

# ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Неохлаждаемые тепловые приемники хотя и уступают фотонным и квантовым по своим предельным параметрам, обладают целым рядом характеристик, которые делают их незаменимыми в обширной области применений. Это, в частности, относится к задачам наблюдения и распознавания объектов на небольших расстояниях (до 2500 м), ИК-микроскопии, медицинской и промышленной диагностике и т.п. Главное преимущество тепловизионных систем на многоэлементных тепловых приемниках (UFPA) перед системами с фотонными и квантовыми приборами в том, что для их работы не требуется охлаждение до криогенных температур. В НИИ "Платан" впервые в мировой практике получено ИК-изображение в диапазоне длин волн 8–14 мкм на катодолуминесцентном экране ЭОП с пироэлектрической мишенью и разработан прибор нового класса – пироэлектрический ЭОП.

В основе работы тепловых детекторов лежит зависимость свойств материала от изменения температуры приемника под действием падающего излучения. Основными материалами для приемников UFPA, обладающими наилучшими комплексными характеристиками, на сегодняшний день являются пироэлектрические материалы, в которых изменение температуры определяется по изменению поляризации или диэлектрической проницаемости детекторного конденсаторного элемента (сегнетоэлектрические цирконаты свинца, ниобаты и титанаты бария-стронция, сополимеры винилиденфторида (PVDF), циклические органические пироэлектрики на основе аминодифенила), а также материалы для микроболлометров с большим значением температурного коэффициента сопротивления (ТКС), такие как аморфный кремний (a-Si) и различные модификации оксидов ванадия ( $VO_x$ ).

Сопоставление технических характеристик тепловых детекторов (табл.1) [1] и микроболлометров (табл.2) показывает, что гибридные

Таблица 1. Типичные характеристики тепловых детекторов

Размер пикселя, мкм <sup>2</sup>	Материал датчика	Физический эффект	Чувствительность, В/Вт	Обнаружит. способность, смГц <sup>1/2</sup> /Вт
250x250	n+polySi/Al	Термоэлектрический	11	$1,56 \cdot 10^7$
600x600	n+polySi/Al	Термоэлектрический	40–>100	$0,7 \cdot 10^8 \rightarrow >1 \cdot 10^8$
50x50	nSi	Болометрический	4000	$1,2 \cdot 10^9$
120x120	Металлическая пленка	Болометрический	30	$1 \cdot 10^8$
75x75	PVDF	Пироэлектрический	6600	$1,6 \cdot 10^7$
80x80	PST (танталат-свинцаскандия)	Пироэлектрический	2520–>4490	$3,06 \cdot 10^7 \rightarrow 1,58 \cdot 10^8$
1000x1000	Органический пироэлектрик ОП 558Б (МГ 32)	Пироэлектрический	120	$2 \cdot 10^8$

А.Муртазин, И.Олихов,  
Д.Соколов

пироэлектрические приемники на основе сегнетоэлектрической керамики и органического пироэлектрика составляют реальную конкуренцию болометрам на  $VO_x$  и Si [2, 3].

Кроме того, при близких параметрах систем визуализации стоимость пироэлектрических матриц значительно ниже болометров (соотношение примерно 4000:20 000 долл.).

Сравнительный анализ разработок ИК-систем на микроболлометрах и пироэлектрических матрицах показывает, что устройства на основе пироэлектрических матриц обладают лучшими характеристиками. Причины этого заключаются в следующем.

- Пироэлектрические приемники – истинно пассивные устройства. Согласно природе пироэлектрического эффекта для регистрации сигнала от приемника к нему не требуется прикладывать электрическое напряжение. В результате отсутствует составляющая шума сигнала  $1/f$ , органически присущая микроболлометрам. Таким образом, теоретический предел NETD пироэлектрических приемников в несколько раз ниже, чем у микроболлометров.
- Технический уровень матричных пироприемников основан также на уникальной особенности пироприемников – большой постоянной времени их чувствительных элементов (ЧЭ) (до 1–10 с).
- Сигнал в пироэлектрических приемниках имеет дифференциальный характер. Поскольку пироприемники реагируют только на изменение температуры, требования к однородности по чувствительности отдельных элементов матрицы приемника снижаются в десятки раз. Благодаря этому уменьшается так называемый фиксированный пространственный, или геометрический, шум. Соответственно, при одинаковых значениях NETD, характеризующих только чувствительность пикселей матрицы, у системы на основе пироэлектриков наблюдается лучшее по сравнению с микроболлометрическими системами минимальное разрешение по разности температур на реальных объектах (табл.3).
- По той же причине пироэлектрические приемники не чувствительны к фоновому излучению, которое для комнатных температур в рабочем ИК-диапазоне очень велико. В отличие от микроболлометров на  $VO_x$  и Si, для пироэлектриков не требуется специальной обработки выходного сигнала для вычитания фона и дополнительной калибровки приемника для смещения его рабочей точки с целью поддержания приемлемого динамического диапазона.
- Существуют данные, показывающие, что материалы, относящиеся к классу пироэлектриков, сохраняют свои пироэлектрические свойства при воздействиях электромагнитных и радиационных излучений. Это обстоятельство может сыграть решающую роль при создании приборов для спецприменений.
- Наконец, из-за того, что пироэлектрический эффект зависит от поляризованности материала, пироприемники UFPA перспективны для создания нового поколения интеллектуальных сенсоров. Они могут стать основой приемников с перестраиваемой чувствитель-

ностью, выполняющих автоматическую коррекцию неоднородности чувствительности, адаптацию к условиям применения и аналоговую обработку сигналов.

Теоретический предел пороговой чувствительности ИК-приемного устройства определяется дробовым шумом потока фоновых фотонов, падающих на фоточувствительный элемент в пределах его апертурного угла [4], и определяется соотношением:

$$NETD_r = \frac{NETD_r^*(\lambda)}{b \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) \cdot \sqrt{\tau_i}}$$

где  $NETD_r^*(\lambda)$  – удельная величина, зависящая от спектрального диапазона чувствительности матрицы (для  $\lambda = 10\text{--}12$  мкм  $NETD_r^* \approx 10^{-7}$  К·см·с<sup>1/2</sup>),

$b$  – шаг матрицы,

$\beta$  – угол поля зрения матрицы,

$\tau_i$  – время накопления в элементе матрицы за один кадр.

Пользуясь этим соотношением, можно посчитать, что при  $b=15$  мкм,  $\beta=27^\circ$  (что соответствует объективу F/1) и  $\tau_i=1/30$  с теоретический предел эквивалентной шуму разности температур для микроболометров составляет 0,37 мК. Учет вышерассмотренных особенностей пироприемников (отсутствие дробового шума, уменьшение геометрического шума, большая постоянная времени накопления и др.) позволяет оценить их теоретический предел NETD, как минимум, на порядок лучше, чем у микроболометров (т.е. ~0,04 мК). Вклад собственных шумов диэлектрических потерь, присущих пирозлектрическим материалам, ухудшает это значение раза в 2–3 (т.е. до значения ~0,1 мК) [5].

**Таблица 2. Неохлаждаемые микроболометрические матрицы для спектрального диапазона 8–12 мкм**

Фирма, страна	Материал матрицы	Формат	Шаг, мкм	Основные параметры	Дополнительные сведения
Raytheon Infrared Operations, США	VO <sub>x</sub>	320×240	50	NETD (F/1; 10 мс; 30 Гц) = 20–35 мК	Производится более 1000 матриц в год (марки SB-151, SB-211)
	VO <sub>x</sub>	640×480 и 640×512	25	NETD (F/1; 30 Гц)=20 мК; Нор=98 %; P=400 мВт	Разработка (SB-246)
	VO <sub>x</sub>	1024×1024	15	NETD=50 мК	Разработка
Raytheon Commercial Infrared, США	a-Si	160×120 (7–14)	46,8	NETD (F/1; <21 мс; 20–60 Гц)=63 мК; Δ<10 %	С электронной термостабилизацией
	BST (титанат бария-стронция)	320×240	50	NETD (F/1; 30 Гц)=80 мК; f=6 МГц; F=30 Гц (тип.) до 90 Гц	С термоэлектрической стабилизацией температуры. Цифровое разрешение 14 бит
BAE Systems Information & Electronic Warfare Systems, США	VO <sub>x</sub>	320×240 (7,5–14)	46,25	NETD (F/0,8; 60 Гц)<30–75 мК	Серия SIM300, модуль SIM300H (99 г.). Потребление 2,1 Вт. Производится несколько тысяч матриц в год
	VO <sub>x</sub>	640×480 и 640×512	25	NETD (F/1; 30 Гц)=55 мК; Нор=99 %	Разработка
	VO <sub>x</sub>	1024×1024	15	NETD=50 мК	
DRS Technologies, США	VO <sub>x</sub>	320×240 (8–14)	51	NETD (F/1; 25 мс; 60 Гц)=23–100 мК; D>60 дБ; Na=1; f=5 МГц; Δ<10 %; Нор=98%	Матрица U3000. С термоэлектрической и электронной стабилизацией. Производство ведется
	VO <sub>x</sub>	640×480/512	25	NETD=50 мК	Разработка
	VO <sub>x</sub>	1024×1024	15	NETD=50 мК	
INO, Канада	VO <sub>x</sub> YBaCuO	160×120	–	NETD<50 мК	Изготовление тепловизионных модулей для тепловизора
Sofradir, Франция	a-Si	320×240	45	NETD (F/1; 4 мс; 25 Гц)<80 мК; f=5,5–10 МГц; Δ<10 %; Нор>99 %	Потребление 8,5 Вт. С электронной стабилизацией. Произведены сотни матриц
		320×240	35	NETD (F/1; 12 мс; 50 Гц)=35 мК	Начато производство
Mitsubishi Electric, Япония	YBa-CuO	320×240	40	NETD (F/1)=80 мК	Первые образцы
BAE Systems Infrared Ltd, Великобритания	PST	256×128	56	NETD (F/1; 50 Гц)=110 мК; Нор=99,9%; P< 150 мВт	Модуль Wizard с матрицей Merlin. АЦП 8 бит. Производство более 1000 матриц в год.
		384×288	40	NETD (F/1; 50 Гц)=60–140 мК (в будущем 20–30 мК)	Экспериментальные образцы матриц VLA для модульного тепловизора VLADIMIR (STAIRS B)
NEC, Япония	Пирозлектрик	320×240	37	NETD=34–67 мК	–

*Примечание.* NETD – эквивалентная шуму разность температур за время кадра, мК; MRTD – минимально разрешаемая наблюдателем разность температур; T – рабочая температура матрицы, К; F/number – относительный входной диаметр объектива; D – динамический диапазон выходного сигнала, дБ; Na – число аналоговых выходов; Нор – доля работающих каналов в матрице, %; Δ – неоднородность параметров элементов в матрице до коррекции, %; f – частота выходного сигнала, МГц; F – частота кадров, Гц; P – выделяемая матрицей мощность, мВт; D\* – обнаружительная способность, смГц<sup>1/2</sup>/Вт.

**Таблица 3. Реальные характеристики приемников UFPA в сравнении с реальными характеристиками сегнетоэлектрических и микроболометрических детекторов [5]**

Характеристики	BST	VO <sub>x</sub>
NETD, К	0,08–0,09	0,05–0,07
MRTD, К(расчет)	0,08–0,10	0,12–0,15
MRTD, К (эксперимент)	0,03–0,55	0,07–0,09

### ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ПОЭП

Широкому освоению выпуска UFPA на основе пирозлектриков препятствует комплекс проблем, возникающих при создании матричных интегральных тепловых приемников излучения. Это технологичность конструкции и совместимость технологии получения тепловых чувствительных детекторных матриц с базовыми технологиями микроэлектроники.

Решение этих проблем идет несколькими путями. Создание пирозлектрических болометров предполагает отработку технологических процессов изготовления многоэлементных пироприемников UFPA на основе сегнетоэлектрической керамики или материалов с низкими температурами формирования пирозлектрических пленок и последующей кристаллизации пирозлектриков в монолитной конструкции с мультиплексором. Интересные работы в данном направлении проводят такие фирмы как Raytheon Commercial Infrared, BAE Systems (Avionics Group), NEC. В России аналогичные разработки неизвестны.

Другим направлением создания ИК-приемников на пирозлектриках, в котором в России достигнуты заметные успехи, является разработка пировидиконов (пириконов), представляющих собой видикон

Таблица 4. Сравнительные параметры пировидиконов

Параметр	Р 8093 ЕЕV, Великобритания	ЛИ-492 ЦНИИ "Электрон", Россия	ЛИ -513 ЦНИИ "Электрон", Россия	ЛИ -514 ЦНИИ "Электрон", Россия	Пировидикон НИИ "Платан", Россия
Способ отклонения и фокусировки электронного луча	Электромагнитный и магнитный	Электромагнитный и магнитный	Электромагнитный и магнитный	Электромагнитный и магнитный	Электростатический и магнитный
Входное окно	Германий	Германий	Германий	Германий	Германий
Спектральный рабочий диапазон, мкм	8–14	8–14	8–14	8–14	8–12,5
Материал мишени	Монокристалл ДТГС	ДТГС	ДТГС	ДТГС	Органический пироэлектрик ОП 558Б
Тип мишени	Сплошная	Сплошная	Мозаичная, шаг 25 мкм	Мозаичная, шаг 25 мкм	Сплошная
Размер раstra, мм	18x24	18x24	18x24	18x24	18x24
Стандарт разложения	625 строк, кадр 40 мс	625 строк, кадр 40 мс	625 строк, кадр 40 мс	625 строк, кадр 40 мс	625 строк, кадр 40 мс
Механизм образования тока сигнала	Считывание пирозаряда	Считывание пирозаряда	Считывание пиронапряжения	Считывание пиронапряжения	Считывание пирозаряда
Чувствительность в режиме панорамирования, мкА/Вт	4	4	35	50	4
Чувствительность в режиме обтюрации, мкА/Вт	2,5	2,5	20	25	2,5
Эквивалентная шуму разность температур с объективом D/F=1/1, К	0,5	0,5	0,1	0,08	0,5
Разрешение, телевиз. линий (ТВЛ)/растр	270	300	350	350	300
Глубина модуляции на отметке 200 ТВЛ/растр, %	20	30	50	50	30
Виброустойчивость (ускорение, м/с <sup>2</sup> )	10	10	50	60	100

со сплошной или мелкоструктурной (мозаичной) мишенью из пироэлектрика (табл.4). Основная особенность пировидикона – отсутствие мультиплексора, роль которого выполняет считывающий электронный пучок. Пировидиконы относятся к электровакуумным фоточувствительным приборам ИК-диапазона (ИК ЭВФП).

Другим примером конструкции многоэлементного ИК-приемника служит пироэлектрический электронно-оптический преобразователь (ПЭОП) [6]. Этот прибор может быть отнесен к новому классу приборов преобразования излучения диапазона 8–14 мкм в излучение видимого диапазона. Действие ПЭОП основано на нетрадиционном для этого вида фоточувствительных приборов физическом принципе преобразования ИК-изображения в видимое – путем его попиксельной дискретизации и модуляции однородного потока электронов матричным пироэлектрическим тепловым приемником излучения.

Воздействие ИК-излучения на чувствительный элемент индуцирует в нем электрический заряд, пропорциональный потоку падающего излучения. Электрическое поле наведенного заряда модулирует поток электронов, проходящих через отверстия в ЧЭ. Для обеспечения функционирования ПЭОП в нем перед матрицей ЧЭ должен быть каким-либо способом создан моноэнергетический поток электронов. В остальном ПЭОП не отличается от традиционных ЭОП. Таким образом, ПЭОП представляет собой объединение в одном приборе пироприемника и электронно-оптического преобразователя, в котором ИК-изображение преобразуется в видимое, отображаемое на катодолуминесцентном экране ЭОП.

В состав ПЭОП вместо обычного фотокатода матричного теплового приемника входит модулятор электронного потока, что позволяет создать тепловизионный прибор на основе теплового приемника, ми-

нуя операции мультиплексирования выходного сигнала и преобразования этого сигнала в изображение с помощью прибора отображения информации.

В табл.5 приведено сравнение основных параметров, достигнутых для существующих поколений ЭОП, и параметров потенциальных ЭОП – ПЭОП.

К достоинствам ПЭОП относится достаточно большой динамический диапазон (не менее 60 дБ) и приемлемое время накопления сигнала (соответствующее собственной постоянной времени прибора), которое не входит в противоречие с требованиями быстродействия. Принципиально, что ПЭОП – неохлаждаемый ИК-приемник с оптическим выходом. Аналоги прибора в РФ и за рубежом неизвестны.

ПЭОП не потребует сложных схем управления. Он должен иметь низкое энергопотребление, что позволит применять его в малогабаритных носимых приборах массового применения.

Следует ожидать, что стоимость тепловизионного приемника (ТВП) на основе ПЭОП при приемлемом температурном разрешении (NETD 0,05–0,1 К) будет самой низкой по сравнению с другими видами ТВП, включая матричные микроболометры и пироприемники с электрическим выходом. Вероятно, стоимость ПЭОП составит не более 45–50 тыс. руб.

Реализация предлагаемых технических решений позволит сочетать в одном приборе функциональные возможности ТВП и прибора ночного видения в простейшей конфигурации – ПЭОП+ИК-объектив без системы охлаждения, обеспечивая через окуляр наблюдение изображения непосредственно на экране ПЭОП.

**КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЭОП**

Схема ПЭОП, реализованная в НИИ "Платан" (рис.1), построена с учетом принципа работы, который описан в патенте [6].

При облучении фотокатода соответствующим источником подсветки создается пространственно однородный поток фотоэлектронов. Этот поток, проходя через отверстия пироэлектрической мишени, модулируется в соответствии с распределением потенциала на поверхности пироэлектрического слоя, которое возникает при проецировании на мишень регистрируемого теплового излучения. Далее модулированный поток электронов, как в обычном ЭОП, попадает на устройство регистрации электронного изображения (катодолуминесцентный экран), на котором визуально наблюдается распределение регистрируемого теплового излучения (тепловое поле объекта). Для удобства наблюдателя ПЭОП может дополнительно комплектоваться оптическим устройством переноса и усилительным ЭОП. На рис.2 приведена конструкция собранных макетных образцов.

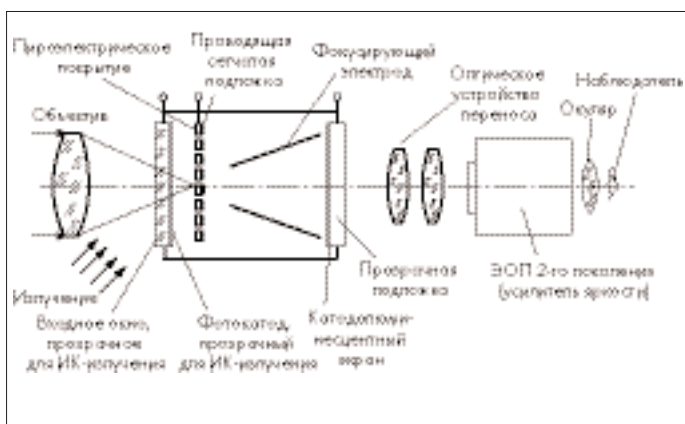


Рис. 1. Реализованная схема ПЭОП "на просвет"

**Таблица 5. Сравнение основных параметров ЭОП**

Параметр	Традиционные однокаскадные ЭОП				ПЭОП, подлежащий разработке
	1 поколение	2 поколение	2 <sup>+</sup> поколение	3 поколение	
	ЭПВ22Г	ЭП10	ЭПМ53Г	ЭПМ50Г	
Тип фотокатода (спектральная характеристика)	Мультищелочной (S-20)	Мультищелочной (S-25)	Мультищелочной (S-25)	GaAs	0,4–40-мкм – пироэлектрик (область спектральной чувствительности)
Чувствительность фотокатода с фильтром КС-17, мкА/лм	120	65–85	240	900	$D^* = 5 \cdot 10^8$ ; $D^* = 1,8 \cdot 10^{10}$ (для идеального приемника) $\Delta T^* = (0,05 - 0,1) \text{ К}$
Коэффициент преобразования, отн. ед.	150	30000	25000	25000	-25000–30000
Предел разрешения, штрих/мм	45(ц) 28(к)	36(ц) 22(к)	36(ц) 36(к)	32–36(ц) 32–36(к)	50 (для шага ЧЭ -20 мкм)
Яркость темного фона, кд/м <sup>2</sup>	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$
Диаметр рабочего поля фотокатода, мм	17	24	18	17,5	16–40 (рабочий диаметр мишени)

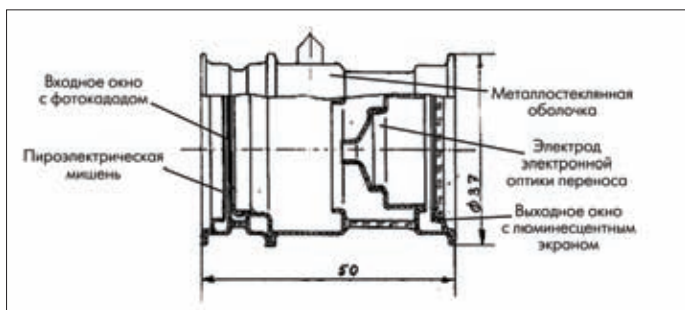
Примечание. ц – Центральная область поля зрения; к – краевая область поля зрения;  $\Delta T^*$  – минимально различимая разность температур.

Основными элементами ПЭОП, подлежащими конструкторской и технологической разработке, являются функциональные узлы: пироэлектрическая мишень, катод и входное окно. Катодолюминесцентный экран, оптика переноса электронного изображения и усилитель на микроканальной пластине целиком использовались из существующих ЭОП. Основным функциональным узлом ПЭОП, фактически превращающим ЭОП обычного диапазона в ЭОП диапазона 8–14 мкм, является пироэлектрическая мишень (рис.3)

Основная задача мишени – преобразование двумерного теплового изображения (8–14 мкм), спроецированного объективом на поверхность мишени, в электрический двумерный потенциальный рельеф. Мишень является и управляющим (модулирующим) электродом для проходящего сквозь нее равномерного электронного потока. При разработке конструкции такой мишени должно быть обеспечено одновременное решение двух задач: эффективное поглощение тепла и обеспечение максимальной глубины модуляции электронного потока, проходящего сквозь мишень.

Поставленная задача решалась следующим образом. Пироэлектрическая мишень (см. рис.3б) выполняется со сквозными отверстиями (1) для прохождения электронного потока. Пироэлектрический слой мишени (2) разделен сквозными отверстиями на отдельные дискретные элементы. Эффективное поглощение тепла обеспечивается металлическими поглощающими слоями (3, 5), нанесенными на несущую диэлектрическую пленку (4). Металлический электрод (3) одновременно выполняет функцию управляющего электрода. Поглощенное тепло преобразуется с помощью пироэлектрического слоя в электрический потенциальный рельеф на поверхности мишени, повторяющий картину распределения тепла по сечению падающего теплового потока. Эффективность теплового преобразования зависит от выбора материала пироэлектрика. Глубина модуляции проходящего сквозь мишень электронного потока определяется значением электрического потенциального рельефа и геометрией сетчатого электрода.

Несущая диэлектрическая пленка имеет толщину около 1 мкм. Поглощающий и управляющий электроды – из пленок никрома. Этот



**Рис. 2. Конструкция изготовленных образцов ПЭОП**

материал обеспечивает при низкой теплопроводности максимальный коэффициент поглощения падающего на мишень ИК-излучения. Толщина слоев 0,05–0,20 мкм. Пирозлектрический слой выполнен в виде пленки органического пирозлектрика [7].

Поскольку сквозные отверстия в поглощающем и управляющем электродах, а также в пирозлектрическом слое совпадают, то мишень можно представить как совокупность ЧЭ, размеры которых ограничиваются прорезами в подложке. Минимальные линейные размеры этих дискретных элементов (20–25 мкм), определяющие, в конечном счете, пространственное разрешение прибора, нецелесообразно выполнять менее  $2\lambda_{\text{ср}}$  ( $\lambda_{\text{ср}}$  — длина волны внутри рабочего спектрального диапазона 8–14 мкм).

Поликристаллические пленки органических полициклических соединений по величине пирокоэффициента уступают пирозлектрикам-монокристаллам, но малая величина  $\varepsilon$  и, следовательно, высокий фактор качества, а главное — возможность формировать тонкие слои на любой поверхности, поставили их в один ряд с лучшими монокристаллическими пирозлектриками и позволили создать на их основе пироприемники с высокими пирозлектрическими и эксплуатационными свойствами.

Пирозлектрические свойства формируются у пирозлектрика в процессе напыления, мишень не требует проведения режима поляризации (как это необходимо в случае с пировидиконом на ДТГС), что значительно снижает время готовности прибора. Используемый пирозлектрический материал сохраняет свои пирозлектрические свойства в течение 25 лет. Высокие эксплуатационные характеристики этого материала подтверждаются серийно выпускаемыми на его основе в течение длительного времени (с 1976 г.) пирозлектрическими приемниками МГ-30 и МГ-32 НПО "Восток" (Новосибирск) [8].

Один из основных элементов ПЭОП — источник электронного потока, который должен создавать пространственно-однородный поток электронов, используемый для преобразования пространственного распределения потенциалов на пирозлектрической мишени в видимое изображение на катодолуминесцентном экране. Источник электронов в принципе может выполняться не обязательно с помощью фотокаода, а может быть любого типа. Немаловажное требование, предъявляемое к источнику электронов, — способ

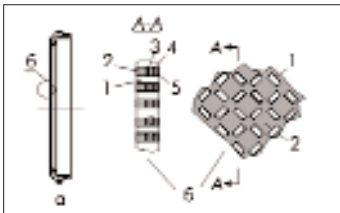
возбуждения электронного потока и состав активного вещества источника не должны влиять на работоспособность пирозлектрической мишени, в том числе и в процессе эксплуатации ПЭОП. Всем этим требованиям удовлетворяют несколько типов источников электронов: фотокаод как элемент, традиционный для ЭОП, и автоэмиссионный катод как элемент, который может быть использован в перспективе. Ввиду того, что в качестве материала фотокаода был выбран палладий, работающий в коротковолновой части УФ-спектра, в качестве входного окна для макетных образцов прибора использовались кристаллы фтористого магния, прозрачного в УФ-части спектра.

**О РЕЗУЛЬТАТАХ ПРОДЕЛАННОЙ РАБОТЫ**

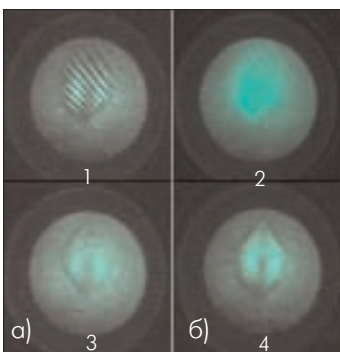
- Впервые в мировой практике получено ИК-изображение на катодолуминесцентном экране ЭОП с пирозлектрической мишенью, что практически доказывает возможность создания ПЭОП как нового класса приборов преобразования излучения диапазона 8–14 мкм в видимое;
- на экспериментальных образцах зарегистрирована чувствительность по температуре (МРТ) в 1К и разрешающая способность в 2,5 линии/мм (рис. 4).

Таким образом, хотя сам факт создания экспериментальных образцов ПЭОП подтвердил правильность заложенных принципиальных технических решений, достигнутые значения пространственного разрешения и температурной чувствительности еще очень далеки от ожидаемых.

Дальнейшая отработка конструктивных вариантов ПЭОП с целью оптимизации электронных процессов считывания и формирования изображения на катодолуминесцентном экране, а также оптимизация технологических процессов изготовления функциональных узлов и прибора в целом позволят в ближайшее время достичь чувствительности микролометрических приемников 0,05–0,1 К и разрешения 12–15 линий/мм и реализовать ожидаемые преимущества



**Рис.3. Пирозлектрическая мишень**



**Рис.4. Изображения тепловых мир на экране усилительного ЭОП: а — при открытом затворе (негатив); б — при закрытом затворе (позитив); 1, 2 — разрешение 1 линия/мм; 3, 4 — разрешение 2 линии/мм**

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Рекламные проспекты зарубежных фирм за 1997–2003 гг. Обзор ВИМИ.
2. Филачев А.М., Пономаренко В.П., Таубкин И.И., Ушакова М.Б. Инфракрасные матрицы и тенденции их развития.—Труды XVIII международной конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения.—М., 2004.
3. Певцов Е.Ф. Матричные ИК приемники и портативные системы визуализации инфракрасного излучения. Труды XVIII международной конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения. М., 2004.
4. Kummer S. The eye of the law.—SPIE's OE Magazine, October, 2003, 22–25.
5. Paul Muralt. Micromachined infrared detectors based on pyroelectric thin films. Report on Progress in Physics V.64, 2001, pp.1339–1388. (Ceramic Laboratory, Materials and Science Department, Swiss Federal Institute of Technology EPFL, Lausanne, Switzerland).
6. Патент РФ № 2160479, приор. 23.06.1998 г. "Пирозлектрический электронно-оптический преобразователь (варианты)."/Гончаренко Б.Г., Брюхневич Г.И., Олихов И.М.
7. Дорожкин Л.М., Лазарев В.В., Плешков Г.М. и др. Тонкопленочный пирозлектрический приемник на основе органических соединений для измерения параметров импульсного лазерного излучения.—Квантовая электроника, 1983, 10, 6, 1107–1113.
8. Рекламный лист фирмы "Восток", 2001.