

УДК 621.384.326.23

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ПРИБОРОВ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ

Н. Ф. Кошавцев, А. Н. Кошавцев, С. Ф. Федотова

Государственное унитарное дочернее предприятие "Специальное конструкторское бюро техники ночного видения", Москва, Россия

Проведен анализ преимуществ спектральной области 1,4—1,8 мкм по сравнению с областью современных фотокатодов 0,4—0,9 мкм. Рассмотрены работы в области создания преобразователей для этой области спектра.

Развитие приборов ночного видения (ПНВ) определяется основными задачами, стоящими перед этой техникой, это: повышение дальности действия и вероятности обнаружения и опознавания; обеспечение помехозащищенности и помехоустойчивости к различным световым воздействиям, возникающим в боевых условиях; снижение массогабаритных характеристик и энергопотребления.

К настоящему времени разработаны и серийно выпускаются ПНВ на основе электронно-оптических преобразователей (ЭОП) нулевого, первого, второго и третьего поколений.

ЭОП нулевого поколения представляют собой стеклянные одно- и многокамерные приборы с неравномерным распределением разрешения по полю зрения.

ЭОП первого поколения (английское обозначение GEN I) имеют металлокерамическую конструкцию с волоконно-оптическими пластинами на входе и (или) выходе.

ЭОП второго поколения (GEN II) имеют усилитель яркости на микроканальных пластинах (МКП) и инверторную либо бипланарную конструкцию. Различают также разновидности ЭОП второго поколения — GEN II⁺, GEN II⁺⁺, SUPERGEN. Во всех этих ЭОП используются многощелочные либо кислородно-цезовые фотокатоды, отличающиеся интегральной или спектральной чувствительностью по разновидностям.

ЭОП третьего поколения (GEN III) имеют полупроводниковый арсенидгаллиевый фотокатод (GaAs) и бипланарную конструкцию.

Развитие ЭОП и ПНВ на их основе в основном подчинялось повышению чувствительности фотокатода ЭОП и его разрешения, что обеспечивает решение основной задачи — повышение дальности действия, а также увеличение времени обеспечения дальности действия в темное время суток.

Но тем не менее, даже самые высокочувствительные ЭОП не позволяют избежать зависимости основных параметров ПНВ от характеристик внешних условий. К характеристикам внешних условий работы ПНВ относятся спектральный состав и уровень естественной ночной освещенности (ЕНО), параметры атмосферы, атмосферной дымки и коэффициенты яркости природных образований и объектов наблюдения.

Спектральная плотность ЕНО непрерывно возрастает при переходе из видимой в ИК-область спектра. Средняя величина спектральной освещенности в отсутствие Луны в области чувствительности многощелочного фотокатода составляет $(1,5—3) \cdot 10^{-9}$ Вт/(см²·мкм), а в области 1,4—1,8 мкм — $(1,5—2) \cdot 10^{-7}$ Вт/(см²·мкм). Прозрачность атмосферы также растет при переходе в ближнюю ИК-область спектра. При метеорологической дальности видимости $S_m = 10$ км пропускание толщи атмосферы в 1 км на длине волны $\lambda = 0,6$ мкм составляет 0,72, а в центре окна прозрачности 1,4—1,8 мкм — 0,93. Яркость атмосферной дымки снижается более чем на порядок в области 1,4—1,8 мкм по сравнению с видимой областью

спектра. Величина контраста объект наблюдения — фон в ИК-области спектра более стабильная и выше в 1,4—1,5 раза. В области работы современных фотокатодов за счет использования специальной окраски объектов абсолютные значения контрастов очень низки и составляют 0,05—0,5.

Следует отметить еще одну характерную особенность области спектра 1,4—1,8 мкм. Если в области работы современных фотокатодов уровень освещенности ночью меняется от 10^{-5} до $2,5 \cdot 10^{-9}$ Вт/см², то в области 1,4—1,8 мкм она меняется несколько более чем на два порядка при тех же условиях освещения от $1,6 \cdot 10^{-4}$ до $(3-4) \cdot 10^{-7}$ Вт/см². Процент обеспеченности освещенности ночью в области спектра 1,4—1,8 мкм приведен в таблице.

Процент обеспеченности освещенности

Сезон	Уровень естественной ночной освещенности					
	5·10 ⁻³ лк		1·10 ⁻³ лк		5·10 ⁻⁴ лк	
	МЩ	1,4—1,8 мкм	МЩ	1,4—1,8 мкм	МЩ	1,4—1,8 мкм
Зима	28	42	82	90	91	96
Весна	46	56	86	96	100	100
Лето	53	58	82	96	96	100
Осень	48	50	80	84	91	92
Год	1942	1954	1982	1992	1995	1998

Приведенный выше анализ сравнительных характеристик внешних условий показывает, что развитие ПНВ должно осуществляться за счет освоения области спектра до 2 мкм. Именно в этом направлении ведется работа по созданию преобразователя четвертого поколения. Для оценки требований к чувствительности преобразователя в области спектра 1,4—1,8 мкм был разработан критерий его качества, представляющий произведение разрешающей способности (N) на отношение сигнал — шум (k):

$$(Nk) = \frac{O}{4} \left[\frac{\pi \tau_{об} \theta_s}{e (1 + \chi)(1 + \delta_{об})} \right]^{1/2} \left[\frac{\beta_{\phi} E S_{\max} \tau^A K^2}{K_a (2 + K)} \right]^{1/2}$$

где O — относительное отверстие объектива;

e — заряд электрона;

$\tau_{об}$ — интегральный коэффициент пропускания объектива;

θ_s — время накопления в системе;

χ — коэффициент, учитывающий темновой фон;

$\delta_{об}$ — интегральный коэффициент светорассеяния в объективе;

β_{ϕ} — интегральный коэффициент яркости фона;

E — освещенность на местности;

S_{\max} — максимальная чувствительность преобразователя;

τ^A — интегральный коэффициент пропускания атмосферы;

K_a — коэффициент, учитывающий яркость атмосферной дымки;

K — контраст объект наблюдения — фон.

Критерий можно упростить, если предположить, что характеристики оптической системы, время накопления, темновой фон одинаковы для преобразователей, работающих в разных областях спектра:

$$(Nk) = \text{const} \left[\frac{\beta_{\phi} E S_{\max} \tau^A K^2}{K_a (K + 2)} \right]^{1/2}$$

Отношение критериев для этих диапазонов будет представлено в следующем виде:

$$\frac{(N_1 k_1)}{(N_2 k_2)} = \left[\frac{\beta_{\phi 1} E_1 \left(\tau^A / K_{a1} \right) K_1^2 / (K_1 + 2) S_{\max 1}}{\beta_{\phi 2} E_2 \left(\tau^A / K_{a2} \right) K_2^2 / (K_2 + 2) S_{\max 2}} \right]^{1/2}$$

Если представить реальные значения величин для области чувствительности многощелочного фотокатода ($N_1 k_1$) и области спектра 1,4—1,8 мкм ($N_2 k_2$), то при $(N_1 k_1) = (N_2 k_2) S_{\max 2}$ ниже $S_{\max 1}$ более, чем на два порядка. Однако для практического достижения одинаковой дальности необходимо, чтобы разрешения сравниваемых фотокатодов различались незначительно, т. к. снижение разрешения в 2—3 раза не компенсируется повышением отношения сигнал - шум во столько же раз для приемников излучения, создающих изображение. Следовательно, требования по чувствительности к преобразователям на область спектра 1,4—1,8 мкм более, чем на два порядка ниже, чем аналогичные по чувствительности к преобразователям на область спектра 0,4—0,9 мкм.

При этом необходимо учесть, что в области 1,4—1,8 мкм энергия кванта света в 2—3 раза меньше, чем энергия кванта в области 0,4—0,9 мкм. Это равносильно снижению уровня фотонных шумов в ~2 раза при одинаковой величине освещенности. Для реализации энергетических преимуществ необходимо, чтобы преобразователь, чувствительный в области спектра 1,4—1,8 мкм, имел следующие характеристики:

максимальная абсолютная чувствительность, мА/Вт.....	>30
разрешение, штр/мм.....	>30
плотность темнового тока, А/см ²	<10 ⁻⁸
яркость экрана, кд/м ²	>10

Путем охлаждения чувствительного слоя фотокатода можно увеличить отношение сигнал — шум за счет снижения плотности темнового тока. Охлаждение фотокатода с 290 до 250 К позволяет снизить уровень шума в ~10 раз в области длин волн 1,4—1,8 мкм.

Анализ существующих фотокатодов показывает, что с продвижением чувствительности в более длинноволновую область спектра падает значение квантовой эффективности. Это является принципиальной особенностью работы полупроводниковых фотокатодов. С учетом вышеизложенных преимуществ работы в этой области спектра достижение предельных значений квантовой эффективности не требуется.

Разработка ЭОП четвертого поколения ведется в направлении создания фотокатодов, чувствительных в области до 2 мкм. Работа ведется по нескольким направлениям. Первое направление — исследование фотокатода с отрицательным электронным сродством на основе тройных-четверных соединений (InGaAsP), которое показано в [1] и ведется в США. В настоящее время в лаборатории получены ЭОП с чувствительностью фотокатода до 1,2 мкм и квантовой эффективностью на порядок выше, чем у кислородно-цезиевого фотокатода.

Вторым направлением является поиск путей создания твердотельных преобразователей — аналогов ЭОП. Наиболее интересные результаты получены специалистами, разрабатывающими твердотельный преобразователь изображения (ТТПИ), представляющий систему МДП—ЖК [2]. В качестве полупроводника используется высокоомный монокристаллический материал — арсенид галлия,

компенсированный хромом, ванадием и кислородом с удельным сопротивлением 10^7 Ом·см. Чувствительность образцов достигала 10^4 В/Вт в диапазоне 1—2 мкм. В качестве считывающего элемента использовался жидкий кристалл (ЖК-616, ЖК-1650). Толщина ПП пластины составляла примерно 100 мкм. Достигнута пороговая освещенность 10^{-6} Вт/см² при разрешении 10 штр/мм. Размер чувствительной поверхности ТТПИ составляет 20 мм. ТТПИ решает многие вопросы развития ПНВ. Он обеспечивает возможность работы в области спектра до 2 мкм со всеми вытекающими из этого преимуществами. Преобразователь имеет принципиально нелинейную световую характеристику. Уровень яркости выходного изображения достаточно легко регулируется, а максимальная величина устанавливается на желаемом уровне, поэтому помехозащищенность такого прибора идеальная. Помехоустойчивость на несколько порядков превосходит помехоустойчивость ЭОП. ТТПИ — безвакуумный прибор, требует для своего питания лишь низкое напряжение (40—50 В). Габаритные размеры масса ТТПИ существенно ниже, чем размеры ЭОП.

Третье направление развивается в ГНЦ «НПО "Орион"» путем создания системы, состоящей из матричного ФПУ на основе п/п соединений из InGaAs, стыкованной с кремниевым коммутатором. Спектральная область чувствительности 0,85—1,7 мкм, обнаружительная способность элемента 10^{13} см·Гц^{1/2}·Вт⁻¹, квантовая эффективность на $\gamma = 1$ мкм достигает 80 % (квантовая эффективность GaAs фотокатода на $\gamma = 0,8$ мкм не превосходит 23 %).

Определены перспективы развития приборов ночного видения с созданием преобразователей, чувствительных в области спектра до 2 мкм [1, 2].

Л и т е р а т у р а

1. Достижения в технике передачи и воспроизведения изображений, Т. 1. / Под ред. Б. Кейзана. — М.: Мир, 1978.
2. Александрович С. В., Антонов В. А., Григорьев В. А., Кошавцев Н. Ф. и др. Преобразование изображений ИК-диапазона ($\gamma > 1,1$ мкм) фоточувствительной жидкокристаллической структурой // Краткое сообщение по физике, 1992. № 7, 8.

THE ANALYZE OF DEVELOPMENT PROSPECTS OF THE NIGHT VISION DEVICES

N. F. Koshchavtsev, A. N. Koshchavtsev, S. F. Fedotova
Special Design Office of Night Vision Devices, Moscow, Russia

In this state one can find the analyze of advantages of the spectral range 1,4—1,8 micrometers in comparison with modern fotocathodes 0,4—0,9 micrometers. There were considered the works about creation of such devices.