

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ,
МЕТРОЛОГИЯ
И ИНФОРМАЦИОННО-
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

INSTRUMENT MAKING,
METROLOGY
AND INFORMATION-
MEASUREMENT
DEVICES AND SYSTEMS

УДК 621.37.681.7

DOI: 10.17212/1814-1196-2018-2-75-84

Микрозеркальный модулятор для инфракрасных имитационно-моделирующих стендов*

И.С. ГИБИН¹, В.И. КОЗИК², Е.С. НЕЖЕВЕНКО³, В.М. СИДОРЕНКО⁴,
В.В. ХАТУНКИН⁵

¹ 630090, РФ, г. Новосибирск, пр. академика Коптюга, 1, Институт автоматики и электрометрии СО РАН, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник. E-mail: gibin@iae.nsk.su

² 630090, РФ, Новосибирск, пр. академика Коптюга, 1, Институт автоматики и электрометрии СО РАН, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. E-mail: kosik@iae.nsk.su

³ 630090, РФ, г. Новосибирск, пр. академика Коптюга, 1, Институт автоматики и электрометрии СО РАН, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник. E-mail: nejevenko@iae.nsk.su

⁴ 630090, РФ, Новосибирск, пр. академика Коптюга, 1, Институт автоматики и электрометрии СО РАН, ведущий инженер. E-mail: sib10sid@iae.nsk.su

⁵ 630090, РФ Новосибирск, пр. академика М.А. Лаврентьева, 13, Институт физики полупроводников СО РАН, ведущий инженер. E-mail: gibin@iae.nsk.su

При создании инфракрасных систем наблюдения необходимо оценивать эффективность их использования в различных условиях, при этом недостаточно определять только штатные характеристики, нужно знать их применимость при решении конкретных задач. Разрабатываются специализированные стенды контроля инфракрасных систем, в которых применяются статические тест-объекты. Однако важным и ключевым остается вопрос разработки и создания имитационно-моделирующих стендов, позволяющих не только воссоздавать климатические условия и внешние воздействия, при которых предстоит функционировать инфракрасной системе, но и генерировать инфракрасные имитационные изображения, максимально приближенные к реальным условиям.

Для реализации инфракрасных имитационно-моделирующих стендов часто используются DLP проекторы, однако они ориентированы на работу в основном в видимом диапазоне спектра. Эти проекторы могут быть также использованы в ближнем ИК за счет того, что кривая спектрального пропускания резко падает на длине волны 2,7 мкм. Для обеспечения возможности использования их в дальнем ИК диапазоне и повышения эффективности в ближнем диапазоне была проведена их модификация путем замены защитного стекла на микрозеркальном устройстве на прозрачное вплоть до длины волны 14 мкм (использовался материал ZnSe). Были разработаны соответствующая технология и специальное оборудование. Исследованы различные типы

* Статья получена 06 февраля 2018 г.

микрозеркальных модуляторов и выбраны те, которые пригодны для модификации. В результате были созданы стенды, способные работать как в видимом диапазоне, так в ИК области спектра. Для освещения ДМД модулятора был использован источник теплового излучения в соответствующем диапазоне. Были проведены эксперименты по генерации как статических объектов (различных мир в формате jpg), так и динамических (фильмов в формате avi). Доработанные модуляторы показали свою работоспособность в составе инфракрасных имитационно-моделирующих стендов и являются перспективными при разработке современных систем контроля и динамического тестирования инфракрасных фотоприемных устройств и систем.

Ключевые слова: микрозеркальные модуляторы, имитационно-моделирующие стенды, тепловизоры, инфракрасные фотоприемники, инфракрасные проекторы, контрольно-измерительные стенды, тестовые изображения, DLP технологии, инфракрасные системы

ВВЕДЕНИЕ

При создании инфракрасных систем наблюдения необходимо оценивать эффективность их использования в различных условиях, при этом недостаточно определять только штатные характеристики, нужно знать их применимость при решении конкретных задач. Разрабатываются специализированные стенды контроля инфракрасных систем [1], в которых применяются статические тест-объекты [2]. Однако важным и ключевым остается вопрос разработки и создания имитационно-моделирующих стендов, позволяющих не только воссоздавать климатические условия и внешние воздействия, при которых предстоит функционировать инфракрасной системе, но и генерировать инфракрасное имитационное изображение, максимально приближенное к реальному. Ключевыми элементами этих стендов являются генераторы инфракрасных изображений, обеспечивающие формирование как тестовых изображений, так и реальных динамических сцен [3]. В настоящее время наиболее распространенными в стендах динамической генерации ИК сцен являются тепловые источники излучения [4–8], которые пригодны для генерации сцен, моделирующих тела с равномерной излучающей способностью. Однако при моделировании излучающего тела необходимо задавать как яркость излучения поверхностей, так и его спектральный состав [9, 10]. Стенды с использованием микрозеркальной матрицы [11, 12] позволяют моделировать практически любые варианты теплоизлучающих тел с различными теплоизлучающими способностями на произвольном фоне. Реализация таких систем существенно облегчается массовым выпуском DLP проекторов, однако они ориентированы на работу в видимом диапазоне спектра, хотя с низкой эффективностью могут быть использованы в ближнем ИК диапазоне [13]. Для повышения эффективности в ближнем ИК диапазоне и обеспечения возможности использования в дальнем необходимо провести их модификацию в плане замены защитного стекла на микрозеркальном устройстве на прозрачное в соответствующем диапазоне.

1. ОПИСАНИЕ МИКРОЗЕРКАЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

В 1987 году Dr. Larry J. Hornbeck изобрел цифровое микрозеркальное устройство (Digital Micromirror Device – DMD). Это изобретение завершило десятилетние исследования TexasInstruments в области микромеханических

деформируемых зеркальных устройств. Суть открытия состояла в отказе от гибких зеркал в пользу матрицы жестких, имеющих два устойчивых положения.

По сути DMD – это цифровой микрооптоэлектромеханический пространственный модулятор света. В основе работы устройства заложена широтно-импульсная модуляция. В составе соответствующей оптической системы DMD может использоваться для модуляции амплитуды, направления, и/или фазы падающего светового пучка. Архитектурно DMD – это полупроводниковое устройство с электрическим входом и оптическим выходом с фиксированными состояниями. Эта архитектура делает DMD хорошо пригодным для использования в приложениях, в которых требуется обеспечить оптический выход под управлением компьютера. Небольшой физический размер DMD обеспечивает возможность его применения в компактных системах.

Электрически DMD состоит из двумерного массива ячеек памяти CMOS на 1 бит, сгруппированных в виде прямоугольной сетки ячеек памяти. Оптически DMD состоит из управляемых в цифровой форме алюминиевых микрозеркал с высоким коэффициентом отражения, организованных также в виде аналогичного двумерного массива. Каждое индивидуальное микрозеркало установлено поверх соответствующей ячейки памяти CMOS. На рис. 1 приведена схема DMD модулятора в трактовке изготовителя – TexasInstruments.

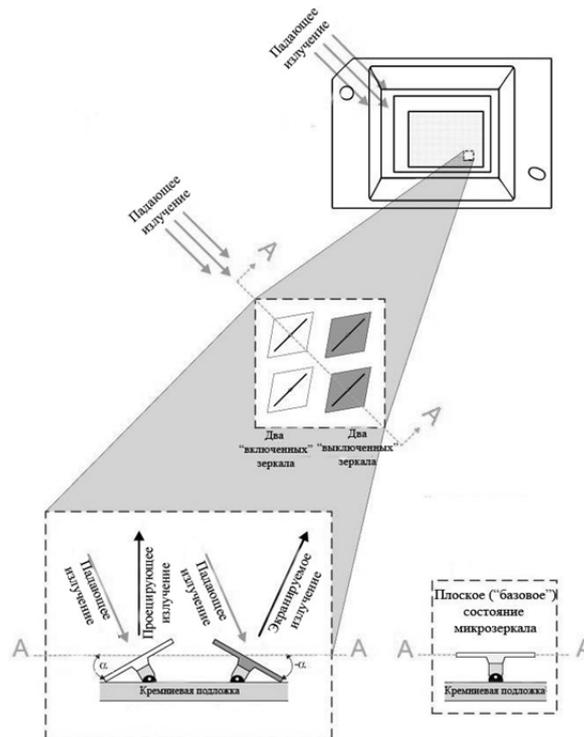


Рис. 1. Схема микрозеркального модулятора

Микрозеркало крепится к жесткой подложке, которая соединяется с основанием матрицы. Под противоположными углами зеркал в направлении, перпендикулярном относительно диагонали массива элементов, размещены электроды, соединенные с ячейками памяти CMOS. Угловая позиция каждого микрозеркала определяется состоянием (логический 0 или 1) соответствующей

щей ячейки памяти CMOS. Под действием электрического поля подложка с зеркалом благодаря ограничителям принимает одно из двух фиксированных положений. Запись логической «1» в ячейку памяти приведет к переключению соответствующего микрозеркала в состояние «Включено», при этом притягивается угол микрозеркала со стороны левого верхнего угла массива, а запись логического «0» – в состояние «Выключено» (притягивается угол со стороны правого нижнего угла).

Для создания генератора инфракрасных изображений было выбрано два типа модуляторов: DLP5500 (торговое обозначение микросхемы 8060-6439В, разрешение 1024×768 пикселей) и S8060-6408 (разрешение 800×600 пикселей). В исследовании [13] был использован первый вариант, приведем его более подробное описание.

DLP5500 [14] – один из трех компонентов в микропроцессорном наборе DLP 0.55 XGA. Надлежащее функционирование DLP5500 требует, чтобы оно использовалось вместе с другими компонентами микропроцессорного набора. DLPC200 [15] и DLPA200 [16] управляют загрузкой данных и переключением микрозеркал для обеспечения надежного функционирования.

Каждое микрозеркало имеет размер приблизительно 10.8×10.8 микрон и переключается между двумя дискретными угловыми позициями $+12^\circ$ и -12° . Угловые позиции определяются относительно 0° (базовое состояние, которое параллельно плоскости массива (рис. 1)).

Вокруг периметра массива 1024×768 размещается однородная полоса микрозеркал «границы» по 10 с каждой стороны. Микрозеркала границы не могут управляться пользователем, они переключаются в позицию -12° при подаче на устройство напряжения. Основные характеристики модулятора приведены в таблице.

Параметры микрозеркального модулятора

Разрешение	1024×768
Шаг микрозеркал	10.8 мкм
Размер массива активных микрозеркал	11.059×8.294 мм
Диагональ массива микрозеркал	0.55 дюйма
Угол наклона микрозеркал (относительно плоского состояния)	$\pm 12^\circ$
Рабочий диапазон спектра	420...700 нм
Пропускание защитного стекла в видимой области (одиночный проход в двух направлениях)	97 %
Коэффициент отражения микрозеркала	88 %
Тактовая частота	200 МГц

2. МОДЕРНИЗАЦИЯ МИКРОЗЕРКАЛЬНОГО МОДУЛЯТОРА ДЛЯ ГЕНЕРАТОРА ИК ИЗОБРАЖЕНИЙ

Как представлено в работе [7], модулятор 8060-6439В (в дальнейшем будем использовать торговые обозначения модуляторов) был применен в генераторе ИК изображений без какой-либо модификации. Это стало возмож-

ным ввиду характера входных окон модуляторов. Кривые спектра пропускания стандартных входных окон модуляторов, предназначенных для преимущественного пропускания ультрафиолетового, видимого, и инфракрасного диапазонов показаны на рис. 2, *а*. Видно, что пропускание окна достаточно велико в ближнем ИК диапазоне, но резко падает в диапазоне свыше 2,7 мкм. Поэтому для создания генератора в другом популярном ИК диапазоне 8...12 мкм необходимо было модернизировать модулятор, заменив материал его окна. Для этой цели был выбран селенид цинка (ZnSe). На рис. 2, *б* показан спектр его пропускания. Видно, что этот материал хорошо прозрачен в диапазонах спектра от 3 до 14 мкм.

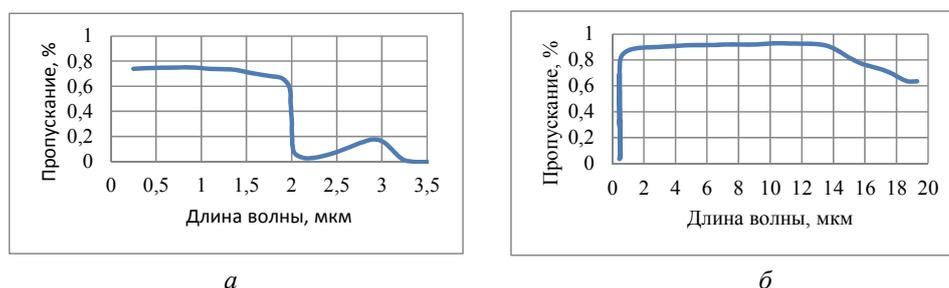


Рис. 2. Спектры пропускания стандартного (*а*) и модернизированного (*б*) модуляторов

Для модернизации необходимо в исходном модуляторе снять покрывное стекло, не нарушая целостности массива микрозеркал, и вклеить входное окно из другого материала. Отметим, что существует два типа конструкции модуляторов фирмы Texas Instruments. В обоих корпус выполнен из многослойной керамики, отличаются они конструкцией лицевой стороны. В первом типе она выполнена из пластмассы, на нее приклеено защитное окно $20 \times 20 \times 1$ мм. Во втором типе керамический корпус большего размера, защитное стекло приклеено на массивный металлический переходник, который приварен лазерной сваркой к металлической рубашке на лицевой стороне корпуса матрицы. К первому типу относятся модуляторы 8060-6439В (используемые нами проекторы MX501 фирмы BENQ и P1173 фирмы ACER); ко второму – модуляторы DLP S8060-6408 (используемый нами проектор IN24 фирмы InFocus). Первый тип модулятора представлен на рис. 3, *а*, второй – на рис. 3, *б*.



Рис. 3. Модуляторы:

а – модулятор типа S8060-643913; *б* – модулятор типа S8060-6408

Была разработана технология замены стекла в обоих типах модуляторов. Рабочее место для съема стекла пластмассового корпуса показано на рис. 4. Для обоих типов были разработаны и изготовлены микрофрезерные приспособления. В случае пластмассового корпуса твердосплавной фрезой стекло утончалась по периметру с 1 мм до 0,1 мм, затем стекло отрывалось от микросхемы. В случае металлического корпуса кайма заводского металлического переходника утончалась до 10 мкм. Вскрытие защитного окна производилось в чистой комнате. Заранее подготавливался новый коваровый переходник, в который клеивалась шайба из селенида цинка. Было разработано приспособление для совмещения и приклеивания в вакууме нового входного окна, затем доработанный модулятор проверялся на герметичность. К сожалению, полный технологический цикл для пластмассового корпуса провести не удалось из-за сложности приклейки селенида цинка к корпусу. В то же время необходимо отметить, что подавляющее число проекторов в настоящее время комплектуется микросхемами с пластмассовыми корпусами.



Рис. 4. Приспособление для приклеивания нового входного окна

Результаты работы модулятора в диапазоне 8...14 мкм показаны на рис. 5, а, б. Приведены изображения тестовых объектов, что подтверждает работоспособность модернизированного микрозеркального модулятора в инфракрасном диапазоне спектра.

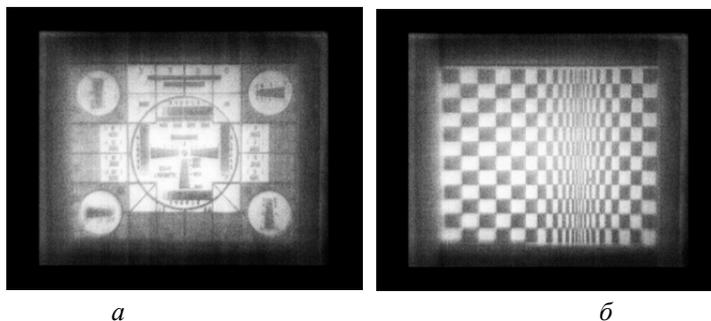


Рис. 5. Результаты работы модуляторов с тестовыми объектами:
а – телевизионная таблица; б – «шахматная доска»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана технология модернизации микрозеркальных модуляторов для работы в инфракрасном диапазоне спектра. Доработанные модуляторы показали свою работоспособность в составе инфракрасных стендов и являются перспективными при разработке современных систем контроля и тестировании инфракрасных фотоприемников и систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экспериментальные исследования матричных фотоприемных устройств инфракрасного диапазона для систем обнаружения малоразмерных объектов / А.Н. Галянтич, И.С. Гибин, В.В. Золотцев, М.В. Киселев, Г.В. Колесников // *Автометрия*. – 2012. – Т. 48, № 1. – С. 95–101.
2. Гибин И.С., Котенко В.П., Шурман В.Л. Тест-объекты для контроля фотоприемных устройств в инфракрасной области спектра // *Научный вестник НГТУ*. – 2014. – № 2 (55). – С. 60–66.
3. Гибин И.С., Колесников Г.В. Современные устройства измерения параметров и комплексного тестирования инфракрасных ФПУ и приборов // *Успехи прикладной физики*. – 2014. – Т. 2, № 1. – С. 293–300.
4. Performance improvements in large format resistive array (LFRA) infrared scene projectors (IRSP) / K. Sparkman, J. LaVeigne, J. Oleson, G. Franks, S. McHugh, J. Lannon, S. Solomon // *Proceedings of SPIE*. – 2008. – Vol. 6942. – doi: 10.1117/12.793171.
5. Cole J.S., Jolly A.C. Hardware-in-the-loop simulation at the U.S. Army Missile Command // *Proceedings of SPIE*. – 1996. – Vol. 2741. – P. 14–19.
6. OASIS: cryogenically optimized resistive arrays and IRSP subsystems for space-background IR simulation / J. James, J. LaVeigne, J. Oleson, G. Matis, J. Lannon, S. Goodwin, A. Huffman, S. Solomon, P. Bryant // *Proceedings of SPIE*. – 2007. – Vol. 6544. – P. 654405.
7. MIRAGE: developments in IRSP systems, RIIC design, emitter fabrication, and performance / P. Bryant, J. Oleson, J. James, S. McHugh, J. Lannon, D. Vellenga, S. Goodwin, A. Huffman, S.L. Solomon, G.C. Goldsmith II // *Proceedings of SPIE*. – 2005. – Vol. 5785. – P. 1–13.
8. Focal planes running in reverse: an introduction to resistive emitter-based dynamic IR Scene projection / P. Bryant, J. James, J. Oleson, S.W. McHugh, S. Solomon // *MSSP National Symposium*. – S. l.: s. n., 2003.
9. Beasley D.B. Technologies for synthetic environments: hardware-in-the-loop testing X // *Proceedings of SPIE*. – 2001. – Vol. 5785. – P. 68–79.
10. Dynamic scene generation, multimodal sensor design, and target tracking demonstration for hyperspectral/polarimetric performance-driven sensing / M.D. Presnar, A.D. Raisanen, D.R. Pogorzala, J.P. Kerekes, A.C. Rice // *Proceedings of SPIE*. – 2010. – Vol. 7672. – P. 76720T.
11. Гибин И.С., Колесников Г.В., Нежевенко Е.С. Анализ схем генерации динамической сцены в задачах тестирования тепловизионных приборов // *Автометрия*. – 2011. – Т. 47, № 6. – С. 34–38.
12. Курт В.И., Воронько М.Ю., Васильев Д.Ю. Измерительный стенд на основе микрозеркальной матрицы для измерения параметров опико-электронных систем, работающих в инфракрасном диапазоне спектра // *Труды XXIV Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения*. – М., 2016. – С. 268–270.
13. Гибин И.С., Козик В.И., Нежевенко Е.С. Экспериментальное исследование макета системы генерации динамической сцены для тестирования тепловизионных приборов // *Автометрия*. – 2013. – Т. 49, № 1. – С. 80–85.
14. DLP5500 DLP ® 0.55 XGA Series 450 DMD [Electronic resource]. – Dallas, Texas: Texas Instruments, 2015. – URL: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/dlp5500.pdf> (accessed: 22.05.2018).
15. DLPA200 DLP ® DMD Micromirror Driver [Electronic resource]. – Dallas, Texas: Texas Instruments, 2015. – URL: <http://www.ti.com/lit/ds/dlps015d/dlps015d.pdf> (accessed: 22.05.2018).

Гибин Игорь Сергеевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института автоматизации и электротехники СО РАН. Основное направление научных исследований – опико-электронные системы хранения и обработки информации, инфракрасные системы. Имеет более 150 научных публикаций. E-mail: gibin@iae.nsk.su

Козик Виктор Иванович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института автоматизации и электротехники СО РАН. Основное направление научных исследований – опико-электронные системы обработки информации. Имеет более 120 научных публикаций. E-mail: kozik@iae.nsk.su

Нежевенко Евгений Семенович, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Института автоматизации и электротехники СО РАН. Основное направление научных исследований – опико-электронные процессоры изображений, распознавание образов, имитационно-моделирующие опико-электронные стенды. Имеет более 150 научных публикаций. E-mail: nejevenko@iae.nsk.su

Сидоренко Виктор Михайлович, ведущий инженер Института автоматизации и электротехники СО РАН. Основное направление научных исследований – опико-электронные и опико-механические системы. E-mail: sib10sid@iae.nsk.ru

Хатункин Валерий Владимирович, ведущий инженер Института физики и полупроводников СО РАН. Основное направление научных исследований – технология полупроводниковых и оптоэлектронных приборов. E-mail: gibin@iae.nsk.su

DOI: 10.17212/1814-1196-2018-2-75-84

A micro-mirror modulator for infrared simulation modeling stands*

I.S. GIBIN¹, V.I. KOZIK², E.S. NEJEVENKO³, V.M. SIDORENKO⁴, V.V. HATUNKIN⁵

¹*Institute of Automation and Electrometry SB RAS, 1, Academician Koptyug Av., Novosibirsk, 630090, Russian Federation, D. Sc. (Eng.), professor, chief research officer. E-mail: gibin@iae.nsk.su*

²*Institute of Automation and Electrometry SB RAS, 1, Academician Koptyug Av., Novosibirsk, 630090, Russian Federation, PhD (Eng.), senior research officer. E-mail: kozik@iae.nsk.su*

³*Institute of Automation and Electrometry SB RAS, 1, Academician Koptyug Av., Novosibirsk, 630090, Russian Federation, D. Sc. (Eng.), professor, leading research officer. E-mail: nejevenko@iae.nsk.su*

⁴*Institute of Automation and Electrometry SB RAS, 1, Academician Koptyug Prospekt, Novosibirsk, 630090, Russian Federation, leading engineer. E-mail: sib10sid@iae.nsk.ru*

⁵*Institute of Semiconductor Physics SB RAS, 13, Lavrentyev Av., Novosibirsk, 630090, Russian Federation, leading engineer. E-mail: gibin@iae.nsk.su*

To implement such infrared simulation modeling stands DLP viewers are used. However, they are mostly designed to work in the visible light spectrum. These viewers (optical projectors) can also be used in the near IR due to the curve of spectrum transmission that sharply falls down at the wave length of 2,7 mcm. To provide the possibilities of using them in the distant IR range and to rise their efficiency in the near IR range some modification was fulfilled by replacing the protective glass of the micromirror device onto the transparent glass up to the wave length of 14 mcm (the ZnSe substance was used). A corresponding technology and special equipment have been worked out. Various types of micromirror modulators have been studied and modulators suitable for modification have been selected. As a result stands that are able to work both in the visible and IR spectrum ranges have been created. To illuminate the DMD modulator a thermal radiation source in the corresponding range has been used. Experiments on generating both static

* Received 06 February 2018.

objects (various test-objects in the jpg configuration) and dynamic objects (films in the avi format have been conducted). The developed modulators have demonstrated their efficiency as a part of infrared imitation-modeling stands and seem to be promising in designing modern systems of control and dynamic testing of infrared photo receiving devices and systems.

Keywords: micro-mirror modulators, simulation-modeling stands, thermal imagers, infrared photoreceivers, infrared projectors, test images, DLP technologies, scene generators, infrared systems

REFERENCES

1. Galiantich A.N., Gibin I.S., Zolottsev V.V., Kiselev M.V., Kolesnikov G.V. Eksperimental'nye issledovaniya matrichnykh fotopriemnykh ustroystv infrakrasnogo diapazona dlya sistem obnaruzheniya malorazmernykh ob"ektov [Experimental studies of infrared photodetector arrays for detection of small objects]. *Avtometriya – Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 2012, vol. 48, no. 1, pp. 95–101. (In Russian).
2. Gibin I.S., Kotenko V.P., Shurman V.L. Test-ob"ekty dlya kontrolya fotopriemnykh ustroystv v infrakrasnoi oblasti spektra [Test-objects for measuring of photoreceivers in the infrared spectrum range]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2014, no. 2 (55), pp. 60–66.
3. Gibin I.S., Kolesnikov G.V. Sovremennye ustroystva izmereniya parametrov i kompleksnogo testirovaniya infrakrasnykh FPU i priborov [Modern devices for parameters measurements and complex testing of infrared devices]. *Uspekhi prikladnoi fiziki – Advances in Applied Physics*, 2014, vol. 2, no. 1, pp. 293–300.
4. Sparkman K., LaVeigne J., Oleson J., Franks G., McHugh S., Lannon J., Solomon S. Performance improvements in large format resistive array (LFRA) infrared scene projectors (IRSP). *Proceedings of SPIE*, 2008, vol. 6942. doi: 10.1117/12.793171.
5. Cole J.S., Jolly A.C. Hardware-in-the-loop simulation at the U.S. Army Missile Command. *Proceedings of SPIE*, 1996, vol. 2741, pp. 14–19.
6. James J., LaVeigne J., Oleson J., Matis G., Lannon J., Goodwin S., Huffman A., Solomon S., Bryant P. OASIS. Cryogenically optimized resistive arrays and IRSP subsystems for space-background IR simulation. *Proceedings of SPIE*, 2007, vol. 6544, p. 654405.
7. Bryant P., Oleson J., James J., McHugh S., Lannon J., Vellenga D., Goodwin S., Huffman A., Solomon S.L., Goldsmith G.C. II. MIRAGE: developments in IRSP systems, RIIC design, emitter fabrication, and performance. *Proceedings of SPIE*, 2005, vol. 5785, pp. 1–13.
8. Bryant P., James J., Oleson J., McHugh S.W., Solomon S. Focal planes running in reverse: an introduction to resistive emitter-based dynamic IR scene projection. *MSSP National Symposium*, 2003.
9. Beasley D.B. Technologies for synthetic environments: hardware-in-the-loop testing X. *Proceedings of SPIE*, 2001, vol. 5785, pp. 68–79.
10. Presnar M.D., Raisanen A.D., Pogorzala D.R., Kerekes J.P., Rice A.C. Dynamic scene generation, multimodal sensor design, and target tracking demonstration for hyperspectral/polarimetric performance-driven sensing. *Proceedings of SPIE*, 2010, vol. 7672, p. 76720T.
11. Gibin I.S., Kolesnikov G.V., Nezhevenko E.S. Analiz skhem generatsii dinamicheskoi stseny v zadachakh testirovaniya teplovizionnykh priborov [Analysis of dynamic scene generation schemes in testing of infrared imaging systems]. *Avtometriya – Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 2011, vol. 47, no. 6, pp. 34–38. (In Russian).
12. Kurt V.I., Voron'ko M.Yu., Vasil'ev D.Yu. [Measurement stand on the base micromirror matrix for the checking parameters of infrared optoelectronic systems]. *Trudy XXIV Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii po fotoelektronike i priboram nochnogo videniya* [Proceedings of XXIV international science-technical conference on photo-electronics and night vision devices]. Moscow, 2016, pp. 268–270. (In Russian).
13. Gibin I.S., Kozik V.I., Nezhevenko E.S. Eksperimental'noe issledovanie maketa sistemy generatsii dinamicheskoi stseny dlya testirovaniya teplovizionnykh priborov [Experimental study of a

model system of dynamic scene generation for testing infrared imaging systems]. *Avtometriya – Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 2013, vol. 49, no. 1, pp. 34–38. (In Russian).

14. *DLP5500 DLP ® 0.55 XGA Series 450 DMD*. Dallas, Texas, Texas Instruments, 2015. Available at: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/dlp5500.pdf> (accessed 22.05.2018).

15. *DLPA200 DLP ® DMD Micromirror Driver*. Dallas, Texas, Texas Instruments, 2015. Available at: <http://www.ti.com/lit/ds/dlps015d/dlps015d.pdf> (accessed 22.05.2018).

Для цитирования:

Микрозеркальный модулятор для инфракрасных имитационно-моделирующих стендов / И.С. Гибин, В.И. Козик, Е.С. Нежевенко, В.М. Сидоренко, В.В. Хатункин // Научный вестник НГТУ. – 2018. – № 2 (71). – С. 75–84. – doi: 10.17212/1814-1196-2018-2-75-84.

For citation:

Gibin I.S., Kozik V.I., Nejevenko E.S., Sidorenko V.M., Hatunkin V.V. Mikrozerkal'nyi modulyator dlya infrakrasnykh imitatsionno-modeliruyushchikh stendov [A micro-mirror modulator for infrared simulation modeling stands]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2018, no. 2 (71), pp. 75–84. doi: 10.17212/1814-1196-2018-2-75-84.