

Фотометр для камеры VersArray-1300

Предварительное описание

В. Корнилов

Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга

24 марта 2005

23 сентября 2006

Краткая характеристика ПЗС камеры VersArray-1300B

В камере VersArray-1300 установлена матрица CCD36-40 фирмы E2V (бывшая Marconi Applied Technology) форматом 1300×1340 с обратным освещением. Эта матрица отсутствует в списке производимых детекторов, поскольку была изготовлена специально для Roper Scientific.

Основные геометрические характеристики CCD36-40:

- Размер пикселя — $20 \mu\text{м}$.
- Размер фоточувствительной области — $26 \times 26.8 \text{ мм}$.
- Диагональ матрицы — 38 мм .

Матрица чувствительна в ультрафиолетовом участке спектра. Спектральная кривая чувствительности показана на Рис. 1. Видно, что этот детектор отличается очень высокой эффективностью в видимой области.

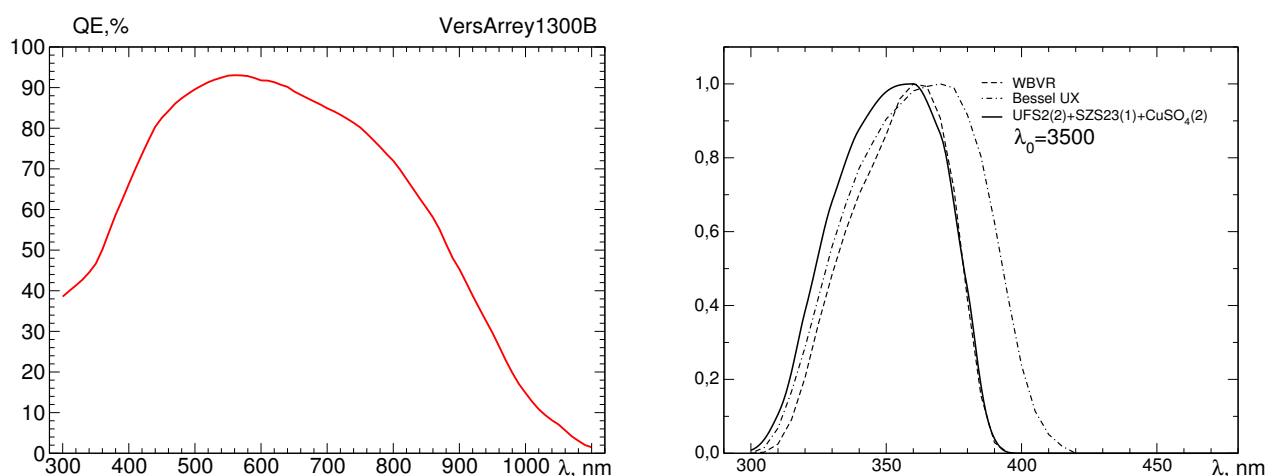


Рис. 1: Слева: Спектральная чувствительность матрицы в камере VersArray1300B по данным RoperScientific. Справа: Полоса W фотометра по сравнению с полосами U из работы Бесселя и W каталога ярких звезд.

В камере VersArray-1300 CCD матрица с термохолодильником расположена внутри вакуумированной входной камеры, покрытой кварцевым окном. Для поддержания вакуума на требуемом уровне необходимо эту камеру периодически откачивать. Геометрические размеры приведены на Рис. 2.

Геометрия фотометра

В расчетах геометрии фотометра принято, что максимальное относительное отверстие телескопа составляет $1/8$, чтобы обеспечить возможность работы во втором кассегреневском фокусе телескопа АЗТ-22. Положение фокальной плоскости (поверхности ПЗС матрицы) относительно посадочной плоскости фотометра составляет 145 мм . Эта величина меньше выноса расчетной фокальной плоскости телескопов и ЗТЭ и АЗТ-22 относительно их приборного фланца.

Если требуется точное соответствие фокальной плоскости расчетному, необходимо предусмотреть промежуточный узел крепления соответствующей толщины.

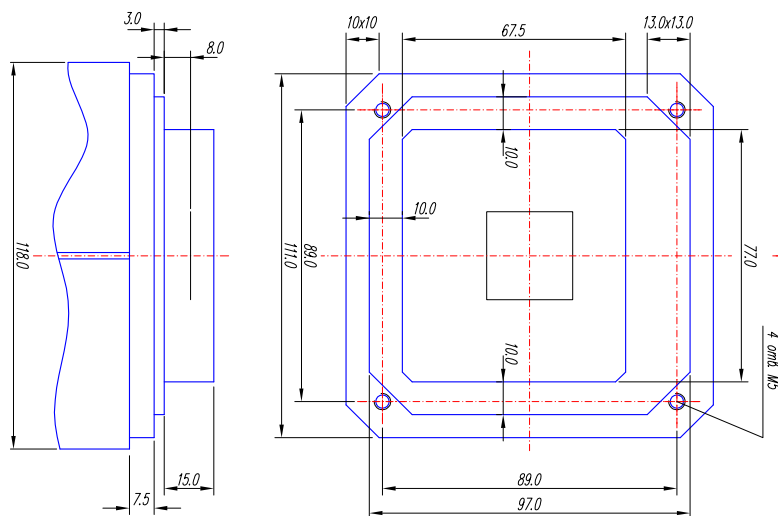


Рис. 2: Размеры входной камеры.

Основная фотометрическая система

В качестве основной фотометрической системы предполагается система *UBVRI* с возможностью установки одного специального фильтра. Инструментальная фотометрическая система рассчитана так, чтобы обеспечить разумный компромисс между системой, рекомендованной Бесселем, и системой *WBVR* каталога ярких звезд.

В качестве блокирующей "red leak" полосы $U(W)$ применен водный раствор $CuSO_4$, поскольку изготовить кристалл нужного размера представляется проблематичным. С.Потанин исследовал свойства двух растворов медного купороса, насыщенного при температуре около $+2^\circ C$ и насыщенного при $+20^\circ C$. В первом случае пик красного пропускания составил ≈ 0.0005 , во втором он уменьшился до ≈ 0.0002 относительно главного пропускания в УФ области.

Расчетные кривые реализуемой фотометрической системы приведены на Рис. 1, Рис. 3 и Рис. 4. При расчетах мы исходили из общей толщины фильтров 5.0 мм.

Толщины фильтров рассчитаны таким образом, чтобы в результате получилась фотометрическая система достаточно близкая к фотометрической системе каталога Ярких звезд северного неба. По технологическим причинам общую толщину пришлось увеличить до 5.5 мм. Сведения о составе каждого фильтра и толщинах его компонент приведены в Табл. 1.

Фильтры

Для уменьшения влияния пыли и грязи на фильтрах на однородность поля изображения плоскость фильтров отнесена от фокальной плоскости (поверхности чипа) на расстояние около 60 мм. При таком расстоянии размер фильтра должен быть не менее 36×36 мм (при запасе ± 1 мм)

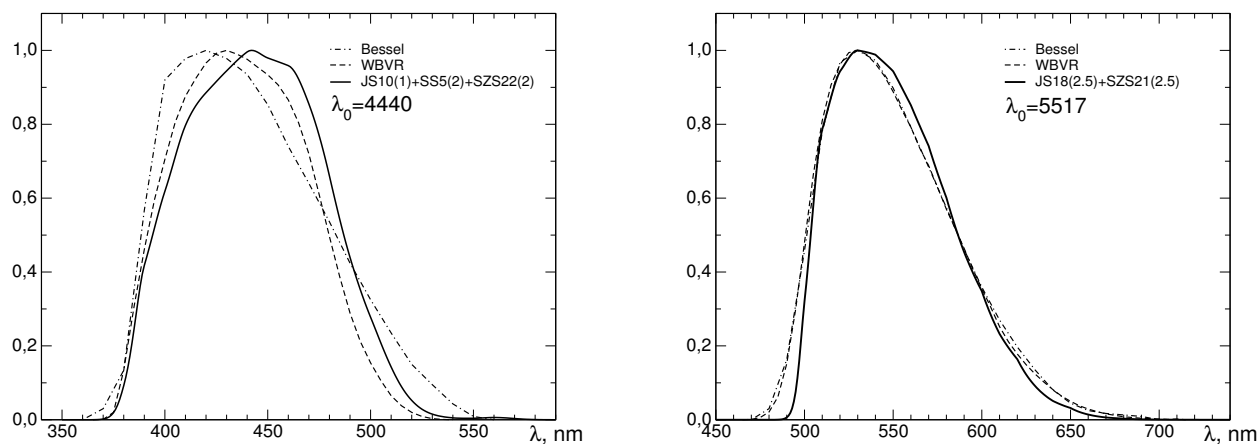


Рис. 3: Полосы В и V фотометра по сравнению с соответствующими полосами из работы Бесселя и каталога ярких звезд.

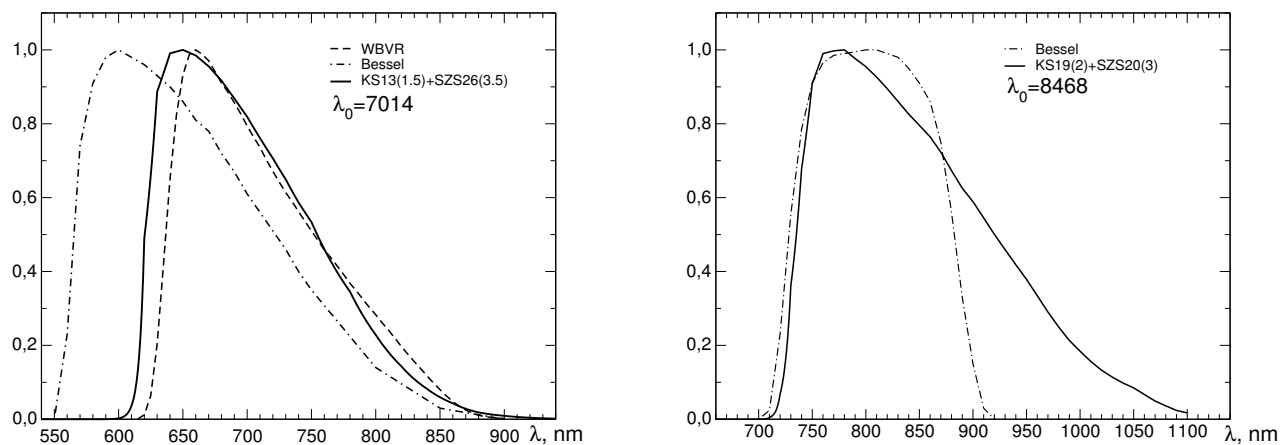


Рис. 4: Полосы R и I фотометра по сравнению с соответствующими полосами из работы Бесселя и каталога ярких звезд.

Таблица 1: Состав стеклянных фильтров, реализующих фотометрическую систему фотометра

Полоса	Стекла		
W	1.5 мм СЗС23	+ 2.0 мм УФС2	+ 2.5 мм $CuSO_4$
B	1.5 мм ЖС10	+ 2.0 мм СЗС22	+ 2.0 мм СС5
V	3.0 мм ЖС18	+ 2.5 мм СЗС21	
R	2.0 мм КС13	+ 3.4 мм СЗС26	
I	2.5 мм КС19	+ 3.0 мм СЗС20	

или его диаметр — не менее 46 мм. Хотя на первом этапе рассматривался вариант с квадратными фильтрами размером 40×40 мм, окончательно был выбран вариант круглых фильтров со световым диаметром 50 мм толщиной 5 мм. Вес такого фильтра с оправой ≈ 28 г.

Основными аргументами в пользу такого решения явились:

- необходимость дополнительных рабочих сегментов на фильтре для каналов гидирования и экспонетра (Рис. 5, слева),
- возможность использования готовых импортных фильтров диаметром 2 дюйма,
- простота изготовления оправ фильтров, плотно прилегающих к диску фильтров для обеспечения высокой теплопроводности от турели к фильтру,
- простота изготовления кюветы жидкостного W фильтра.

Ультрафиолетовый фильтр представляет собой кювету для раствора $CuSO_4$ образованную двумя цветными стеклами: УФС-2 и СЗС-23 и металлическим разделителем между ними. Металлический разделитель изолирован от раствора слоем оптического клея. Идеальным материалом для разделителя является титан.

Допуски на вариации толщин фильтров определяются из величины допустимых дефокусировок (диффракционная глубина резкости), приведенных в таблице 2.

Таблица 2: Допуск на толщины фильтров при средней толщине 6 мм.

Светосила	1:8	1:12	1:16
Дефокусировка в фильтре W, мм	± 0.09	± 0.20	± 0.35
Допуск на толщину фильтра W, мм	± 0.26	± 0.58	± 1.00
Дефокусировка в фильтре R, мм	± 0.18	± 0.40	± 0.70
Допуск на толщину фильтра R, мм	± 0.52	± 1.16	± 2.00

Фильтры подогреваются до температуры $+10 - +15$ C° . Это необходимо для стабильности фотометрических полос, для предотвращения запотевания и замерзания жидкостного фильтра. Для уменьшения мощности нагревателя турель помещена в дополнительный кожух. Температура фильтров контролируются 3-мя датчиками.

Ось вращения турели фильтров находится на расстоянии 56 мм от оптической оси фотометра. Диск с фильтрами изображен на Рис. 5, справа. Шесть фильтров со своими оправками весят 0.166 Кг и их суммарный момент $5.8 \cdot 10^{-4}$ кг \cdot м².

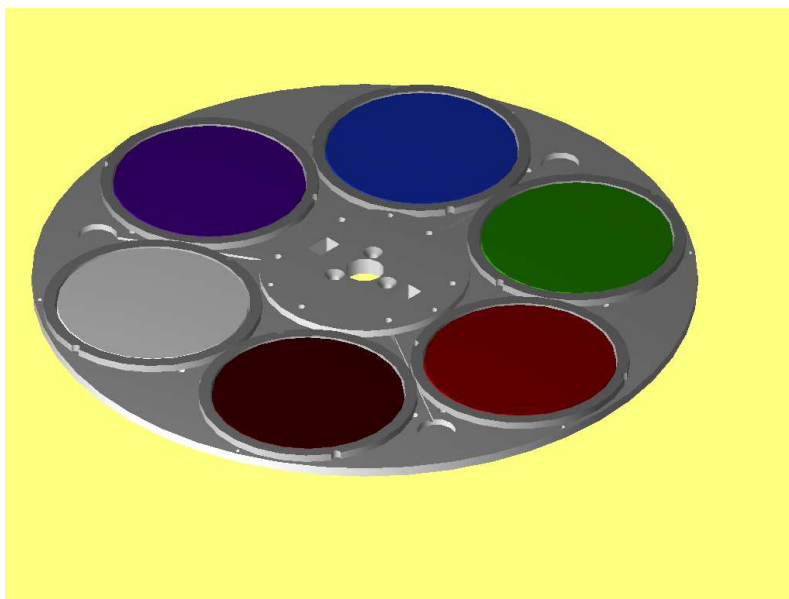
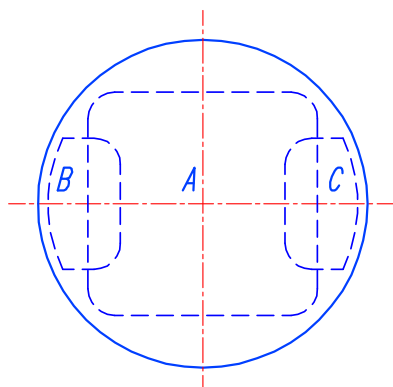


Рис. 5: Слева: Распределение рабочих зон на поверхности фильтра: А — зона матрицы, В и С — зоны гидрирующих детекторов. Справа: Диск с фильтрами фотометра в сборе.

Диск для фильтров весит 0.102 Кг, его момент инерции $3.3 \cdot 10^{-4}$ кг·м². Из приведенных цифр следует, что основной вклад в момент инерции турели вносят сами фильтры. Максимальный дисбаланс, при удаленных с одной стороны 3 фильтрах, составляет 0.03 Н·м. Оценка максимального ускорения диска при приведенных величинах составляет 12 000 °/с².

Привод турели — шаговый двигатель типа ДШР39 повышенной мощности (Сопротивление обмоток 11Ω, максимальный момент 0.2 Н·м) без всякого редуктора. При этом максимальное время переключения фильтров (противоположных) составит 0.3 ÷ 0.4 с. Количество позиций фильтров: 6 равноотстоящих позиций. Контроллер обеспечивает режим микрошагов с разделением шага на 8, поэтому дискретность позиционирования составляет 1/1600 оборота, т.е. 0.225°. Линейная точность позиционирования — 0.2 мм на оптической оси, повторяемость и стабильность — не хуже 0.02 мм.

Контроллер обеспечивает плавный разгон и торможение турели фильтров, подавляя при остановке крутильные колебания диска специальным алгоритмом. Существует дополнительный режим: смещение относительно номинального положения на ±4 мм для контроля чистоты (однородности) фильтров.

Для контроля **абсолютного** положения диска с фильтрами используются два датчика Холла. Первый определяет начало оборота (нуль-пункт), а второй контролирует фильтр на оптической оси. При отсутствии фильтра на оси автоматически инициализируется повторный поиск нуль-пункта. Магнит и датчики расположены на консоли корпуса, на колесе укреплены только тонкие магнитопроводы, обеспечивающие высокую точность привязки.

Затвор

Затвор расположен **перед** фильтрами для защиты от пыли и засветки фильтров. Затвор секторного типа, двухлепестковый, полу-оборотный (См. Рис. 6). Старт движения симметричный, что позволяет иметь идентичные трассы ребра затвора при открывании и закрывании. Это обеспечивает одинаковую экспозицию для любой точки поля.

Экспериментальная оценка минимальной экспозиции — 100 мс, при этом равномерность экспозиции по полю лучше 1%. При экспозиции в 1 с равенство экспозиции много лучше 0.1%.

Датчик затвора фиксирует прохождение ребра через центр (0.5 уровня). Представляет собой датчик Холла, экранируемый от поля магнита лезвием затвора. Импульс датчика дополнительно выведен на разъем для точной синхронизации считывания, определения момента и продолжительности экспозиции.

Привод — шаговый двигатель ДШР-46, перемотанный на 8Ω для уменьшения постоянной времени. Питание привода (также как и питание привода фильтров) — 24 В.

Кроме командного запуска возможен запуск внешним импульсом, например, от сигнала управления внешним затвором камеры VersArray1300В. Для минимизации момента инерции лезвие затвора лучше всего сделать из листового титана $0.1\div 0.2$ мм с наклеенным магнитным экраном из аморфного сплава, но можно сделать целиком из магнитного материала.

Дополнительные режимы: открывание вперед/назад — для исследования динамики движения, неполное открывание — для экранирования ярких объектов, работа в режиме обтюлятора.

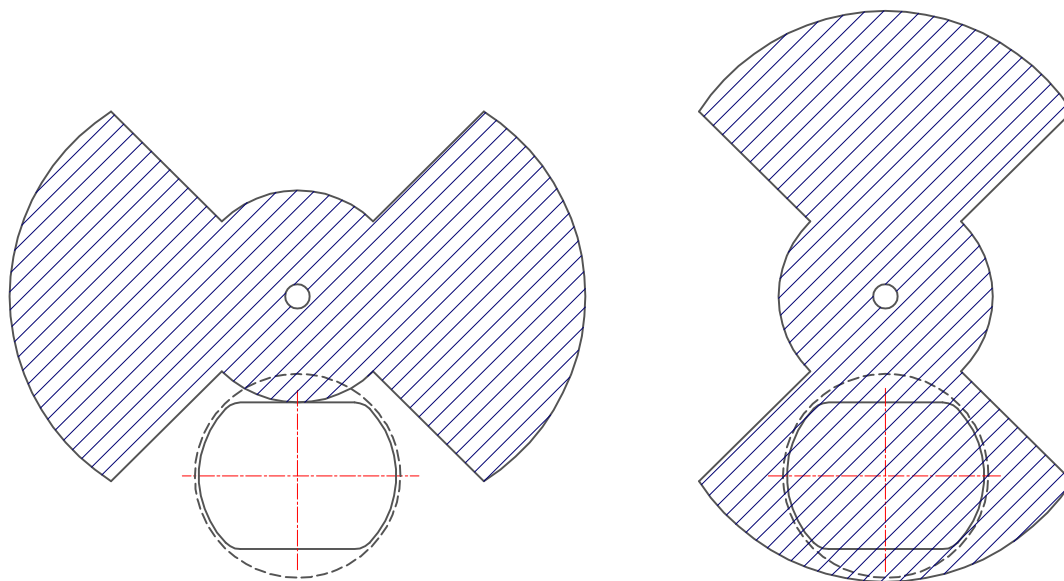


Рис. 6: Схематическое изображение открытого (слева) и закрытого (справа) затвора на фоне входного окна затвора. Фильтр изображен штриховой линией.

Контрольный свет

Два многоцветных (синий, зеленый и красный) светодиода под основанием фотометра для контроля работоспособности и, может быть, плоского поля. Свет от светодиодов попадает на матри-

цу только после отражения от вторичного зеркала. Это эквивалентно изображению контрольного светодиода(ов) на расстоянии ≈ 3 м от матрицы. При этом ожидается более-менее равномерная засветка всего кадра. Скорее всего ее нельзя будет использовать как плоское поле, но можно использовать для контроля многих параметров фотометра.

Гидирующий детектор и интегральный экспонометр

Планируется использовать 1 или 2 CMOS детектора КАС9630 формата 126×98 с пикселем 20 мкм. Чтобы увеличить его поле и согласовать размер пикселей с размером изображения необходима оптическая редукция в $2.5 \div 4$. Размеры в фокальной плоскости от 6.2×5 до 10×8 мм при угловом размере пикселя $0.5 \div 0.8''$ (на телескопе ЗТЭ).

Свет на детекторы отбирается из зон В и С (см. Рис. 5, слева) на уровне ~ 20 мм до фокальной плоскости, где рабочие зоны не перекрываются даже при относительном отверстии 1:8.

Эти же детекторы выполняют роль интегральных экспонометров, необходимых для получения оптимальных кадров плоского поля на рассвете или закате (когда яркость неба быстро меняется). По достижении предустановленного уровня, вырабатывает сигнал конца экспозиции.



Рис. 7: Общий вид фотометра с установленной ПЗС камерой VA1300.



Рис. 8: Вид фотометра сверху (со стороны ПЗС камеры).

Программное обеспечение

Так как для компьютера фотометр представляется как два независимых устройства:

- контроллер камеры VersArray1300В подключенный через специальную интерфейсную плату и работающий через соответствующий драйвер, и
- все остальные контроллеры двигателей, термостата, контрольного света и гидирующих детекторов, подключенные по линии RS485 и работающие через свой драйвер,

управляющая программа разрабатывается по двухядерной схеме, где каждое ядро занимается своей частью аппаратных ресурсов. Синхронизация их работы осуществляется на уровне общей оболочки.

Базовое программное обеспечение разработано Н.Шатским (см. <http://dragon/mass/docs.shtml>, Программное обеспечение для VA1300 фотометра).

Реализации системы UBVRT

Реализация системы UBVRT из работы Bessel, 1995, IAUS, 167..175

U: 1 mm UG1 + 5 mm CuSO₄ или 2 mm UG1 + 3 mm BG40

B: 1 mm GG385 + 2 mm BG1 + 2 mm BG39

V: 2 mm GG495 + 3 mm BG40



Рис. 9: Вид фотометра с противоположной стороны.

R: 3(2) mm OG570 + 2(3) mm KG3

I: 2 mm RG9 + fill glass GG385

И еще одна реализация

U: 1 mm UG1 + 1 mm BG29 + 3 mm кварц

B: 2 mm GG395 + 1 mm BG12 + 2 mm BG39

V: 3 mm GG495 + 3 mm BG39

R: 2 mm OG570 + 3 mm KG3

I: 3 mm RG9 + 2 mm WG305