

шкале температур, где он более эффективен, подняв при этом температуру горячего спая термоэлемента почти на 13 К. Однако достичь этого режима прямым снижением температуры от температуры горячего спая 100 К нельзя. Для этого необходимо после достижения максимального перепада при первоначальной температуре горячего спая 87 К получить максимальный перепад температур, а затем повысить температуру горячего спая до 100 К, при этом температура T'_0 принимает значение 87 К, т. е. сверхпроводник будет находиться при температуре ниже критической.

Заключение

Подводя итоги численного моделирования низкотемпературного термоэлемента с пассивной ветвью, можно отметить, что использование в качестве пассивной ветви сверхпроводника более эффективно, чем применение самого лучшего термоэлектрика из известных низкотемпературных материалов p -типа, при этом пассивная ветвь из сверхпроводника должна быть, возможно, более длинной. В случае бесконечной длины она бу-

дет играть роль "теплового затвора" для холодного конца n -ветви, и эффективность термоэлемента будет равновелика добротности n -ветви. При критической плотности тока, характерной для рассматриваемого сверхпроводника, 99 % максимально возможного перепада может быть достигнуто при его длине не менее 60 мм. Длину сверхпроводящей вставки можно уменьшить вдвое путем использования в качестве пассивной — составной ветви термоэлемента (сверхпроводник—термоэлектрик).

Литература

1. Кузнецов В. Л., Ведерников М. В., Яндль П., Бирхгольц У. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. № 18. С. 75.
2. Марков О. И. // Там же. 2004. Т. 30. № 13. С. 7.
3. Бойко М. П. Особенности явлений переноса в чистых и легированных сплавах висмут—сурьма: Дисс. ... канд. физ.-мат. наук. — Кишинев: ИПФ, 1986. — 184 с.
4. Кириченко Ю. А., Русанов К. В., Тюрина Е. Г. // Сверхпровод. хим. физ. тех. 1990. Т. 3. № 7. С. 1385.
5. Лукьянова Л. Н., Кутасов В. А., Попов В. В., Константинов П. П. // ФТТ. 2004. Т. 46. № 7. С. 1366.

Статья поступила в редакцию 10 октября 2007 г.

Modeling the limit of abilities of a low-temperature cooling thermoelement

O. I. Markov

Orel State University, Orel, Russia

Computer modelling of a low-temperature thermoelement in a mode of the maximal temperature drop has been conducted. In calculation experimental data of the best of low-temperature thermoelectrics are used. The limits of thermoelectric cooling abilities in a temperature interval of 50—90 K have been revealed.

УДК 520.624

Цифровые отечественные ПЗС-камеры для оптических телескопов

В. В. Комаров

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, пос. Нижний Архыз, Карачаево-Черкессия, Россия

А. В. Комаров

Московский государственный университет, Москва, Россия

Представлены результаты исследований последних отечественных разработок высокочувствительных черно-белых ПЗС-камер для оптических телескопов. На примере ПЗС-камеры SDU-259 (ООО "Спецтелетехника", Москва) показана возможность ее работы в качестве цифрового тепловидения гидов больших оптических телескопов. В САО РАН создана модифицированная ПЗС-камера SDU-259С, оснащенная термоэлектрическим холо-

дильником. Приведены ее характеристики и результаты ее исследований на 10-дюймовом телескопе "MEADE LXD-55 10in".

Введение

В комплексе дистанционного визуального контроля 6-м оптического телескопа БТА [1] используются разработки высокочувствительных ТВ-камер на базе малоформатных ПЗС массового производства. При наблюдении слабых объектов тепеподсмотры, в состав которых входят данные ТВ-камеры, работают в режиме предельной одноэлектронной чувствительности, когда изображения звезд на экране видеоконтрольного устройства (ВКУ) формируются небольшим числом одноэлектронных событий и сильно флуктуируют сквозь турбулентную атмосферу. Поэтому все тепеподсмотры, работающие в фокусах телескопов, содержат в качестве входного элемента электронно-оптический преобразователь (ЭОП). ТВ-подсмотры, несущие вспомогательную функцию (обзор больших площадок звездного неба), для которых возможны длительные экспозиции, в качестве входного элемента используют высокочувствительные малоформатные ПЗС.

Последние варианты подсмотровых телекамер для БТА, а также ночных веб-камер выполнены по традиционной схеме: передача аналогового ТВ-сигнала из фокусов в аппаратные, где и осуществляется визуальный контроль на мониторах ВКУ

или просмотр оцифрованных видеоизображений на компьютерах [2].

В последнее время российскими производителями ПЗС-камер серийного производства осваивается выпуск высокочувствительных ПЗС без ТВ-выхода с управлением от компьютера и передающих изображение непосредственно на ПК. Использование таких камер позволит уйти от аналогового сигнала и получить возможность изменять параметры камер "на ходу" с помощью компьютера даже через Интернет. Подобные российские ПЗС-камеры недавно представлены и описаны [3]. Для получения предельно слабых изображений на оптических телескопах ПЗС-камера должна быть охлаждаемой, чтобы иметь возможность длительного накопления на ПЗС-матрице.

Были собраны сведения (рис. 1) о наиболее чувствительных ТВ-камерах серийного производства, которые используются в астрономических приложениях [4—7]. В САО РАН создана камера SDU-259С на базе цифровой ПЗС-камеры SDU-259 (ООО "Спецтелетехника"), которая оснащена термоэлектрическим холодильником. На ее примере исследуется возможность работы цифровых малоформатных ПЗС-камер отечественного производства в качестве цифрового тепеподсмотра гидов больших оптических телескопов.

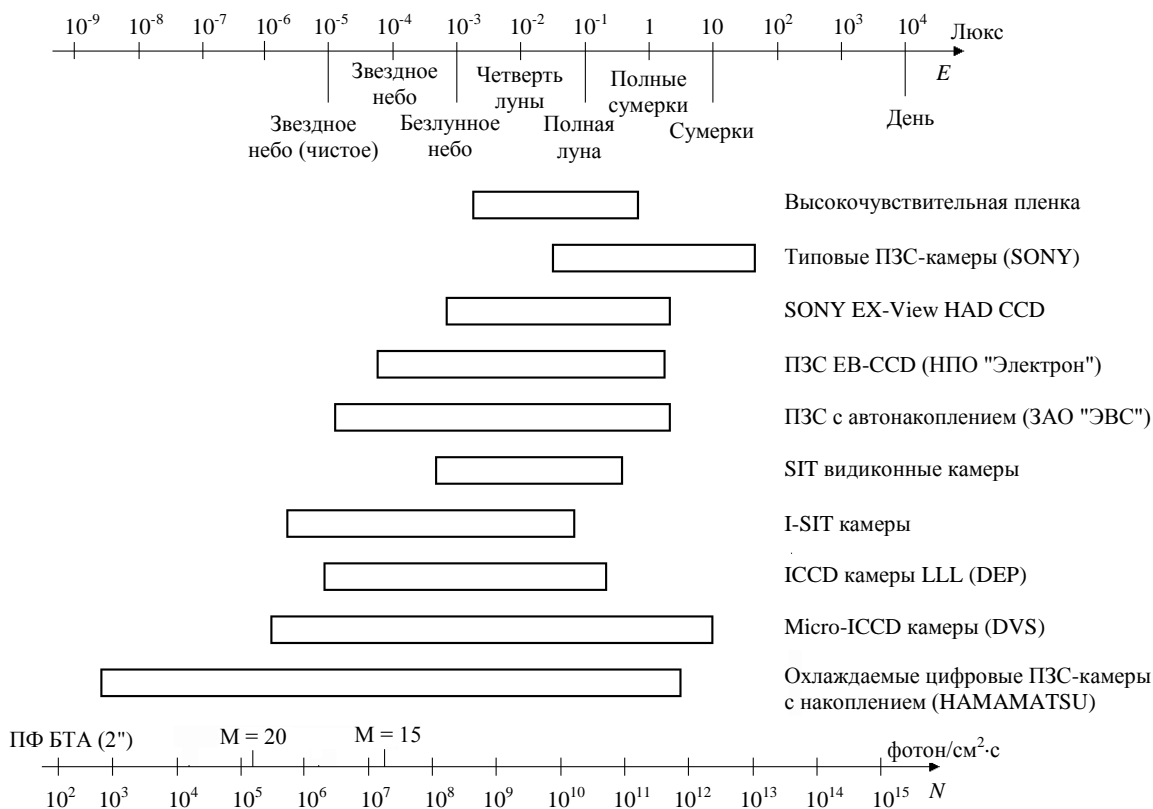


Рис. 1. ТВ-камеры серийного производства для астрономических приложений

Характеристики SDU-259C

ПЗС-камера SDU-259 [3] предназначена для передачи цифровых черно-белых изображений с высокой чувствительностью непосредственно в компьютер по интерфейсу USB-2.0. Управление параметрами камеры также осуществляется по интерфейсу USB. Камера SDU-259 имеет возможность задавать накопление на ПЗС до 4,5 мин. Структурная схема камеры представлена на рис. 2.

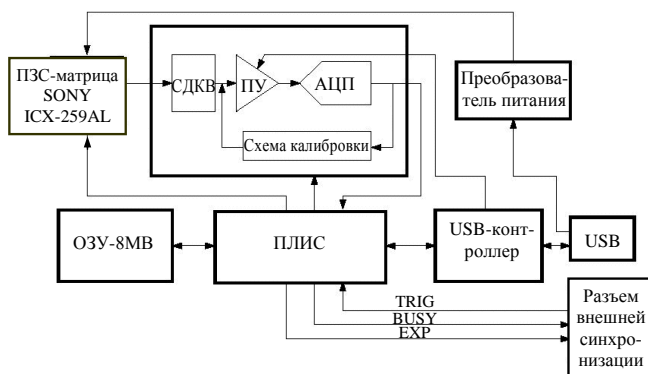


Рис. 2. Структурная схема ПЗС-камеры SDU-259

Световой поток, падая на ПЗС-матрицу, преобразуется в электрический сигнал, который поступает на специализированную интегральную микросхему аналого-цифрового преобразования, состоящую из:

- СДКВ — схема двойной коррелированной выборки — получает электрический сигнал, пропорциональный яркости засветки каждого пикселя ПЗС.
- ПУ — программируемый усилитель — усиливает сигнал с СДКВ для полного использования динамического диапазона АЦП.
- АЦП — аналого-цифровой преобразователь.
- Схема калибровки — привязывает "ноль" АЦП к "уровню черного" выходного сигнала ПЗС.

Объединение данных узлов в одной интегральной схеме предполагает обеспечение низкого уровня шумов и широкого динамического диапазона обработки светового потока.

Управление работой камеры осуществляется через программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС) с архитектурой FPGA через интерфейс USB. Цифровое видеоизображение записывается в буферную память ОЗУ объемом до 8 Мбайт. Это позволяет передавать видеоизображение в компьютер по USB одновременно с процессом считывания ПЗС и оцифровки сигнала, что повышает скорость передачи данных в компьютер и уменьшает задержку между окончанием экспозиции и началом передачи изображения в компьютер. USB-контроллер — микроконтроллер стандартной архитектуры с протоколом USB-2.0.

Технические характеристики

ПЗС-матрица	ICX-259AL
Формат	1/3"
Размер фоточувствительной площадки, мм	4,8×3,6
Число элементов	744×546
Размер элемента, мкм	6,4×6,2
Охлаждение ПЗС	однокаскадная термоэлектриче- ская батарея −12 °С
Шум считывания	менее 50 e в поло- се 7 МГц
Сложение элементов	1×1, 2×2 или 4×4
Гамма-коррекция	0,1—1,0
Усиление, дВ	36
АЦП, бит/элемент	8 или 12
ОЗУ, Мбайт	8
ЦАП	отсутствует
Выход видео	отсутствует
Экспозиция	1 мкс — 4,5 мин
Интерфейс	USB 2.0, USB 1.0
Операционная система	Win-2000, Win-XP
Питание, В/А:	
камеры	5/0,5
термобатареи	1/1,5
Габаритные размеры, мм	38×38×120
Масса, кг	0,3
Рабочая температура, °С	−10÷+50

USB-контроллер также поддерживает протокол USB-1.1, т. е. ПЗС-камера способна передавать цифровые видеоизображения и на компьютер, у которого есть только USB-1.1. При этом скорость передачи снижается с 20 (по USB-2.0) до 0,5 Мбайт/с.

Буферная память объемом до 8 Мбайт позволяет хранить до 19 полноформатных кадров 744×576 в режиме 8 бит/пиксель или до 13 — в режиме 12 бит/пиксель.

Питание SDU-259C осуществляется по интерфейсу USB либо от внешнего источника питания. Преобразователь напряжения формирует необходимые для работы ПЗС положительные и отрицательные напряжения. При переводе SDU-259C в спящий режим преобразователь отключается.

Эксперимент и результаты

Цифровые изображения, полученные ПЗС-камерой SDU-259C с телескопа "MEADE LXD-55 10in", характеристики которого приведены ниже, передавались по кабелю USB длиной 5 м в компьютер. По этому же кабелю осуществлялось и управление камерой SDU-259C.

Технические характеристики

Модель	SN-10 10" f/4
Оптическая схема	Шмидт–Ньютон
Апертура, мм	254 (10")
Фокусное расстояние, мм	1016
Относительное отверстие (светосила)	f/4
Максимальное увеличение, крат	600

Разрешающая способность, угл. с	0,45
Проницающая способность.....	14,5 (звездные величины)
Масштаб изображения в фокусе, град/см	0,56
Покрываете оптических поверхностей.....	многослойное EMC Super
Материал.....	алюминиевое литье под давлением
Питание постоянным током, В	12
Монтировка	экваториальная немецкого типа
Скорость наведения, град/с	9 скоростей: от сидеральной (1x) до 4,5
Дополнительные принадлежности, мм ..	искатель 6×30, окуляр Super P10ssl 26 мм*, держатели окуляра 1,25" и 2"
Масса, кг:	
телескопа	13,6
штатива	24,9

* Со стандартным окуляром SP 26 мм телескоп имеет широкое поле зрения около 1,3°.

Были получены и проанализированы изображения с различным набором экспозиций: от 1 мс до 20 с.

Режим камеры:

- гамма-коррекция = 1;
- усиление — максимальное (600);
- биннинг — отсутствует (1×1).

На рис. 3, а приведено цифровое видеоизображение участка ночного неба с экспозицией 20 с. Для отождествления данного изображения использовался каталог USNO-A2 со списком звезд до 17-й звездной величины. Результат обработки показан на рис. 3, б. Графики горизонтального и вертикального сечений на изображении показаны для линий, пересекающихся в координатах источника № 3.

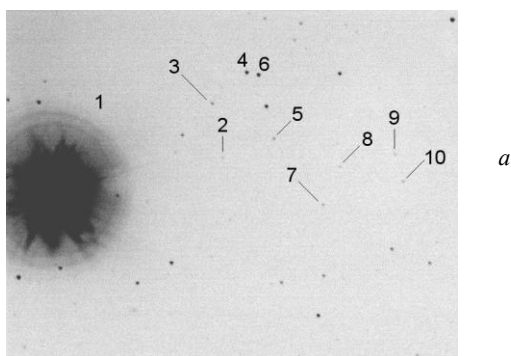
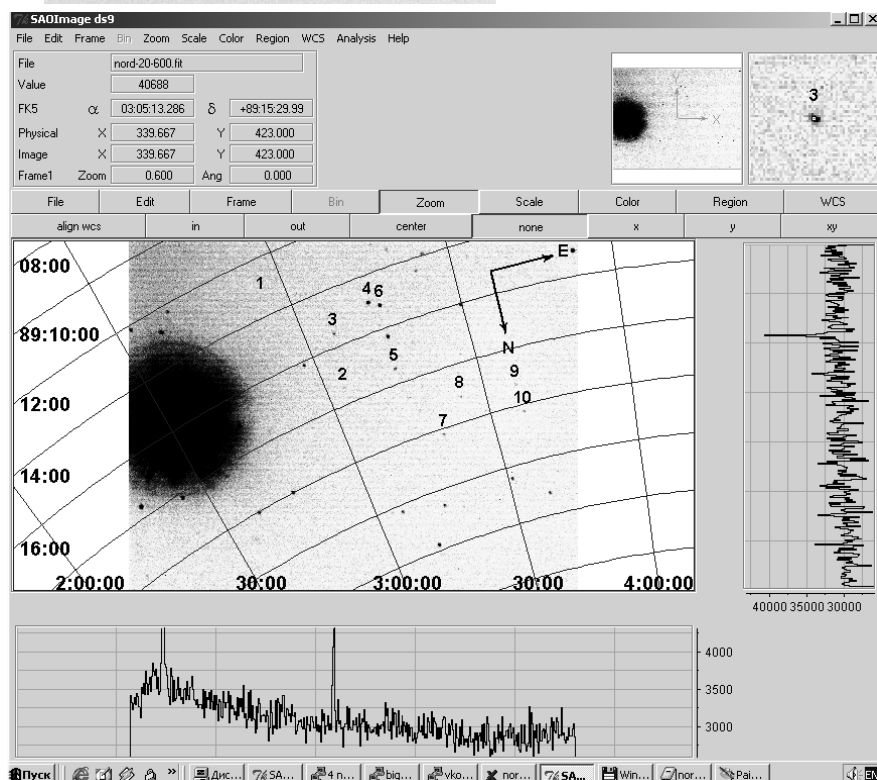


Рис. 3. Изображение участка ночного неба в окрестности Полярной звезды:

а — снимок получен с помощью ПЗС-камеры SDU-259С на телескопе "MEADE LXD-55 10in" с экспозицией 20 с;
 б — пример обработки изображения



Координаты источников и их звездные величины, взятые из каталога USNO-A2, приведены в таблице.

все ее параметры можно задавать программно. Это позволит получать цифровой результат при создании мониторинга прозрачности неба.

№	USNO-A2	RA(hh mm ss)	DEC(dd mm ss)	$m(R)$	$m(B)$
2	1725-0136663	03:03:19,841	+89:17:22,859	17,9	18,7
3	1725-0137963	03:05:17,030	+89:15:30,262	16,8	18,0
4	1725-0143063	03:13:10,250	+89:14:54,613	14,8	16,3
5	1725-0143655	03:14:02,165	+89:17:25,4410	15,9	17,1
6	1725-0144360	03:15:06,163	+89:15:08,758	14,4	15,7
7	1725-0147194	03:19:17,657	+89:20:10,837	15,7	16,9
8	1725-0150890	03:24:50,704	+89:19:06,436	16,1	17,1
9	1725-0158777	03:36:18,612	+89:19:14,285	15,6	16,9
10	1725-0158948	03:36:34,947	+89:20:12,804	15,3	16,6

Заключение

- ПЗС-камера SDU-259 в режиме охлаждения позволяет получать изображения с телескопа "MEADE LXD-55 10in" с экспозицией до десятков секунд (ПЗС-матрица не заливается) при уровне фона неба в полнолуние.
- Размер поля без промежуточной оптики (минимальные потери света) составляет 12×15 угл. мин (масштаб изображения составил около 1,2 угл. с/пиксель).
- Качество изображения приемлемо для задач отождествления звездной площадки и мониторинга ее ведения.
- Предельная чувствительность составляет 16,5 видимой звездной величины при соотношении сигнал/шум, равным 2.
- ПЗС-матрица формата $1/3''$ $3,6 \times 4,4$ мм не охватывает все поле телескопа, поэтому для получения изображения большего (всего) поля желательно иметь камеру, подобную SDU-259C, с ПЗС большего формата и без промежуточной оптики.
- ПЗС-камеру SDU-259C можно рекомендовать для работы в подсмотровых системах БТА и "Цейсс-1000", а также как измерительную, так как

- ПЗС-камера SDU-259 в режиме охлаждения с телескопами класса "MEADE LX" по своим характеристикам является конкурентоспособной полупрофессиональным зарубежным системам среднего класса [8].

Литература

1. Витковский В. В., Власюк В. В., Комаров В. В., Фоменко А. Ф., Шергин В. С. Открытая в Интернет ТВ-система визуального контроля крупнейшего российского 6-м оптического телескопа БТА// XIX междунар. науч.-техн. конф. по фотоэлектронике и приборам ночного видения: Тез. докл. — М., 2006. С. 172.
2. Komarov V. V., Vitkovskij V. V., Vlasyuk V. V., Fomenko A. F., Shergin V. S. A digital TV-complex of the 6-m optical telescope BTA for identification of astronomical objects and guiding// Bull. Spec. Astrophys. Obs. 2002. № 53. P. 134—143.
3. Скакун А., Вето А. Телевизионные камеры для аналитического приборостроения// CCTV Focus 2006. № 1(19). P. 15—17.
4. Каталог телевизионных камер SONY (Guide), 2000.
5. Каталог телевизионных камер HAMAMATSU, 2003.
6. Bosch L. A. Image Sensors using demagnifying image intensifiers. — В. V. Delft Electronische Producten, Roden, Holland 1997. L.L.L.
7. ТВ-камеры. Системы видеонаблюдения: Каталог фирмы "ЭВС". — С.-Петербург, 2005.
8. Edwin L. Aguirre. Astro Imaging with Digital Cameras// Sky&Telescope. 2001. V.102. № 2. P. 128—134.

Статья поступила в редакцию 30 сентября 2006 г.

Digital CCD cameras of our country for optical telescopes

V. V. Komarov

Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences (SAO RAS), Nizhnij Arkhyz, Karachaev-Cherkesia, Russia

A. V. Komarov

Moscow State University, Moscow, Russia

There is the presentation of investigation results of last native elaborations of b/w high sensitive CCD cameras for optical telescope application. By the example of SDU-259 camera (OOO "Spectetelehnika", Moscow) capability of its use as a digitized TV guiding camera for large optical telescopes is demonstrated. In SAO RAS there is constructed SDU-259C camera with thermoelectric cooler equipped. The parameters of CCD camera SDU-259C and its test results when used with 10 inch telescope "Meade LXD-55" are given.