

УДК 621.382.002

Высокие технологии изготовления систем ночного видения с ЭОП. Состояние и итоги 2003 г.

В. И. Локтионов

ОАО "Катод", г. Новосибирск, Россия

Рассмотрены состояние и технологии систем ночного видения с электронно-оптическими преобразователями (ЭОП), разработанных ОАО "Катод". Усовершенствование технологий ЭОП, достигнутое ОАО "Катод", условно можно разделить на три направления: беспленочные ЭОП, ЭОП с диаметром фотокатода 25 мм и безореольные ЭОП с автоматическим стробированием. Показаны преимущества систем ночного видения, достигнутые при использовании новых технологий ОАО "Катод".

Технология беспленочных ЭОП

Таблица 1

Технология изготовления беспленочных ЭОП полностью базируется на технологии изготовления ЭОП 3-го поколения. Для обеспечения необходимой долговечности ЭОП 3-го поколения на входную поверхность микроканальной пластины (МКП) наносят ионно-барьерную пленку (ИБП), представляющую собой окись алюминия или кремния (Al_2O_3 и SiO_2). Такая пленка, нанесенная на входную поверхность МКП, предотвращает выход положительных ионов из ее каналов, что исключает бомбардировку активного слоя фотокатода, обеспечивая тем самым необходимый срок службы.

Хотя в последние годы достигнут значительный прогресс в повышении чувствительности и квантовой эффективности GaAs фотокатодов, но к сожалению их потенциал не реализован ни в ЭОП, ни в системах ночного видения, и главное препятствие этому — наличие в ЭОП ионно-барьерной пленки, которая значительно снижает чувствительность фотокатода, отношение сигнал/шум, разрешение, частотно-контрастную характеристику и ореольность. Это объясняется в первую очередь поглощением и рассеиванием первичных электронов в толщине ИБП. Кроме того, при бомбардировке ИБП первичные электроны вызывают вторичную электронную эмиссию как с лицевой, так и с обратной ее стороны, что также ухудшает характеристики ЭОП. Наличие ИБП требует подачи на промежуток фотокатод—вход МКП повышенного напряжения. Типичное значение величины этого напряжения составляет 800 В. При таком значении напряжения величина входного зазора составляет ориентировочно 0,15 мм, что приводит к большой ореольности, ухудшению разрешения и ЧКХ.

ОАО "Катод" проведено усовершенствование базового ЭОП 3-го поколения, изготовленного с использованием беспленочной МКП. Входной промежуток был выбран равным 0,05 мм, выходной промежуток установлен без изменения. Основные характеристики усовершенствованного ЭОП и базового приведены в табл. 1.

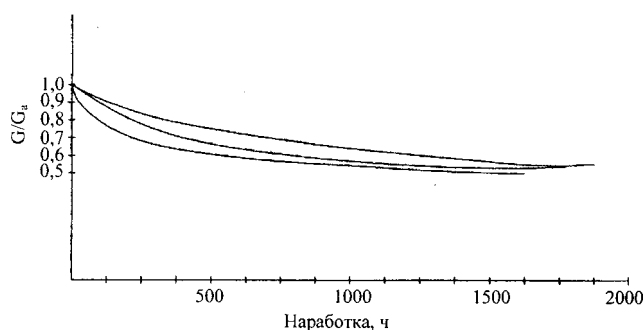
Параметры	ЭОП	
	усовершенствованный (беспленочный)	базовый
Отношение сигнал/шум	110	73
Разрешение, штр./мм	72	64
Ореол, мм	0,30	0,85
Чувствительность, мкА/лм	2000	1800 (600)*

* В скобках указана реальная величина чувствительности.

Как видно из табл. 1, отношение сигнал/шум улучшено в 1,5 раза, разрешение — в 1,2 раза, ореольность — в 2,8 раза. Что касается чувствительности, то, по нашим измерениям, ИБП

толщиной 80 Å уменьшает количество первичных электронов ориентировочно в три раза, т. е. при измеренной чувствительности 1800 мкА/лм реальная чувствительность составляет ориентировочно 600 мкА/лм. Эти данные хорошо совпадают с результатами работы [1], где указаны величины 1800 и 650 мкА/лм.

Таким образом, реальная чувствительность беспленочного ЭОП улучшается ориентировочно в три раза. Наибольший интерес представляют результаты испытаний беспленочных ЭОП на долговечность, которые представлены на рисунке.



Результаты испытаний беспленочных ЭОП на срок службы

Результаты испытаний показали, что половинное падение чувствительности наблюдается при 1500—2000 ч наработки. Анализ кривых свидетельствует о стабильности характеристик, т. е. о технологических процессах температурного и электронного обезгаживания узлов ЭОП в сверхвысоковакуумной установке (СВВУ) и стабильности характеристик фотокатодов, изготовленных в сверхвысоковакуумных камерах. ОАО "Катод" использует СВВУ, где загрузка корпусов ЭОП и фотокатодных узлов производится в шлюзовые камеры, а термическое и электронное обезгаживание осуществляется в отдельных камерах, постоянно находящихся под высоким вакуумом (10^{-8} — 10^{-9} Па). Судя по результатам испытания беспленочных ЭОП на срок службы, технология, используемая ОАО "Катод", обеспечивает глубокую очистку и обезгаживание узлов ЭОП, в том числе МКП. Обработку корпусных узлов ЭОП и фотокатодных узлов производят во всех сверхвысоковакуумных камерах одновременно последовательно-групповым методом (10 шт. одновременно) с индивидуальной заключительной стадией, обеспечивая при этом изготовление 10 ЭОП в сутки [2].

Основной причиной ограничения срока службы беспленочных ЭОП является ионная бомбардировка фотокатода из каналов МКП. Для увеличения срока службы беспленочных ЭОП ОАО "Катод" проведена доработка технологии термического и электронного обезгаживания МКП и корпусов ЭОП. В соответствии с доработанной технологией изготовлены образцы беспленочных ЭОП, которые обеспечили срок службы более 5000 ч. Образцы беспленочных ЭОП были установлены в очки ночного видения (ОНВ) 3-1^х. Установлено, что дальность обнаружения приборов возросла в 1,5 раза, улучшились контрастные характеристики, что сокращает время обнаружения цели и делает наблюдение более комфортным.

Технология 25-мм ЭОП

Использование 25-мм ЭОП в системах ночного видения позволяет существенно улучшить их характеристики. Например, в ОНВ можно

увеличить угол поля зрения с 40 до 60° при использовании объектива со стандартным фокусным расстоянием, равным 25 мм. Преследуя цели увеличения дальности обнаружения, можно использовать объектив с увеличенным до 40 мм фокусным расстоянием. В этом случае дальность возрастет приблизительно в 1,5 раза при сохранении угла поля зрения в 40°. В системах ночного видения с использованием длиннофокусных объективов, таких как прицелы, бинокли и т. д., можно при сохранении угла поля зрения увеличить кратность в 1,5 раза, т. е., например, вместо 4^х можно получить при том же поле зрения 6^х, что существенно увеличивает дальность ПНВ. Не изменяя кратности, можно увеличить угол поля зрения в 1,5 раза, что существенно сократит время обнаружения цели, т. е. преимущества использования 25-мм ЭОП в системах ночного видения очевидны. Однако с увеличением диаметра фотокатода при традиционном подходе увеличиваются габаритные размеры и масса ЭОП, что накладывает ограничение на его использование в ПНВ, закрепляемых на голове оператора, т. е. таких как ОНВ, монокуляры и им подобные, а именно такие приборы составляют более половины рынка ночного видения.

Увеличение рабочего диаметра ЭОП ведет к увеличению поверхности, подвергаемой обработке в СВВУ. Площадь МКП, используемой в 25-мм ЭОП, увеличивается почти в два раза по сравнению с МКП, используемой в 18-мм ЭОП. За счет большого количества каналов площадь МКП для 18-мм ЭОП достигает 0,5 м², а это значит, что площадь МКП для 25-мм ЭОП равняется примерно 1 м². Это увеличение площади потребовало коррекции режимов термического и электронного обезгаживания.

По идеологии, принятой в ОАО "Катод", усовершенствования, достигнутые на каком-либо типе прибора, распространяются на всю номенклатуру, производимую предприятием. Основные экспериментальные работы по созданию 25-мм ЭОП выполнялись на ЭОП супер 2⁺-го поколения. Созданная технология далее была распространена на ЭОП 3-го поколения и беспленочные. Основные технические характеристики серии разработанных 25-мм ЭОП приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры	25-мм ЭОП супер 2 ⁺ -го поколения	25-мм ЭОП 3-го поколения	25-мм беспленочный ЭОП
Чувствительность, мкА/лм	800	1800 (600)*	2000
Разрешение, штр./мм	72	64	72
Отношение сигнал/шум	70	73	110
Ореол, мм	0,3	0,85	0,3
Габаритные размеры, мм:			
диаметр	43	43	43
высота	31	31	31
Масса, г	65	65	65

* В скобках указана величина реальной чувствительности.

На базе созданных 25-мм ЭОП ОАО "Катод" разработано два типа ОНВ: широкоугольные ОНВ с углом поля зрения 60° и объективом с фокусным расстоянием, равным 25 мм, а также длиннофокусные с углом поля зрения 40° и объективом с фокусным расстоянием 40 мм. Для обеих конструкций ОНВ использован корпус от серийно выпускаемых ОНВ на 18-мм ЭОП [3]. Использование серийного корпуса позволяет значительно сократить время разработки и снизить ее стоимость. Это обусловлено тем, что корпус любой системы ночного видения содержит практически все вспомогательные элементы, такие как подсветка, включение питания и подсветки, электронную схему управления ПНВ, отсек для батарей питания, систему выверок, систему крепления на маску или оружие и т. д.

Таким образом, при использовании 25-мм ЭОП в габаритных размерах 18-мм ЭОП можно существенным образом улучшить характеристики практически любой системы ночного видения, использующей 18-мм ЭОП в короткие сроки при минимальных затратах.

По оценке ОАО "Катод", сроки и затраты сокращаются в три-четыре раза. Для новых типов ОНВ разработаны принципиальные оптические схемы, изготовлены окуляры, объективы и обрабатывающие системы. Технические характеристики широкоугольных и длиннофокусных ОНВ с использованием 25-мм ЭОП супер 2⁺-го поколения и бесплочного ЭОП приведены в табл. 3.

имеют динамичный характер, т. е. меняют свои местоположение и интенсивность, что реально соответствует проведению боевых действий, особенно в городских условиях, при этом существенно уменьшается вероятность обнаружения объектов и увеличивается время их обнаружения.

Физическая основа ореольности заключается в рассеянии и упругом отражении электронов, испускаемых фотокатодом, от входной поверхности МКП, а также в образовании вторичных электронов при соударениях. Естественно, чем больше "прозрачность" МКП, т. е. отношение площади отверстий к общей площади МКП, тем больше количество электронов попадает в каналы и участвует в усилении сигнала и меньшее количество электронов попадает в участки между каналами. Некоторые из этих электронов, попавших в участки между каналами, рассеиваются, вызывают вторичные электроны и отражаются, именно эти электроны и образуют ореольность. Величина ореольности, т. е. размер ореола, определяется величиной входного промежутка между фотокатодом и входной поверхностью МКП, и чем больше этот промежуток, тем больше величина ореольности. Отраженные и вторичные электроны выходят с поверхности МКП в сторону фотокатода под разными углами и с разными скоростями и далее под действием электрического поля входного промежутка возвращаются к МКП. Попадая в каналы, они вы-

Таблица 3

Параметры	Широкоугольные ОНВ		Длиннофокусные ОНВ	
	с ЭОП супер 2 ⁺ -го поколения	с бесплочным ЭОП	с ЭОП супер 2 ⁺ -го поколения	с бесплочным ЭОП
Кратность, крат	1		1	
Угловое поле зрения, град	60		40	
Дальность, м	200	300	300	450
Фокусное расстояние объектива, мм	25		40	
Диапазон фокусировки объектива, м	0,25—∞		0,25—∞	
Диоптрийная подвижка окуляров, дптр	+5÷-6		+5÷-6	
Диаметр выходного зрачка, мм	10		14	
Вынос выходного зрачка, мм	15		15	
База, мм	58—72		57—73	
Напряжение питания, В (два элемента АА)	3		3	
Время непрерывной работы, ч (без ИК)	100		100	
Габаритные размеры, мм	145×125×60		150×125×60	
Масса, г	470		480	

Технология безореольных ЭОП с автоматическим стробированием

При работе систем ночного видения в условиях интенсивных засветок существенно ухудшаются условия распознавания и обнаружения объектов, особенно удаленных, которые отображаются на рабочем поле в небольших размерах. Ситуация еще более усугубляется, когда засветки

вызывают процесс усиления. В зависимости от величины входного промежутка, угла выхода и начальной скорости эти электроны могут попасть в каналы МКП, находящиеся на значительном расстоянии от места первого соударения с МКП, что и определяет величину ореола.

Таким образом, интенсивность ореола зависит от "прозрачности" МКП, а размер — от величины входного промежутка и состояния по-

верхности МКП между каналами или от состава и состояния ИБП в случае ЭОП 3-го поколения. Величина входного промежутка определяется допустимой напряженностью электрического поля в нем и обычно составляет 4–8 кВ/мм. В случае использования ИБП на входной промежутке подается повышенное напряжение для того, чтобы электроны могли пройти сквозь ИБП. Величина этого напряжения составляет 800 В, а величина входного промежутка 0,1–0,2 мм. Для ЭОП супер 2⁺-го поколения и беспленочных напряжение на входном промежутке составляет 200 В, а величина входного промежутка — 0,025–0,05 мм. Понятно, что ореольность у ЭОП супер 2⁺-го поколения и беспленочных ЭОП будет намного меньше ореольности у ЭОП 3-го поколения. Здесь необходимо отметить, что уменьшение входного промежутка, кроме уменьшения ореольности, позволяет повысить разрешающую способность. С другой стороны, повышение напряженности электрического поля во входном промежутке приводит к увеличению автоэмиссионных явлений, поэтому величина этого промежутка устанавливается из разумного компромисса между улучшением технических характеристик и уровнем автоэмиссионного брака. Есть еще одна причина для ограничения минимального значения величины входного промежутка. Например, при использовании ЭОП в системах ночного видения, работающих в условиях повышенных механических нагрузок, наиболее типичной причиной являются прицелы; причиной, ограничивающей минимальную величину входного промежутка, является прогибание МКП под воздействием механических сил, возникающих при стрельбе. Для ЭОП супер 2⁺-го поколения и беспленочных ЭОП величину входного зазора приходится устанавливать большей величины.

Другим важным направлением по использованию систем ночного видения в условиях сильных световых помех является использование автоматического стробирования, заключающегося в подаче на фотокатод импульсного напряжения, скважность которого автоматически меняется в зависимости от освещенности фотокатода. Для устранения мерцания экрана длительность кадрового импульса была выбрана равной $2 \cdot 10^{-2}$ с, т. е. 50 Гц. Для обеспечения работоспособности ЭОП в диапазоне освещенностей от $1 \cdot 10^{-4}$ до 190 лк скважность должна меняться от 1,05 до $2 \cdot 10^6$, т. е. длительность рабочего импульса должна меняться от $1,9 \cdot 10^{-2}$ до $1 \cdot 10^{-8}$ с. При этом количество фотоэлектронов будет постоянным во всем диапазоне освещенностей и соответствовать количеству фотоэлектронов, выходящих из фотокатода при освещенности, равной $1 \cdot 10^{-4}$ лк.

Таким образом, за счет автоматического изменения скважности импульсного напряжения ограничено число фотоэлектронов, выходящих из фотокатода при ярких засветках. С одной стороны, это обеспечивает увеличение долговечности ЭОП, а с другой стороны — уменьшает выход фотоэлектронов от ярких источников света, т. е. происходит перераспределение яркости наблюдаемой сцены, и на экране ЭОП оператор видит сцену с меньшими перепадами яркости и лучшим разрешением ярких источников. На практике это выглядит так: яркие источники меньше маскируют другие менее яркие объекты, и они становятся видны на фоне ярких источников. Использование импульсных автоматизированных источников питания обеспечивает два существенных преимущества: увеличивает срок службы ЭОП в два-три раза и обеспечивает лучшие условия видимости при наличии ярких световых помех.

Импульсные автоматизированные источники созданы ОАО "Катод" нескольких типов: для ЭОП супер 2⁺-го поколения и беспленочных ЭОП с амплитудой импульсного напряжения –200 В, +40 В; для ЭОП 3-го поколения — с амплитудой –800 В, +40 В. Импульсные источники созданы для всех типов ЭОП, выпускаемых ОАО "Катод", с габаритными размерами $\varnothing 36,7 \times 31$; $\varnothing 43 \times 21,5$; $\varnothing 43 \times 31$.

В импульсных источниках питания сохранена схема автоматической регулировки яркости (АРЯ), но с измененной идеологией. Величина яркости экрана для получения заданного коэффициента преобразования устанавливается равной 3 кд/м², при превышении этой величины увеличивается скважность импульсного напряжения, и когда скважность достигает максимального значения, обеспечиваемого схемой, начинает снижаться напряжение на МКП. При таком принципе работы электронной схемы разрешающая способность при сильных засветках не падает и, следовательно, обеспечивается высокое качество изображения в широком диапазоне освещенностей. Электронная схема импульсного автоматизированного источника выполнена методом поверхностного монтажа на ЧИП элементах стандарта 0805 и 0603, что позволило минимизировать размеры источника питания и обеспечить стандартные размеры ЭОП.

Литература

1. Бош Л.// Качество работы ЭОП, что это такое//Delft Electronic Products.
2. Материалы Харьковской научной ассамблеи, посвященной 75-летию Национального научного центра "Харьковский физико-технический институт". 21–26 апреля 2003 г.
3. Пат. 2143717 РФ. Бинокулярная зрительная труба ночного видения/ Един В. А., Локтионов В. И.

Статья поступила в редакцию 10 октября 2004 г.

High technology of night vision system with image intensifiers manufacture. State and summary of 2003 year

V. I. Loktionov

Katod Joint-Stock Company, Novosibirsk, Russia

State and summary of night vision system with image intensifiers (hereinafter I^2) technology developed by JSC "Katod" are reviewed. Improvements in I^2 technology, achieved by JSC "Katod" may be divided into three full based directions: unfilmed I^2 , I^2 with 25 mm photocathode diameter and halo-free I^2 with automatic gate. Advantages of night vision system (hereinafter NVS) achieved with use of the new technologies presented.

УДК 621.383

Оптические системы для приборов ночного видения

В. Г. Волков, Г. А. Леонова, В. Л. Саликов, С. А. Украинский
ФГУП "Альфа", Москва, Россия

Описаны новые схемы оптических систем для приборов ночного видения: объективы, телескопическая насадка, окулярные системы, оптика целеуказателей. Рассмотрены их возможности и основные характеристики.

В настоящее время интенсивно развиваются приборы ночного видения (ПНВ). Они находят широкое применение везде, где требуется наблюдение при низких уровнях освещенности, а в ряде случаев — и при пониженной прозрачности атмосферы. Для таких ПНВ необходима разработка эффективных оптических систем. К ним относятся объективы, окулярные системы и объективы для лазерных целеуказателей и осветителей. В настоящей статье рассмотрены новые оптические системы такого рода. Они рассчитаны для приборов, в которых используются электронно-оптические преобразователи (ЭОП) поколений 2^+ , 2^{++} , 3 и 4.

Линзовый объектив (рис. 1, а) для ночного бинокля имеет: фокусное расстояние 100 мм; относительное отверстие 1:1,5; угол поля зрения 10° (линейное поле зрения 17,5 мм); расчетную длину волны 0,8 мкм; диапазон ахроматизации 0,65—0,9 мкм; коэффициент передачи контраста для точки на оси на пространственной частоте 15 штр/мм — 0,9, на частоте 30 штр/мм — 0,75, для края поля зрения — 0,6 и 0,3, соответственно, для данных частот; массу в стекле 202 г.

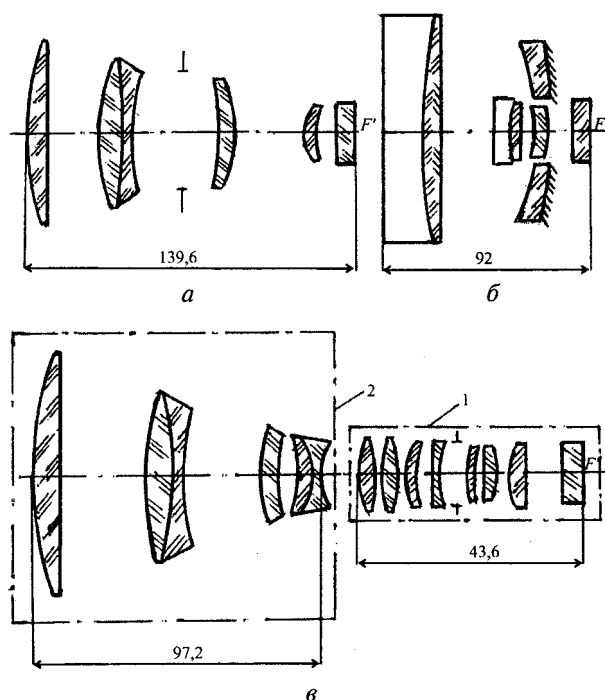


Рис. 1. Оптические схемы объективов:

а — оптическая схема линзового объектива с фокусным расстоянием 100 мм; б — оптическая схема зеркально-линзового объектива с фокусным расстоянием 100 мм; в — оптическая схема линзового объектива с фокусным расстоянием 26 мм (1) в сочетании с телескопической насадкой (2) с увеличением $4\times$