтеза динамических и статических ИК-изображений в составе испытательного стенда контроля характеристик МФПУ в сравнении с зарубежными аналогами.

Современные системы синтеза динамических ИК-изображений

Современную продукцию для тестирования инфракрасных приборов представляют зарубеж-

Верхогляд Александр Григорьевич¹, зав. лаб.,
и.о. зам. директора.

Гибин Игорь Сергеевич^{1,2}, г.н.с., д.т.н., профессор.

Елесин Андрей Геннадьевич¹, инженер.

Касторский Леонид Борисович¹, гл. конструктор.

Кокарев Сергей Александрович¹, гл. спец.

Солдатенко Алексей Владимирович¹, инженер.

Ступак Михаил Федорович¹, в.н.с., к.ф.-м.н., доцент.

¹ Конструкторско-технологический институт научного приборостроения Сибирского отделения РАН (КТИ НП СО РАН).
Россия, 630058, Новосибирск, ул. Русская, 41.
Тел. +7(383) 306-58-66. E-mail: stupak@tdisie.nsc.ru

² Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения РАН (ИАиЭ СО РАН).
Россия, 630090, Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 1.

E-mail: gibin@iae.nsk.su

Статья поступила в редакцию 15 мая 2018 г.

ные компании: Electro Optical Industries Inc (EOI, США), Santa Barbara Infrared Inc (SBIR, США), Diversified Optical Product Inc (DIOP, США), HGH Infrared (Франция), CI Systems (Израиль). Коротко остановимся на наиболее распространённых системах тестирования различных ИК-приборов.

Модульная тестовая станция SBIR RTB 3000 [1] предназначена для измерений параметров ИК-детекторов: одноэлементных приемников, линейчатых и матричных многоэлементных фотоприемных устройств. Комплекс RTB 3000 может работать совместно с такими измерительными стендами как, например, Lumitron SVS 2000 [2], SBRC David, а также системами, разработанными Pulse Instruments systems [3]. Более полные характеристики стенда RTB 3000 можно найти в [4, 5].

Для комплексного тестирования тепловизионных приборов компания SBIR предлагает генератор динамической ИК-сцены Mirage-H [1]. Генератор сцены имеет в основе массив размерности 512×512 , выполненный из тонкопленочных резистивных излучателей площадью 48 мкм^2 каждый. Эффективный температурный диапазон массива излучателей составляет $285\text{--}675 \text{ К}$ ($3\text{--}5 \text{ мкм}$) и $285\text{--}500 \text{ К}$ ($8\text{--}12 \text{ мкм}$). Температурное разрешение указывается производителем менее чем 50 мК при температуре 320 К . Генератор ИК-сцены Mirage-H способен воспроизводить динамическую ИК-картинку с частотой кадра $20\text{--}200 \text{ Гц}$.

Французская компания HGH Infrared Systems [6–8] разрабатывает стенды для контроля фотодетекторов, лабораторных ИК-приборов, тепловизионных систем охраны и мультиспектральных приборов промышленного применения. Стенд BIRD 210 разработан для измерения параметров ИК-фотодетекторов. В состав стенда, помимо оптико-механических компонентов, входят шкаф управления и персональный компьютер с платой видеозахвата и программным обеспечением для обработки и анализа данных. Функции стенда BIRD 210 являются типичными для установок контроля инфракрасных детекторов.

Альтернативную генератору ИК-сцены SBIR MIRAGE-H конструкцию имеет генератор динамической ИК-сцены DSTS, разработанный OSC (Optical Sciences Corporation) [9, 10]. В основе устройства лежит модуляция светового потока массивом микрзеркал, широко распространенная в видимом диапазоне спектра (т. н. DMD-технология). Использование DMD-технологии позволяет применять описанный генератор динамической сцены в широком диапазоне спектра от УФ до дальнего ИК.

И, наконец, остановимся на системе AMIDEON – Multispectral Projection System, фирмен разработчик e.sigma Technology AG [11]. В прин-

ципе этот проектор в одной из своих концепций подобен тому, который предложен в работе [12], однако есть и отличия. Прежде всего, это использование для освещения лазера вместо теплового излучателя или АЧТ. С одной стороны, это существенно поднимает интенсивность освещения DMD-матриц, с другой – существенно усложняет и удорожает систему.

Отметим, что ряд упомянутых выше систем, а также некоторых иных, более подробно разобран в [13].

Постановка задачи

Как уже сказано, целью настоящего сообщения является изложение результатов разработки и апробирования отечественной автоматизированной системы синтеза динамических и статических ИК-изображений в составе испытательного стенда контроля характеристик МФПУ.

Остановимся на основных требованиях, которыми должна удовлетворять эта система.

Принципиальные аппаратные решения построения системы (в первую очередь – формирование динамических изображений с помощью DMD-матриц [12–15] и использование абсолютно черных тел в качестве источника излучения [16–20]) позволяют ей работать в принципе от УФ до среднего ИК-диапазона. А дополнительное использование в оптических каналах узкополосных фильтров дает возможность комплексирования различных длин волн в синтезированных динамических изображениях.

Все составляющие части конкретной описываемой ниже системы и входящие в неё элементы обеспечивают ее работу в спектральной области $2\text{--}5 \text{ мкм}$.

Система должна содержать два независимых проекционных канала, одновременно формирующих в одной плоскости изображения программируемый тест-объект (канал объекта) и программируемое фоновое поле (канал фона).

Оба канала должны содержать трёхступенчатые блоки нейтральных светофильтров, обеспечивающих необходимое ослабление потока излучения.

Точка, формируемая в канале тестового объекта, должна иметь возможность перемещения по любым прямолинейным траекториям в плоскости изображения с заданной скоростью. Конструкция системы должна обеспечивать лёгкую сменяемость синтезируемых изображений в канале тест-объекта.

Оба канала должны обеспечивать возможность изменения времени экспозиции с помощью фотозатворов.

Параметры точечного объекта, формируемого в плоскости изображения:

- диаметр не более 30 мкм;
 - поток излучения для спектрального диапазона в плоскости изображения без применения нейтральных фильтров не менее 1×10^{-10} Вт/в пятне;
 - коэффициент концентрации энергии не менее 80 %;
 - регулируемая скорость перемещения 2–250 мкм/с;
 - величина перемещения в плоскости изображения не менее 1 мм;
 - направление перемещения – прямолинейное в любом направлении в плоскости изображения;
 - изменение облучённости фоточувствительных элементов в процессе перемещения точечного объекта не более 5 %;
 - должна быть обеспечена возможность программирования направления, скорости, времени перемещения, установки в исходное положение;
 - должна быть обеспечена возможность получения текущих координат объекта относительно исходного положения.
- В фоновом канале должны обеспечиваться:
- облучённость в плоскости изображения не менее 1×10^{-7} Вт/см² для рабочего диапазона;
 - размер изображения не менее круга диаметром 200 мм;
 - неоднородность облучённости не более 5 % (доля среднеквадратичного отклонения от среднего значения облучённости составляет не более 5 %).

Конструкция системы должна обеспечивать возможность прецизионного перемещения оптической оси и тестируемого фотоприёмного устройства в трёх взаимно перпендикулярных направлениях относительно друг друга. Одно направление должно быть ориентировано вдоль оси излучения канала тестового объекта, два других обеспечивать перемещение в плоскости изображения.

Оптическая схема и функциональные характеристики элементов системы

В конструкции системы реализованы как обязательные следующие функциональные особенности.

а) Наличие двух каналов засветки поверхности тестируемого изделия (канал объекта (КО) и канал фона (КФ)). КО предполагает создание структур с переменной яркостью и высокой про-

странственной частотой (минимальный диаметр области засветки может быть не более 30 мкм). Максимальный размер области засветки КО может достигать размера 3×3 мм. КФ предназначен для создания равномерной засветки на области размером не менее 200×200 мм.

б) Возможность независимого изменения уровня облучённости в обоих каналах, причём в широком диапазоне облучённостей (в канале фона облучённость не менее 10^{-7} Вт/см², в канале объекта в диапазоне 10^{-9} – 10^{-6} Вт/см²).

в) Возможность «мгновенного» перемещения синтезируемой облучающей структуры, сформированной в канале объекта, (характерное время перемещения менее 10^{-6} с) по всей поверхности тестового канала.

г) Возможность перемещения синтезируемой облучающей структуры, сформированной в КО, по всей приемной плоскости тестируемого МФПУ со скоростями до 250 мкм/с.

Данные технические требования реализованы благодаря использованию в качестве источников облучённости в КО и КФ независимых устройств. Эти устройства являются DLP-диапроекторами на специализированных DMD-матрицах (рассчитанных и изготовленных для необходимого спектрального диапазона). В каждый канал введена дополнительная возможность регулировки уровня облучённости с помощью калиброванных светофильтров (помимо возможностей, имеющих в аппаратно-программной части диапроекторов). Кроме того, предусмотрена трехкоординатная система прецизионного позиционирования, обеспечивающая перемещение поверхности тестируемого изделия с высокой точностью (погрешность позиционирования по любой координате менее 2 мкм) как поперек (в произвольном направлении), так и вдоль оптической оси системы. Малое время переключения зеркал DMD-матрицы (менее 10^{-8} с) и высокое разрешение DMD-матрицы (размерность 1600×1200 пикселей (микрзеркал)) позволяют производить практически мгновенное перемещение объекта изображения, сформированного в КО по всей его площади, а также избежать явления «послесвечения» пикселей тестируемого объекта. Перечисленные выше конструктивные особенности обеспечивают выполнение всех перечисленных выше технических требований.

Общий вид системы (без двухканального диапроектора, который должен устанавливаться на плиту координаты Z) приведен на рис. 1.

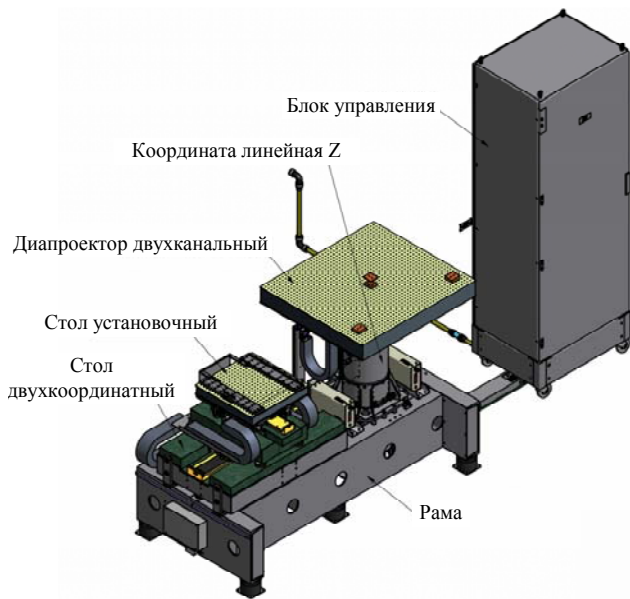


Рис. 1. Общий вид системы.

Двухканальный диапроектор (далее – ДД) предназначен для синтеза заданной освещенности

(как по уровню мощности, так и по топологии синтезируемых фигур) на поверхности тестируемого изделия. Блок-схема ДД приведена на рис. 2.

DMD-матрица представляет собой матрицу из микрозеркал. Каждое зеркало имеет форму квадрата со стороной 12 мкм. Зеркала плотно упакованы в матрицу (зазоры между зеркалами около 0,5 мкм). Размерность матрицы – 1600×1200 пикселей (зеркал). Каждое зеркало может поворачиваться (по сигналу управления) на угол $\pm 12^\circ$ относительно диагонали. В ДД используются доработанные DMD-матрицы, используемые в видеопроекторах F32 (изготовитель Projection Design, Норвегия). Исходная DMD-матрица – матрица типа S1410-9037 фирмы Texas Instr. – обеспечивает формирование и перемещение тестового объекта по программе, задаваемой управляющим компьютером и передаваемой через DVI-интерфейс. Рабочее поле матрицы 15×15 мм. Изображение матрицы (с увеличением для КФ и уменьшением для КО) располагается точно в приемной плоскости тестируемого МФПУ.

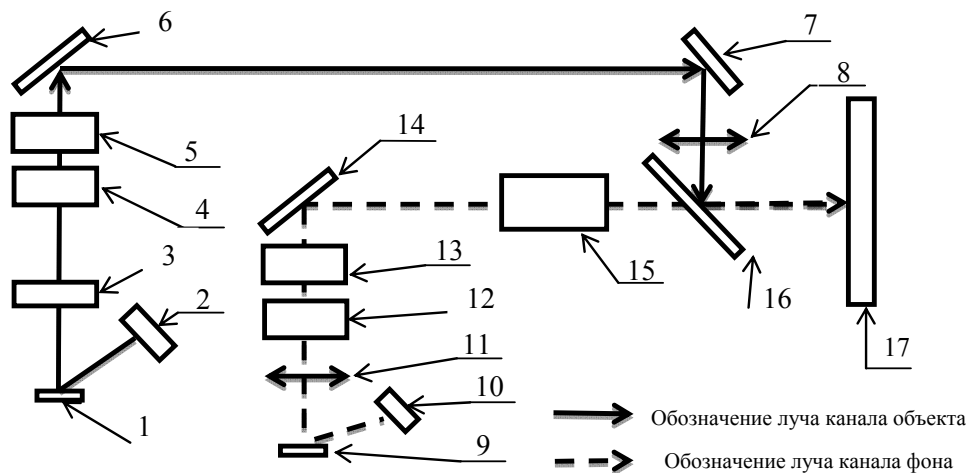


Рис. 2. Блок-схема двухканального диапроектора.

1 – DMD-матрица КО; 2 – осветитель; 3 – фотозатвор КО; 4 – узел фильтров; 5 – турель фильтров; 6 – зеркало; 7 – зеркало; 8 – объектив КО; 9 – DMD матрица КФ; 10 – осветитель; 11 – объектив КФ; 12 – фотозатвор КФ; 13 – узел фильтров; 14 – зеркало; 15 – турель фильтров; 16 – полупрозрачное зеркало; 17 – условное изображение тестируемой фотоматрицы (в состав двухканального диапроектора не входит).

Осветители 2 и 10 соответственно КО и КФ абсолютно идентичны и состоят из следующих основных элементов:

- излучателя 140W IR Element 6363 (Newport Corp. США, коэффициент серости близок к единице);

- платы коммутации 60090-1110 этой же фирмы, через которую осуществляется электропитание излучателя;

- рефлектора, который представляет собой медное сферическое зеркало для фокусировки излучения на DMD-матрицу;

- двух рубашек охлаждения проточного типа, которые с помощью фитингов и трубок подсоединены к гидравлической системе.

Блок фильтров КО состоит из двух узлов: узел фильтров 4 и турель фильтров 5.

Узел фильтров 4 в канале объекта состоит из двух параллельных друг другу устройств одинаковой конструкции. В качестве механизма перемещения применен линейный привод LEFS16B-50-S16ND фирмы SMC (Япония), в котором используется шаговый двигатель и шарико-винтовая пе-

редача (шаг 5 мм). Светофильтр в каждом из устройств – плоский прямоугольной формы с размерами 37×32×3 мм, изготовлен из флюорита с металлическим напылением. Коэффициент пропускания светофильтра в первом устройстве равен 0,1. Установленный параллельно второй светофильтр имеет коэффициент пропускания 0,01.

Турель фильтров 5 состоит из двух параллельных дисков, расположенных на общей оси. В каждом диске имеются четыре гнезда, расположенных по окружности через 90°, причём в трёх из них размещаются фильтры с разными коэффициентами пропускания, а одно гнездо свободно. Фильтры (флюорит с металлическим напылением), размещенные в первом диске, имеют коэффициенты пропускания 0,2; 0,6; 0,8. А во втором диске – 0,5; 0,7; 0,9. Комбинируя угловое положение дисков с помощью управляющей программы, можно получить весь ряд коэффициентов пропускания от 10^{-3} до 10^{-4} . Поворот каждого диска осуществляется с помощью шагового двигателя (ШД) PL42H48-D5, фазные обмотки которого подключены к драйверу UIM240C04T фирмы URobot (Китай). Управление турелью осуществляет контроллер.

Устройство узла фильтров 13 и турели фильтров 15 в канале фона идентичны описанным выше в канале объекта.

Зеркало 6 и зеркало 7 позволяют дважды повернуть на 90° световой поток канала объекта с целью компактного размещения узлов оптической системы на несущей плите.

Управляемые электромеханические фотозатворы 3 и 12 в КО и КФ идентичны (CS35E3T1 фирмы Vincent Associates). Они установлены в каналах объекта и фона вблизи DMD-матриц, что минимизирует их апертуру. Фотозатворы применяются для кратковременного закрытия каналов объекта и фона, время экспозиции задается управляющим компьютером. Предусмотрена возможность внешнего запуска фотозатворов по сигналу от МПФУ.

Объектив 8 КО в оправе устанавливается и закрепляется на подставке, размещённой на платформе 6TP116 фирмы Standa (Литва).

Формирующий объектив 11 КФ состоит из объектива, формирующего изображение фона, и юстировочного устройства. Юстировочное устройство содержит держатель OMMB80-2BT фирмы Zolix (Китай), который устанавливается на базовый линейный транслятор 7T125X-10-9S65M фирмы Standa (Литва), имеющий возможность линейного перемещения ± 5 мм по оптической оси с помощью высокоточных микровинтов.

Полупрозрачное зеркало 16 прямоугольной формы с размерами 220×166×20 мм изготовлено

из монокристаллического кремния с просветлением одной стороны и установлено на многоосной наклонной платформе 6TP116 фирмы Standa (Литва).

Трёхкоординатное устройство сканирования служит для перемещения тестируемого МФПУ по координатам X и Y , перемещения и фиксации положения двухканального диапроектора вдоль координаты Z и содержит следующие основные узлы: стол двухкоординатный, координату линейную Z , стол оптический виброизоляционный.

Двухкоординатный стол содержит два независимых линейных координатных устройства X и Y , перемещающих тестируемое МФПУ, располагающееся на установочном столе. Движение кареток устройств по координатам X и Y происходит на аэростатических опорах по гранитным направляющим с помощью линейных приводов. В конструкции двухкоординатного стола использованы модернизированные узлы и детали двухкоординатного стола установки АП-400 ООО «Микромир».

Установочный стол служит для установки тестируемого МФПУ, юстировки его по углу в горизонтальной плоскости и последующей фиксации.

Линейная координата Z служит для перемещения и фиксации положения двухканального диапроектора и содержит следующие основные узлы: гранитная направляющая, корпус, привод (домкрат с шариковинтовой передачей).

Оптический виброизоляционный стол предназначен для размещения на нем двухкоординатного стола с тестируемым изделием и линейной координаты Z с диапроектором и представляет собой сварную конструкцию в виде рамы, выполненной из стального швеллера. В левой его части на четырех клиновых опорах установлен двухкоординатный стол, справа закреплена линейная координата Z . Виброизоляционный стол установлен на шести пневмоопорах SLM-6A, грузоподъемностью 280 кг каждая.

Блок управления представляет собой стойку, в которой на верхнем уровне размещены электронные компоненты управления системой, а на нижнем блоки пневматической системы.

Основу блока управления составляет персональный компьютер, выполненный в конструктиве «Евромеханика». Персональный компьютер обеспечивает управление двухканальным диапроектором, используя дополнительный модуль видеоадаптера, размещенный в слоте расширения компьютера, и линию связи Ethernet. Используя линию связи Ethernet, можно организовать удаленное рабочее место оператора и подключить его к локальной сети предприятия, для чего применен коммутатор Ethernet.

Оперативное управление перемещениями по осям X , Y и Z осуществляется через пульт дистанционного управления.

Конструктивно основные узлы и модули блока управления размещены в напольном компьютерном шкафу R5CQEC2068 (DKC).

Основу управления всей системой составляет устройство ЧПУ LSMC-3 (ООО «Рухсервомотор»), размещенное в блоке управления. С его помощью осуществляется контроль положения и перемещения по осям X , Y и Z . Управление проектором фона и проектором объекта реализуется по сети Ethernet через коммутаторы NETGEAR FS-105 (NETGEAR). Передача изображения в проекторы осуществляется от компьютера управления через DVI-интерфейс. Управление узлами фильтров, турелями фильтров, а также затворами оптическими типа CS45 (Uniblitz) производится блоками контроллеров. Для контроля температуры в критических точках системы применяется измеритель температуры многоканальный МИТ-12ТС-10 (ОАО «Эталон») с термометрами сопротивления TCM 9502-03 (ОАО «Эталон»). Питание всей системы осуществляется от промышленной сети 380 В.

На рис. 3 представлено фото внешнего вида оптико-механической части созданной системы (без защитного кожуха). На установочном столе (слева) размещено технологическое оборудование тестируемого МФПУ.

В состав системы входит разработанное нами оригинальное высокочувствительное устройство для измерения коэффициента концентрации энергии в рабочем спектральном диапазоне Системы (диапазон измерения облученности 10^{-9} – 10^{-5} Вт/см²).

Исчерпывающее описание данного устройства представлено в отдельном сообщении, направленном в редакцию журнала «Прикладная физика».

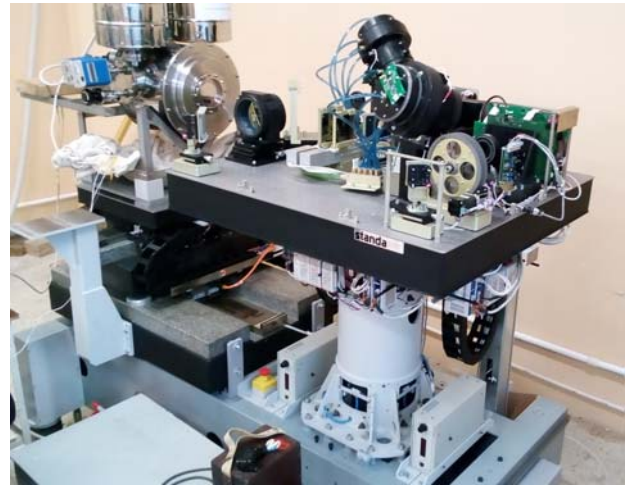


Рис. 3. Фото внешнего вида оптико-механической части системы без защитного кожуха.

Экспериментальные результаты тестирования основных характеристик Системы

На рис. 4 приведен экспериментальный график распределения мощности (в долях от полной засветки) на фоточувствительном элементе упомянутого выше устройства при сканировании ножом Фуко уменьшенного в пять раз ИК-оптикой изображения сформированной DMD-матрицей тонкой линии размером 200×8 пикселей (микрорезкал). На рис. 5 представлен результат численного дифференцирования представленной на рис. 4 зависимости по координате сканирования.

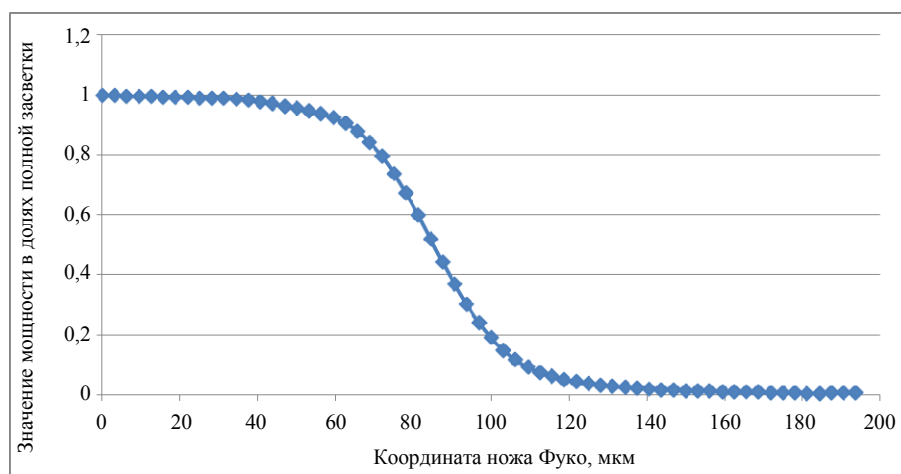


Рис. 4. Распределение мощности (в долях от полной засветки) на фоточувствительном элементе устройства при сканировании ножом Фуко изображения тонкой линии.

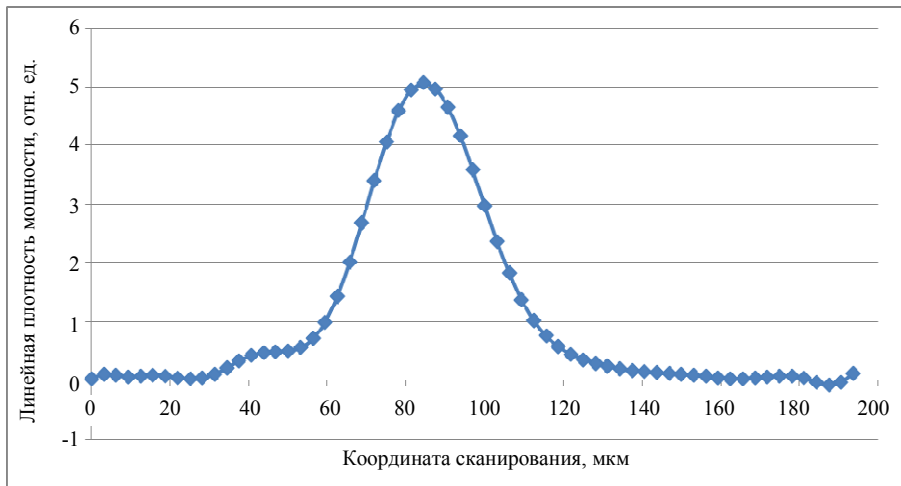


Рис. 5. Зависимость линейной плотности мощности (отн. ед.) от координаты сканирования (мкм).

Результаты измерений абсолютных значений максимальных засветок в КО и КФ показали следующие цифры: 2,8 мкВт в КО и 0,18 мкВт в КФ.

Контроль заполнения плоскости изображения, контроль самого положения этой плоскости в пространстве на этапе юстировки системы осуществлялись с помощью визуализации изображения на экране специализированной ИК-камеры «ТВП 3–5 мкм» разработки Конструкторско-технологического института прикладной микроэлектроники СО РАН (филиала Института физики полупроводников СО РАН). В качестве примера на рис. 6 приведено (полученное в плоскости изображения) изображение креста, сгенерированного DMD-матрицей в канале объекта.

Для тестирования точности перемещений в системе по координатам X , Y , Z были проведены контрольные замеры с помощью интерферометра смещений. Для этих целей использовалась Лазерная измерительная система XL-80 производства фирмы Renishaw. Результаты контрольных замеров показали, что погрешность позиционирования по X , Y находится в пределах допуска (не более ± 2 мкм). В качестве примера на рис. 7 приведен результат трех независимых измерений точности позиционирования по координате X на весь диапазон перемещений. Собственная погрешность интерферометра XL-80 составляет 0,5 мкм на каждый метр измеряемого перемещения.

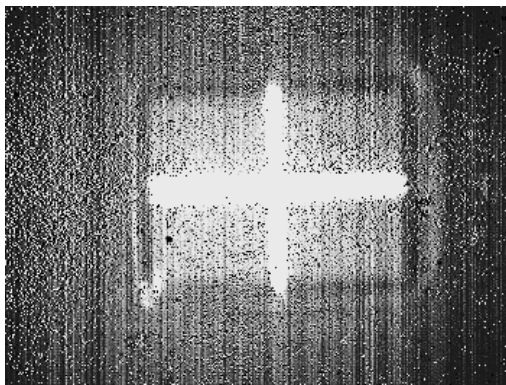


Рис. 6. Визуализация изображения креста в КО на экране специализированной ИК-камеры.

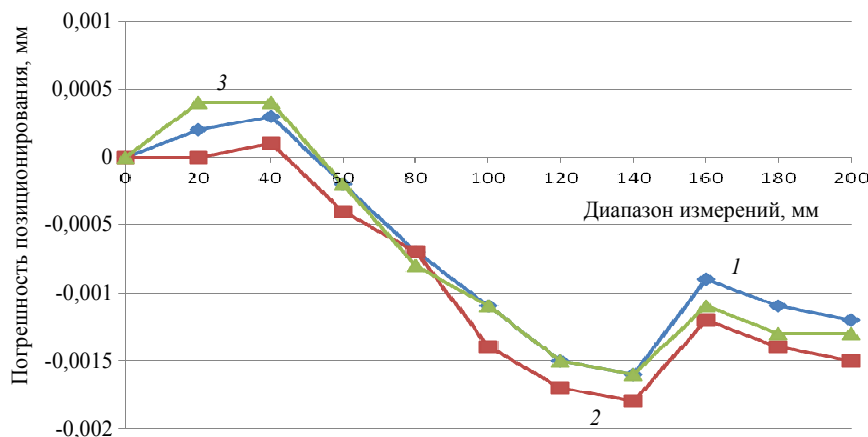


Рис. 7. Результат измерения точности позиционирования по координате X . Кривая 1 – измерение 1; кр. 2 – измерение 2; кр. 3 – измерение 3.

Заключение

В статье изложены результаты разработки и апробирования отечественной автоматизированной системы синтеза динамических и статических ИК-изображений в составе испытательного стенда контроля характеристик МФПУ.

В конструкции системы реализованы следующие функциональные особенности.

а) Наличие двух каналов засветки поверхности тестируемого изделия (канал объекта (КО) и канал фона (КФ)). КО предполагает создание структур с переменной яркостью и высокой пространственной частотой (минимальный диаметр области засветки может быть не более 30 мкм). Максимальный размер области засветки КО может достигать размера 3×3 мм. КФ предназначен для создания равномерной засветки на области размером не менее 200×200 мм.

б) Возможность независимого изменения уровней облученности в обоих каналах, в широком диапазоне облученностей (в канале фона облученность не менее 10^{-7} Вт/см², в канале объекта в диапазоне 10^{-9} – 10^{-6} Вт/см²).

в) Возможность «мгновенного» перемещения синтезируемой облучающей структуры, сформированной в канале объекта (характерное время перемещения менее 10^{-6} с), по всей поверхности тестового канала.

г) Возможность перемещения синтезируемой облучающей структуры, сформированной в КО, по всей приемной плоскости тестируемого МФПУ со скоростями до 250 мкм/с.

Данные технические требования реализованы благодаря использованию в качестве источников облученности в КО и КФ независимых устройств. Эти устройства являются диапроекторами на специализированных DMD-матрицах (рассчитанных и изготовленных для необходимого спектрального диапазона). В каждый канал введена дополнительная возможность регулировки уровня облученности с помощью калиброванных светофильтров (помимо возможностей, имеющих в аппаратно-программной части диапроекторов). Трехкоорди-

натная система прецизионного позиционирования обеспечивает перемещение поверхности тестируемого изделия с высокой точностью (погрешность позиционирования по любой координате менее 2 мкм) как поперек (в произвольном направлении), так и вдоль оптической оси системы.

Результаты тестирования системы подтвердили приведенные выше количественные характеристики системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.sbir.com>
2. <http://www.lumitron-ir.com>
3. <http://www.pulseinstruments.com>
4. Sensor Fusion // Proc. SPIE. 1988. Vol. 931. P. 180.
5. RTB 3000 Detector test bench. – Santa Barbara Infrared. Heico company. Specification rev. 319 – 000–310.
6. www.hgh.fr
7. www.inframet.com
8. www.infraredsystems.com
9. Acquisition, Tracking and Pointing V // Proc. SPIE. 1991. Vol. 1482. P. 224.
10. D. Brett Beasley, Matt Bender, Jay Crosby, Sean McCall, Tim Messer, and Daniel A. Saylor. Advancements in the Micromirror Array Projector Technology II. – Optical Sciences Corporation. Huntsville, AL 35808.
11. <http://www.esigma-technology.com/>
12. Гибин И. С., Козик В. И., Нежевенко Е. С. // Автоматрия. 2013. Т. 49. № 1. С. 80.
13. Гибин И. С., Колесников Г. В. // Успехи прикладной физики. 2014. Т. 2. № 3. С. 293.
14. Гибин И. С., Колесников Г. В., Нежевенко Е. С. // Автоматрия. 2011. Т. 47. № 6. С. 34.
15. Курт В. И., Воронько М. Ю., Васильев Д. Ю. Измерительный стенд на основе микрозеркальной матрицы для измерения параметров оптико-электронных систем, работающих в инфракрасном диапазоне спектра / Труды XXIV международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения. 2016. Москва. С. 268.
16. Sparkman Kevin, LaVeigne Joe, Oleson Jim, Franks Greg, McHugh Steve, Lannon John, Solomon Steve // Proc. SPIE. 2008. Vol. 6942.
17. Cole J. S., Jolly A. C. // Proc. SPIE. 1996. Vol. 2741. P. 14.
18. James Jay, LaVeigne Joe, Oleson Jim, Matis Greg, Lannon John, Goodwin Scott, Huffman Alan, Solomon Steve, Bryant Paul // Proc. SPIE. 2007. Vol. 6544. P. 654405.
19. Bryant P., Oleson J., James J., McHugh S., Lannon J., Vellenga D., Goodwill S., Huffman A., Solomon S. L., Goldsmith G. C. // P. II Proc. SPIE. 2005. Vol. 5785. P. 1.
20. Bryant P., James J., Oleson J., McHugh S. W., Solomon S. / MSSP National Symposium 2003.

Automated system for synthesizing infrared images for testing the characteristics of matrix photodetector devices

A. G. Verhoglyad¹, I. S. Gibin^{1,2}, A. G. Elesin¹, L. B. Kastorsky¹, S. A. Kokarev¹,
A. V. Soldatenko¹, and M. F. Stupak¹

¹ Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering
of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (TDI SIE SB RAS)
41 Russkaya str., Novosibirsk, 630058, Russia
E-mail: stupak@tdisie.nsc.ru

² Institute of Automation and Electrometry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
1 Akademik Koptyug av., Novosibirsk, 630090, Russia

Received May 15, 2018

The results of the development and testing of an automated system for the synthesis of native dynamic and static IR images in the composition of the test stand control array photodetector characteristics are described. It is shown that there were two independent channels light surface of the tested products-channel object and channel background, the possibility of independent irradiance levels in both channels within a wide range-in the background channel at least 10^{-7} W/cm², in the channel object in the range 10^{-9} – 10^{-6} W/cm². The size of the bitmap object that is produced in the image plane array photodetector under test shall not exceed 30 microns.

Keywords: array photodetector, synthesis of dynamic infrared images, precision positioning, control array photodetector characteristics.

REFERENCES

1. <http://www.sbir.com>
2. <http://www.lumitron-ir.com>
3. <http://www.pulseinstruments.com>
4. Sensor Fusion. Proc. SPIE **931**, 180 (1988).
5. *RTB 3000 Detector test bench*. (Santa Barbara Infrared. Heico company. Specification rev. 319 – 000–310).
6. <http://www.hgh.fr>
7. <http://www.inframet.com>
8. <http://www.infraredsystems.com>
9. Acquisition, Tracking and Pointing. Proc. SPIE **1482**, 224 (1991).
10. D. Brett Beasley, Matt Bender, Jay Crosby, Sean McCall, Tim Messer, and Daniel A. Saylor, *Advancements in the Micromirror Array Projector Technology II*. (Optical Sciences Corporation. Huntsville, AL 35808).
11. <http://www.esigma-technology.com/>
12. I. S. Gibin, V. I. Kozik, and E. S. Nezhevenko, *Optoelectron., Instrum. Data Process.* **49** (1), 80 (2013).
13. I. S. Gibin and G. V. Kolesnikov, *Usp. Prikl. Fiz.* **2** (3), 293 (2014).
14. I. S. Gibin, G. V. Kolesnikov, and E. S. Nejevenko, *Avtometriya* **47** (6), 34 (2011).
15. V. I. Kurt, M. Yu. Voron'ko, and D. Yu. Vasil'ev, in *Proc. XXIV Intern. Conf. on Photoelectronics and Night Vision Devices* (2016, Moscow). P. 268–270.
16. Kevin Sparkman, Joe LaVeigne, Jim Oleson, Greg Franks, Steve McHugh, John Lannon, and Steve Solomon, Proc. SPIE **6942** (2008).
17. J. S. Cole and A. C. Jolly, Proc. SPIE **2741**, 14 (1996).
18. Jay James, Joe LaVeigne, Jim Oleson, Greg Matis, John Lannon, Scott Goodwin, Alan Huffman, Steve Solomon, and Paul Bryant, Proc. SPIE **6544**, 654405 (2007).
19. P. Bryant, J. Oleson, J. James, S. McHugh, J. Lannon, D. Vellenga, S. Goodwill, A. Huffman, S. L. Solomon, and G. C. Goldsmith, II Proc. SPIE **5785**, 1 (2005).
20. P. Bryant, J. James, J. Oleson, S. W. McHugh, and S. Solomon, in *Proc. MSSP National Symposium* (2003).