

Бесконтактный способ контроля углового перемещения охладителя микрокриогенной системы Стирлинга при охлаждении матричных фотоприемных устройств

А.И. Еремчук, А.В. Полесский, А.В. Самвелов, Д.А. Сысоев, К.А. Хамидуллин

Описывается бесконтактный оптический метод контроля углового перемещения охладителя микрокриогенной системы Стирлинга интегрального типа при охлаждении матричных фотоприемных устройств в процессе выхода на температурный режим криостатирования для применения при производстве ФЭМ.

PACS: 85.60.Gz

Ключевые слова: бесконтактный контроль, охладитель, микрокриогенная система, МФПУ

Введение

Всё более возрастают объёмы и номенклатура выпускаемых в нашей стране широкоформатных матриц, работающих в различных ИК-диапазонах, снижается себестоимость изделий, растёт число пикселей в разрабатываемых матрицах. Рост числа пикселей накладывает все более жесткие требования к ряду параметров выпускаемых изделий ИК-техники. Одним из важных параметров, с точки зрения применения охлаждаемых МФПУ в тепловизионных и теплопеленгационных системах, является как величина, так и стабильность ухода матрицы фоточувствительных элементов при её охлаждении.

Целью работы является исследование способа бесконтактного контроля углового перемещения охладителя микрокриогенной системы Стирлинга интегрального типа при криостатировании матричных фотоприемных устройств в процессе выхода на температурный режим. В ходе работы решалась задача измерения углового перемещения охладителя микрокриогенной системы Стирлинга при криостатировании инфракрасной фоточувствительной матрицы.

Отметим, что преимуществом данного метода является возможность осуществления кон-

троля углового отклонения охладителя микрокриогенной системы и установленного на его торце матричного фотоприёмного устройства на окончательном этапе изготовления изделия. Также данным методом для ряда матриц возможно определение качества приклейки матрицы фоточувствительных элементов на сапфировый растр путем сравнения положения соответствующих автоколлимационных бликов и контроль ориентации входного окна.

Объект исследования

Инфракрасное матричное фотоприемное устройство диапазона 3–5 мкм или 8–12 мкм, установленное в холодной зоне микрокриогенной системы, работающей по обратному циклу Стирлинга, для осуществления активного охлаждения с задачей обеспечения матрицей требуемых фотоэлектрических характеристик.

Метод исследования

Метод реализуется автоколлимационным устройством контроля углового перемещения охладителя микрокриогенной системы Стирлинга (1) (рис. 1), состоящим из источника оптического излучения (2), коллимационной сетки с тест-объектом (3), светоделительной призмы-куба (4), объектива (5), регистрирующего матричного фотоприёмника (8). В методе участвуют матрица фоточувствительных элементов (7), входное окно матричного фотоприёмного устройства (6).

Предложенный метод позволяет контролировать бесконтактно с высокой точностью наклоны охладителя микрокриогенной системы с установленным на нём матричным фотоприёмным устройством, вызванные процессом захолаживания микрокриогенной системой. Метод позволя-

Еремчук Анатолий Иванович, гл. технолог.
Полесский Алексей Викторович, нач. отдела.
Самвелов Андрей Витальевич, аспирант,
Сысоев Дмитрий Анатольевич, инженер.
Хамидуллин Камиль Алиевич, инженер.
ОАО «НПО «Орион».

Россия, 111123, Москва, шоссе Энтузиастов, 46/2.
Тел.: 8 (916)826-29-39.
E-mail: a162007@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 20 января 2013 г.

© Еремчук А.И., Полесский А.В., Самвелов А.В., Сысоев Д.А., Хамидуллин К.А., 2013

ет осуществлять измерения ориентации матрицы фоточувствительных элементов исследуемого матричного фотоприёмника с целью его последующей паспортизации.

Бесконтактный метод контроля углового перемещения охладителя микрокриогенной системы Стирлинга при охлаждении матричных фотоприёмных устройств диапазона 3–5 мкм после выхода на стационарный режим криостатирования заключается в измерении положения тест-объекта, а именно, преобразованного на коллимационной сетке изображения от матричного фоточувствительного устройства, установленного на торце охладителя микрокриогенной системы. Это осуществлялось при помощи устройства, содержащего источник оптического излучения, подсвечивающего коллимационную сетку с тест-объектом. В результате лучи от коллимационной сетки с тест-объектом попадают на светоделительную призму-куб, отражаются от полупрозрачной грани призмы и направляются в объектив, из которого выходят параллельным пучком, совпадающим с направлением оптической оси. Отражаясь от входного окна и поверхности инфракрасной фоточувствительной матрицы, лучи возвращаются в систему и попадают на регистрирующий матричный фотоприёмник спектрального диапазона 1,8–2,3 мкм. Положение тест-объекта на плоскости регистрирующего фотоприёмника будет зависеть от угла наклона исследуемого охладителя микрокриогенной системы с установленной на его торце инфракрасной фоточувствительной матрицей. Таким образом, осуществляется точное бесконтактное измерение углового перемещения охладителя микрокриогенной системы при охлажде-

нии инфракрасной фоточувствительной матрицы.

Спецификой предлагаемой схемы является рабочий спектральный диапазон контроля, а именно, 1,8–2,3 мкм, что позволяет реализовать оптическую схему исключительно на основе обычных оптических стекол. Это значительно уменьшает стоимость устройства в целом. Введение оптических фильтров между элементами (5) и (6) позволяет проводить спектральную селекцию отраженного излучения от входного окна и поверхности матрицы фоточувствительных элементов исследуемого матричного фотоприёмника. Недостатком метода является невозможность осуществить контроль при наличии «холодного» фильтра в контролируемом изделии.

Была проведена теоретическая оценка возможностей метода при его использовании совместно с различными диафрагмами. Оценка базировалась на критерии углового разрешения по Рэлею:

$$\Delta\omega [\text{угл. мин.}] = 1,22 \lambda_{\text{cp}} / D,$$

где λ_{cp} [мкм] – средняя длина волны ИК-излучения, поступающего на матричное фоточувствительное устройство в процессе измерений. В нашем случае величина λ_{cp} составляет 2 мкм. Величина D [мм] представляет диаметр входного отверстия диафрагмы матричного фотоприёмного устройства. При этом значение $\Delta\omega/2$ соответствует углу наклона матричного фоточувствительного устройства.

Разрабатываемые и выпускаемые матричные фотоприёмные устройства комплектуются диафрагмами, имеющими диаметры 6; 8, 10 и 12 мм. Тогда значения точностей определения углового смещения прибором будут составлять:

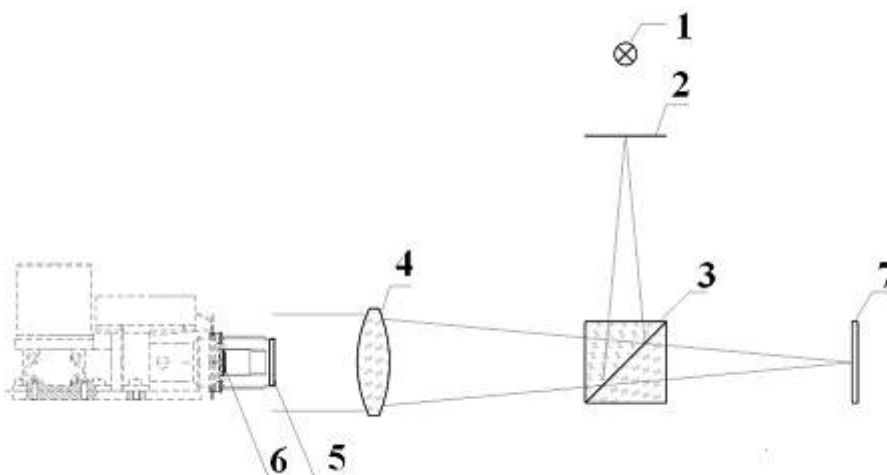


Рис. 1. Схема бесконтактного устройства измерения углового перемещения охладителя МКС: 1- охладитель микрокриогенной системы; 2- источник оптического излучения; 3 - коллимационная сетка с тест-объектом; 4 - светоделительная призма-куб; 5 - объектив; 6 - входное окно исследуемого матричного фотоприёмного устройства; 7 - матрица фоточувствительных элементов исследуемого матричного фотоприёмного устройства; 8 - регистрирующий матричный фотоприёмник

$\Delta\omega =$	6	0,41'
	8	0,31'
	10	0,24'
	12	0,20'

Таким образом, точность измерения представленным способом составляет десятые доли угловой минуты. При этом осевое перемещение матричного фоточувствительного устройства при изменении температуры криостатирования микрокриогенной системой не отражается на точности метода, так как это перемещение по законам геометрической оптики не влияет на величину угла отражения.

Результаты измерений и их интерпретация

В качестве объекта для проведения измерения ухода охладителя микрокриогенной системы было использовано охлаждаемое устройство, серийно выпускаемое ОАО «НПО «Орион». Диаметр его охлаждаемой диафрагмы составляет, примерно, 10 мм. В качестве базы для создания автоколлимационного устройства диапазона 1,8–2,3 мкм был выбран автоколлиматор на основе телескопа, входящего в комплект ОСК-2.

Внешний вид установки для измерения наклона охладителя микрокриогенной машины приведен на рис. 2.

Установка устроена следующим образом. Исследуемый матричный фотоприёмник (1), закрепленный на специальной оснастке установлен перед объективом автоколлиматора (2). Используемый в измерениях автоколлиматор рассчитан на

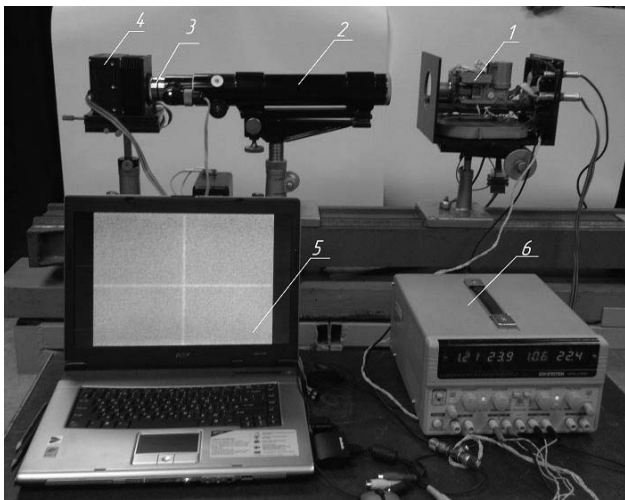


Рис. 2. Установка для измерения углового перемещения охладителя МКС: 1 – исследуемый фотоприёмник; 2 – автоколлиматор; 3 – переходной фланец; 4 – фотоприёмник Xeva-2.5-320 с блоком электронной обработки; 5 – портативный компьютер; 6 – блок питания МКС.

применение в видимом диапазоне спектра, однако исследование его оптической схемы в диапазоне 1,8–2,3 мкм показало, что при используемом размере зрачка, равного размеру диафрагмы, пятно рассеяния по уровню 80 % составляет 187 мкм.

Для приема сигнала в диапазоне 1,8–2,3 мкм конструкция автоколлиматора была доработана для установки в неё матричного фотоприёмника диапазона 1–2,5 мкм Xeva-2.5-320 (4). К автоколлиматору фотоприёмник (4) закреплен с помощью специального фланца (3). Приём изображения с фотоприёмника (4) проводился с помощью портативного компьютера (5).

Из-за низкого отношения сигнал/шум отдельных кадров для исследования была применена система регистрации, обеспечивающая сложение 100 кадров. Низкое отношение сигнал/шум объясняется тем, что автоколлиматор просветлен на спектральный диапазон 0,4–0,7 мкм, а такжеи значительным ослаблением в толще стекла. Полученные в результате накопления 100 кадров изображения до и после достижения МФПУ рабочей температуры 80 К приведены на рис. 3 (белое перекрестие получено программным путем и соответствует центру матрицы).

С целью поиска центра линии была проведена специальная математическая обработка в программе MathLab. Рассчитанная величина смещения оказалась равной 0,12 мм, что соответствует величине наклона матрицы равного 5'. Оценка точности измерений этим методом в данном диапазоне показала, что точность измерения, определяемая величиной шумов и неточностью обработки, составляет примерно $\pm 2'$. К сожалению, такая точность не позволяет полноценно провести исследования на повторяемость ухода.

Заключение

Предложенный метод позволяет осуществлять измерения ориентации матрицы фоточувствительных элементов исследуемого матричного фотоприёмника с целью его последующей паспортизации. Однако для его полноценного осуществления требуется разработка специализированного автоколлиматора, который позволит использовать этот метод в условиях серийного производства ФЭМ.

Значительный интерес представляет также возможность изготовления МФПУ с входным окном, выполненным из лейкосапфира, что позволит резко увеличить точность измерений и провести исследования повторяемости ухода.

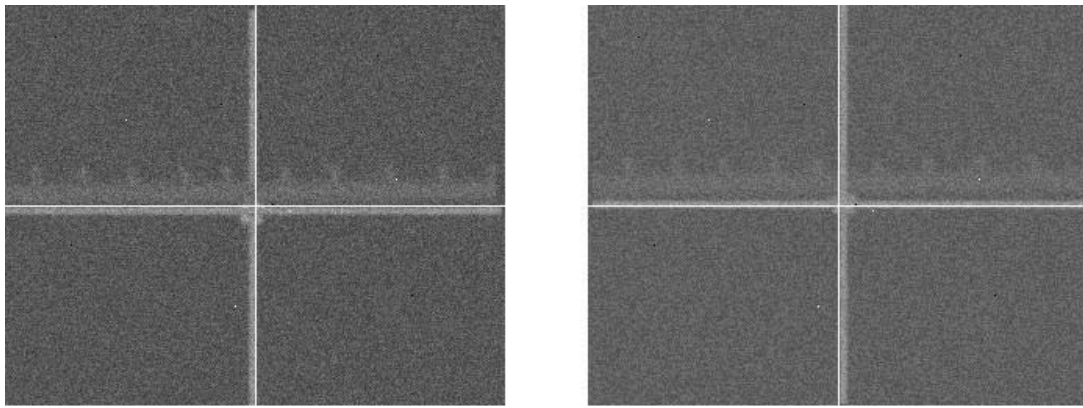


Рис. 3. Результаты измерений углового перемещения охладителя МКС: слева – автоколлимационный блик до охлаждения МКС, справа – автоколлимационный блик при выходе на рабочий режим.

Литература

1. Филачев А.М., Таубкин И.И., Трищенко М.А. // Современное состояние и магистральные направления развития современной фотоэлектроники – М.: Физматкнига, 2010.

2. Заказнов Н.П., Кирюхин С.И., Кузичев В.Н. // Теория оптических систем – М.: Машиностроение. 1992..

Contactless control method of angular displacement of the cooling part of the microcryogenic system of Stirling during cooling focal plane arrays

A.I. Eremchuk, A.V. Polessky, A.V. Samvelov, D.A. Sysojev, and K.A. Hamidullin

Orion Research-and Production Association
46/2 Enthusiasts highway, Moscow, 111123, Russia
E-mail: a162007@yandex.ru

There is described the contactless optical method of angular displacement of the cooling part of the microcryogenic Stirling system of an integral type during cooling focal plane arrays in the process of attainment of temperature conditions of cryostatting for application in manufacturing photoelectronic modules.

PACS: 85.60.Gz

Keywords: contactless control, cooler, microcryogenic Stirling system, FPA

Bibliography – 2 references

Received January 20, 2013