

### Литература

1. Mourou G.A., Fisch N.J., Malkin V.M., Toroker Z., Khazanov E.A., Sergeev A.M., Tajima T., Le Garrec B. Exawatt-Zettawatt pulse generation and applications. *Optics Communications*, 2012, vol. 285, pp. 720–724. DOI: 10.1016/j.optcom.2011.10.089.
2. Obronov I.V. et al. Solid-state Yb: YAG amplifier pumped by a single-mode laser at 920 nm. *Quantum Electronics*, 2018, 48 (3): 212, pp. 212–214. DOI: 10.1070/QEL16605.
3. Motes A. Laser beam combining. Rio-Rancho: AM Photonics, 2015, 132 p.
4. Brignon A. Coherent laser beam combining. Weinheim: Wiley-VCH, 2013, 509 p.
5. Alekseev V.A., Perminov A.S., and Yuran S.I. Increasing the peak power of a pulsed laser source using optical delay lines. *J. Opt. Technol.*, 2018, vol. 85, iss. 12, pp. 746–751. DOI: 10.1364/JOT.85.000746.
6. Алексеев В.А., Зарипов М.Р., Перминов А.С., Ситникова Е.А., Усольцев В.П., Юран С.И. Повышение пиковой мощности импульсного источника лазерного излучения с применением кольцевой волоконной линии задержки. Приборы и методы измерений. – 2019. – Т. 10, № 2. – С. 151–159. DOI: 10.21122/2220-9506-2019-10-2-151-159.

УДК 681.7

## ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МАТРИЧНЫХ МОДУЛЕЙ КОРОТКОВОЛНОВОГО ИК-ДИАПАЗОНА ИНОСТРАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Киль И.А., Шилин А.А., Погорелов М.Г.

*Тульский государственный университет  
Тула, Российская Федерация*

В статье проведён обзор современных иностранных матричных приёмников излучения коротковолнового ИК-диапазона и их характеристик, определены преимущества коротковолнового ИК-диапазона для его применения в составе ОЭС.

*Ключевые слова:* опτικο-электронные системы, матричный приёмник излучения, коротковолновый ИК-диапазон.

Перспективным направлением развития опτικο-электронных систем (ОЭС) является включение в их состав приборов на базе матричных модулей коротковолнового инфракрасного диапазона длин волн (1–2,5 мкм). Работа в коротковолновом ИК-диапазоне возможна из-за следующих факторов.

1. Свечения ночного неба, вызванного различными процессами в верхних слоях атмосферы, в частности, люминесценцией компонентов воздуха под действием космических лучей, метеоритов, атмосферных электрических разрядов и естественной радиации, а также хемилюминесценцией, связанной в основном с реакциями, идущими между атомами кислорода, водорода, натрия, углекислого газа, озона, воды, окислов азота и гидроксильными радикалами [1].

2. Свечения сильно нагретых тел (несколько сотен градусов), согласно закону Планка.

Это позволяет ОЭС на базе матричных модулей коротковолнового инфракрасного диапазона длин волн работать круглосуточно, а меньшая длина волны увеличивает их дифракционный предел разрешения (по сравнению с средне- и длинноволновыми ИК-диапазонами). Однако, как показал анализ иностранных серийно выпускаемых матричных модулей коротковолнового диапазона (таблицы 1–3), существующий размер пикселя в 10–15 раз превосходит рабочую длину

волны. Это не позволяет полностью использовать все преимущества данного диапазона и создать круглосуточную ОЭС с разрешением телевизионных систем.

Кроме того, свечение ночного неба обладает невысокой энергетикой, и для работы ОЭС в тёмное время суток требуется применение светосильной оптики, что значительно увеличивает массогабаритные параметры прибора и сложность, а, следовательно, и стоимость, объектива.

Однако, следующие преимущества коротковолнового ИК-диапазона дают обоснование на его применение в составе ОЭС:

- возможность наблюдения в условиях пониженной видимости – пыли, тумана, дыма, дождя;
- возможность обнаруживать лазерные сигналы для задач целеуказания объектов и измерения дальности до них;
- возможность наблюдения фоно-целевой обстановки в тёмное время суток;
- уменьшение влияния солнечных бликов от водных поверхностей;
- повышение помехозащищённости работы ОЭС – в качестве дополнительного информационного канала.

В состав современных матричных модулей коротковолнового инфракрасного диапазона длин волн обычно входят:

- матрица фоточувствительных элементов, которая преобразует принятое излучение фоно-целевой обстановки в электрические сигналы,
- мультиплексор, который считывает электрические сигналы с матрицы с требуемой частотой и производит их первичную обработку,
- электронные платы, обеспечивающие обработку сигналов с мультиплексора, которые реализуют алгоритмы улучшения изображения и формируют видеосигнал, поступающий в аппа-

ратуру управления объекта, а также принимают и обрабатывают команды, приходящие от аппаратуры объекта.

В функционал таких модулей уже заложено большинство требований, предъявляемых к оптико-электронному прибору в целом, среди которых особо стоит отметить:

– функционирование в реальном масштабе времени;

– автоматическая коррекция неоднородности изображений, вызванной геометрическим шумом матрицы фоточувствительных элементов и нелинейностью их передаточной функции;

– замещение дефектных элементов матрицы фоточувствительных элементов;

– изменение увеличения, масштаба и формата изображения;

– повышение качества изображения путем увеличения его резкости и «подчеркивания» границ изображений отдельных объектов сцены;

– автоматическая регулировка контраста и яркости как в изображении всей сцены, так и в локальных ее частях;

– стабилизация изображения (поля наблюдения);

– устранение дискретности изображения при помощи алгоритмов интерполяции;

– подавление нежелательных мощных сигналов, например, орудийных вспышек;

– выдача управляющих команд для автофокусировки;

– отображение требуемых данных и символов – текущего времени, прицельных сеток, и т. д.

Таблица 1 – Характеристики МПИ иностранного производства для диапазона 0,9–2,5 мкм, часть 1

Наименование МПИ, производитель	Формат МПИ, пкс (размер пикселя, мкм)	Спектральный диапазон (материал)
FPA-640x512, ANDANTA	640×512, 25	0,9–1,7 InGaAs
Cardinal 640, SCD	640×512, 15	0,6–1,7 InGaAs
ISC1202 SWIR, FLIR	640×512, 15	0,9–1,7 InGaAs
ISC1202 Vis-SWIR, FLIR	640×512, 15	0,6–1,7 VisGaAs
Owl 640 S, Raptor photoics	640×512, 15	0,9–1,7 InGaAs
Snake SW, Lynred	640×512, 15	0,9–1,7 InGaAs
SWIR Imager, SCD	640×512, 15	0,6–1,7 InGaAs
WiDy NaNo 640V-S, Pembroke instruments	640×512, 15	0,9–1,7 InGaAs
XSW 640 CL, Xenics	640×512, 20	0,9–1,7 InGaAs
SW640, Ghopto	640×512, 15	0,9–1,7 InGaAs
1280JSX, Sensors Unlimited	1 280×1 024 12,5	0,5–1,7 VisGaAs

Таблица 2 – Характеристики МПИ иностранного производства для диапазона 0,9–2,5 мкм, часть 2

Наименование МПИ, производитель	Частота смены кадра, Гц	Напряжение питания, В	Квантовая эффективность, %
FPA-640x512, ANDANTA	–	–	70
Cardinal 640, SCD	60	–	80
ISC1202 SWIR, FLIR	240	4,9–5,5	65
ISC1202 Vis-SWIR, FLIR	240	4,9–5,5	80
Owl 640 S, Raptor photoics	–	12	80
Snake SW, Lynred	100–300	3,6	70
SWIR Imager, SCD	30	5	70
WiDy NaNo 640V-S, Pembroke instruments	–	4–6	–
XSW 640 CL, Xenics	–	2,8	80
SW640, Ghopto	60–240	–	70
1280JSX, Sensors Unlimited	60	8–16	–

Таблица 3 – Характеристики МПИ иностранного производства для диапазона 0,9–2,5 мкм, часть 3

Наименование МПИ, производитель	Диапазон рабочих температур, °С	Габаритные размеры, мм
FPA-640×512, ANDANTA	–	–
Cardinal 640, SCD	–40–+71	–
ISC1202 SWIR, FLIR	–	27,8×25,4×9,42
ISC1202 Vis-SWIR, FLIR	–	27,8×25,4×9,42
Owl 640 S, Raptor photoics	0–+60	–
Snake SW, Lynred	–40–+71	42×30×9
SWIR Imager, SCD	–40–+71	31×31×32
WiDy NaNo 640V-S, Pembroke instruments	0–+65	25×25×29
XSW 640 CL, Xenics	–45–+85	45×45×56
SW640, Ghopto	–40–+71	36×25,4×7,2
1280JSX, Sensors Unlimited	–40–+71	50,8×50,8×61,7

### Литература

1. Якушенок Ю.Г. Современные проблемы инфракрасной техники / В.В. Тарасов, Ю.Г. Якушенок. – М.: Изд. МИИГА и К, 2011. – 84 с.