

Виктор Волков, д. т. н., академик РАЕН, профессор | volkvik2009@yandex.ru

Полупроводниковые излучатели

для приборов подводного видения

Рассматриваются полупроводниковые светодиодные и лазерные излучатели для создания осветителей и целеуказателей с целью обеспечения наблюдения под водой при низких уровнях освещенности и в полной темноте как отдельно, так и в составе приборов подводного видения. Описываются конкретные модели излучателей, профессиональных осветителей, целеуказателей и приборов подводного видения на их основе, приводятся основные параметры указанных изделий.

В настоящее время приборы подводного видения (ППВ) приобрели очень широкое распространение. Об их характеристиках и применении уже сообщалось в работе [1]. ППВ используются для поиска затонувших кораблей, подводных строительно-монтажных, ремонтных и аварийно-спасательных работ, для проведения спецопераций, исследований континентального шельфа, разведки подводных полезных ископаемых, обнаружения косяков рыб, районов повышенной биопродуктивности, для подводного экологического контроля, подводной охоты, дайвинга и др.

Наблюдение под водой в значительной степени затруднено из-за того, что оптические свойства воды сильно отличаются от свойств воздуха. Прозрачность воды примерно в тысячу раз хуже, чем у воздушной среды. Прозрачность вод различных природных бассейнов зависит главным образом от количества взвешенных в воде частиц, содержания растворенных веществ и от сезонных биологических изменений, связанных с развитием планктонных организмов. Если в удаленных от берега центральных частях морских бассейнов прозрачность вод более стабильна, то в прибрежной полосе она подвержена широким сезонным изменениям и зависит от стока рек, наличия волнения и характера донных отложений [1].

Прозрачность воды меняется с глубиной. Обычно более мутная вода бывает в поверхностных слоях воды, более прозрачная — на глубине. Однако бывает и наоборот. Происходит это из-за наличия сильного придонного течения, которое взмучивает илистый грунт и уменьшает видимость. Это возможно также из-за оползней с крупных скалистых гребней на дне океана или же из-за насыщения воды на больших глубинах сероводородом (как, например, на Черном море из-за наличия трупных останков) [1].

Кроме поглощения, в воде происходит интенсивное рассеяние света. Оно зависит от прозрачности воды и от длины волны света. Вследствие поглощения и рассеяния света в воде происходит его ослабление. Из-за наличия рассеяния пучок параллельных световых лучей перераспределяется

по некоторой кривой, называемой индикатрисой рассеяния. Рассеяние вперед в сотни и тысячи раз выше, чем рассеяние назад [1]. Этим объясняется вытянутость индикатрис. Однако доля и рассеянного назад света также весьма велика. Рассеянный свет создает дымку, маскирующую наблюдаемые объекты и снижающую контраст в их изображении. Обилие в воде рассеянного света создает мягкие картины, лишённые густых теней и поэтому обладающие малым контрастом. Освещенность поверхности воды зависит от времени суток, а в дневных условиях — от высоты солнца над горизонтом. Соответственно, и освещенность в море на разных глубинах зависит от этих факторов. При этом ослабление света происходит в основном за счет рассеяния. С изменением глубины погружения происходит и значительное изменение освещенности. При этом закрытие солнца даже небольшим облачком может изменить освещенность на поверхности моря в 2–10 раз [1].

Вода имеет различный коэффициент ослабления для различных длин волн. Она лучше всего пропускает синие или зеленые лучи (в мутной воде — желтые), сильно поглощает

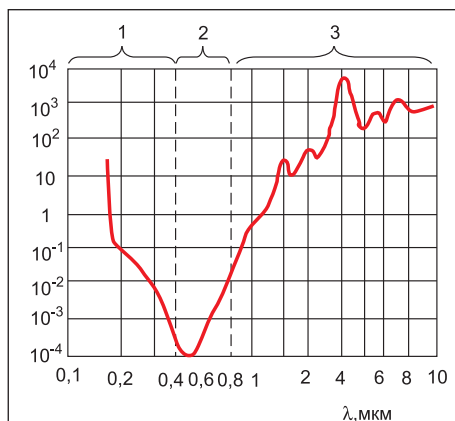


Рис. 1. Ослабление излучения в морской воде как функция длины волны для областей спектра (1 — ультрафиолетовая, 2 — видимая, 3 — инфракрасная)

красные и особенно ИК-лучи. Спектральные характеристики воды приведены на рис. 1. Однако на небольших дальностях (порядка нескольких метров) возможность восприятия всех цветов в пределах видимой области спектра сохраняется. Поэтому возможно применение осветителей белого цвета свечения при непосредственном наблюдении под водой (например, для дайвинга и подводной охоты).

В зависимости от мутности среды максимум спектральной чувствительности воды и, соответственно, спектрального распределения освещенности находится в пределах 470–580 нм. Это и определяет оптимальный спектральный диапазон работы подводных приборов ночного видения (ПНВ) и телевизионных (ТВ) систем.

Как показано выше, абсолютное ослабление естественного излучения водной средой на глубине 15 м составляет от нескольких раз до двух порядков в зависимости от состояния среды. Поэтому работа ПНВ и ТВ-систем в пассивном режиме (без подсвета) возможна при естественной освещенности на поверхности моря свыше 0,1 лк, т. е. в сумерки. В ночное время требуется активный режим работы (искусственный подсвет). При работе ПНВ или ТВ-систем в традиционном активно-непрерывном режиме дальность видения зависит не только от мощности источника подсвета и углового распределения силы света, но и от расположения осветителя по отношению к ПНВ или ТВ-системе. Достижение максимального контраста в изображении достигается разнесением осветителя и ПНВ (ТВ-системы) по фронту (увеличением базы), т. к. при этом уменьшается влияние световой дымки.

Для процесса подводного видения большую роль играет неоднородность показателя преломления воды. Его изменения зависят от колебаний температуры и солености воды. Это вызывает изменения ее плотности и, соответственно, показателя преломления. Преломление света на границе двух водных масс с различной температурой из-за возникновения волн и завихрений носит хаотический характер. Это может привести к сильному искажению хода лучей и соответственно формы наблюдаемого объекта. Для обеспечения минимальных искажений необходимо, чтобы в направлении, перпендикулярном линии визирования, имел место минимальный температурный градиент. Ясно, что это условие далеко не всегда выполнимо. Поэтому для исключения неоднородностей во времени необходим импульсный режим

Таблица 1. Мощные светодиоды белого цвета свечения направленного действия ОАО «НПЦ «ОПТЭЛ»

Модель	I _{пр} , мА	U _{пр} , В	Световой поток, лм		Сила света, кд	T _{цв} , К	Световая отдача, лм/Вт
			не менее	типичный			
У-130 Бл	350	3,5	100	110	30	4000-5000	105
У-130 Бл-1	350	3,5	115	125	35	4000-5000	125
У-133 Бл	350	9,5	270	300	95	4000-5000	100
У-133 Бл-1	350	9,5	320	360	105	4000-5000	120
У-137 Бл	350	20	500	520	150	4000-5000	80
У-130 Бл-Т	350	3,5	100	110	30	3000-4000	115
У-130 Бл-Т1	350	3,5	125	140	40	3000-4000	140
У-133 Бл-Т	350	9,5	270	310	95	3000-4000	110
У-133 Бл-Т1	350	9,5	350	380	110	3000-4000	135
У-345 Бл-71	350	3,5			4500	4000-5000 или 3000-4000	3800

Примечания: 2θ_{0,5} — угол расходимости излучения на уровне половинной его интенсивности — для всех моделей составляет 120°, кроме У-345 Бл-71, для которой 2θ_{0,5} = 4 ± 1°; I_{пр} — ток в прямом направлении; U_{пр} — напряжение питания в прямом направлении; T_{цв} — цветовая температура.

работы прибора наблюдения. При этом уменьшается общая экспозиция за счет подавления света, рассеянного неоднородностями.

В водной среде происходит частичная поляризация света не только при отражении, но и при рассеянии света. В связи с этим в ПНВ полезно

применение поляризационных фильтров. Они могут в значительной степени подавить рассеянный свет, однако по эффективности не сравнимы с разнесением по фронту осветителя приемной части прибора наблюдения либо с использованием активно-импульсного

режима работы [1]. Тем не менее применение поляризационных фильтров по одним данным позволяет повысить дальность подводного видения на ~10%, а по другим — за счет подавления рассеянного света контраст может увеличиться в 3–16 раз [1].

Несмотря на указанный выше оптимальный спектральный диапазон для работы ППВ, при наблюдении под водой на небольших дальностях (порядка нескольких метров) непосредственно невооруженным глазом достаточно хорошо передаются все цвета видимой области спектра. В связи с этим для дайвинга, подводной охоты и др. могут быть использованы светодиодные фонари на базе светодиодов белого цвета свечения. Их основные типичные параметры даны в работах [2, 3], а также представлены в таблице 1.

На основе таких светодиодов могут быть выполнены фонари для подводного применения, в частности, для дайвинга [4]. Основные параметры таких фонарей представлены в таблице 2. Подводные фонари являются необходимой техникой при ночных погружениях, при плавании в отсеках затонувших кораблей, в пещерах и для подсветки при видеосъемке [4].

Таблица 2. Основные параметры светодиодных фонарей белого цвета свечения для дайвинга

Фирма, модель	Глубина погружения, м	Мощность, Вт/ Световой поток, лм	2θ _{0,5} , град.	U _{пр} , В	Масса, г/ габариты, мм	T _{пр} час/ T _р час	Примечание
Beuchat, Led 3 Watt	До 80	10/150	0,75	6	—/ 43×167	6/10 ⁵	3 шт. СД, T _{цв} = 5500 К, эквивалентен 10-Вт галогенной лампе
Aqua Lung-Technisub Lumen LED	120	≥50/—		9	—/ 60×135	12/—	4 шт. СД, T _{цв} = 5500 К, эквивалентен 50-Вт ксеноновой лампе
Aqua Lung Multi-Light		3/—	6	6	—/ 50×220		T _{цв} = 6500 К
TUSA, TL-300 LED	120	4,8/130	42	6	230/ 33×146	3/10 ³	
SCUBAPRO, NOVA 230	120	5/230			450/ 15×250	18–20/—	T _{цв} = 6000 К
Sporasub Flash Led	100			9	390/ 59×195	2/—	
UK SL4 eLed	150	3–5/116		6	431/63×43×157		
Intova, Supernova Torch	120	25/180–500			690±10/69×69×168	3/10 ⁵	3 режима: ближний свет, дальний свет, стробоскоп
Magic Shine, MJ-810E XV214MCE	100	—/900		6	365/ 55×218	2/10 ⁴	T _{цв} = 5500 К, D _{св} > 500 м; режим работы: 100, 50, 20%, стробоскоп
Tektite TREK 6000 EX60	100	—/126		6	700/ 70×160	4–5/10 ⁴	60 шт. СД
Tektite Excursion LS4	615	4/100	10	6	700/ 70×160	15/10 ⁴	
Tektite Excursion STAR	300		10	4,5	300/ 50×200	15/10 ⁴	
MagicShine MJ-850 SST-50	100	—/1200		6	673/ 60×226	—/5×10 ⁴	D _{св} > 1000 м; режим работы: 100, 50, 20%, стробоскоп
INTOVA NOVA WIDE ANGLE LED	120	4,7/130		3	255/ 38×159	6–8/—	
Aquatec AquaStar 3	100	3/160	22	9	—/ 40×160	5/—	T _{цв} = 5500 К
Drive Rite LED 700 SLIMLINE	152	—/700		12	Фонарь: —/ 50,8×101,6, батарея: 1590/ 65×230	4/10 ⁴	T _{цв} = 6500 К, энергопотребление 6 Вт, батарея питания NIMN
ProLUMEN Magicshine 200	100	—/200		6		1,5/5×10 ⁴	СД CREE XP-E, корпус — алюминиевый сплав 6061-16
ProLUMEN, Magishine MJ-810	100	—/680–900		6	—/ 55×215	2/5×10 ⁴	D _{св} > 1000 м, стробоскоп F = 30 Гц
ProLUMEN Magicshine MJ 852	100	—/200		6	—/ 37×114,8	2/5×10 ⁴	T _{цв} = 6500 К, D _{св} > 500 м
Princeton Tec. IMPACT XL BLACK		—/145		6	195/—	50/—	
Princeton Tec. SHOCKWAVE-R LED YELLOW		—/400		6	1075/—	26	3 шт. СД
TEKTITE EXPEDITION 1400	300			6	300/ 50×200	20/—	14 шт. СД
TEKTITE EXPEDITION 1900	300	—/40		6	300/ 50×200	12/—	19 шт. СД
Light and Motion SOLA Photo 600	90	—/670	60		283/ 56×101	1,3/—	6 шт. белых СД, 4 шт. красных СД
Light and Motion SOLA Photo 500	90	—/1500	60		283/ 56×101	1,3/—	4 шт. СД
LIC 343 Liquid Image	120	5,5/300			191/ 37,4×126	3/—	Для видеомасок LYQ-301, 302, 304, 310, 311, 320, 321, 322, 323, T _{цв} = 6000–7000 К
Sporasub, Led Lenser D14	60	—/150	>180	6	220/длина 160	До 50/—	D _{св} = 180 м
ПКФ «Экотон», «Экотон-8»	100	Осевая сила света 12×10 ³ кд	5	3,7	400/ 75×216	8/5×10 ⁴	T _{цв} ≥ 5500 К (белый цвет), λ _{max} = 508–510 нм, x = 0,115, y = 0, 625 (сине-зеленый цвет)

Для обеспечения безопасности, согласно общепринятым правилам, а также стандартам PADI, аквалангисты берут с собой три фонаря: основной, запасной и проблесковый [4]. Фонари можно использовать и при обычных дневных погружениях, если нужно увидеть действительный цвет рассматриваемого объекта. Любой подводный фонарь обязательно, во избежание потери, экипируется шнуром или каким-либо механизмом крепления к руке или к какому-либо элементу снаряжения. Фонари малой мощности и небольшого размера используются в качестве запасных при ночных погружениях. Мощные фонари, работающие на аккумуляторных батареях, нужны для ночных или пещерных погружений, при заходах внутрь затонувших объектов. Аккумуляторные батареи дороже обычных, но дешевле в эксплуатации в течение длительного периода времени. Они, как правило, обеспечивают больший, более равномерный уровень света, но в течение короткого периода времени. Также следует учесть, что мощный аккумулятор требует длительной зарядки. Как только их зарядка в основном использована, свет, который они обеспечивают, стремительно угасает. Фонари, работающие на не перезаряжаемых батареях, действуют дольше, но по мере истощения их заряда свет, который они обеспечивают, уменьшается постепенно. Если необходимо обеспечивать освещение

подводной видеосъемки, то нужен сильный аккумуляторный фонарь с креплением для фиксации на видеокамере. Для ночного погружения водолазы также применяют мини-фонари, использующие активированный химический огонь, или с мигающим светом, как проблесковый маячок, прикрепляемый к первой ступени регулятора или к компенсатору плавучести [4]. Характерным примером светодиодного фонаря для дайвинга является модель Led Lenser D14 [5]. Корпус яркого цвета виден достаточно далеко, если фонарь уронили. Включать и выключать фонарь очень удобно даже в перчатках благодаря магнитной кнопке. Фонарь работает от четырех пальчиковых батарей. Как и во всех фонарях Led Lenser, оптическая система D14 формирует ровный пучок света без темных и светлых пятен. Фонарь удобен для использования в перчатках, имеет петлю для фиксации на кисти руки. Корпус изготавливается из высокопрочного авиационного алюминия, а линзы — из специального пластика, поэтому фонарь устойчив к перепадам температуры и остается прозрачным на протяжении всего срока эксплуатации. Все электрические контакты позолочены — они не окисляются при высокой влажности или просто со временем. Представляют интерес сигнально-стробоскопический фонарь Princeton Tec AQUA STROBE ROCKET RED [6]



Рис. 2. Подводный прожектор серии ПП-2-СД

и сигнально-осветительный фонарь Princeton Tec ECO FLARE ROCKET RED [7]. Глубина погружения составляет 100 м. Для первого фонаря $F = 1,67$ Гц, напряжение питания 1,5 В, масса 96 г, время непрерывной работы 8 ч. Для второго фонаря используются белый и красный светодиоды, световой поток 10 лм, напряжение питания 3 В, масса 42 г, время работы 500 ч. На рис. 2 показан подводный прожектор серии ПП-2-СД на основе многоэлементных светодиодных излучателей.

Для реализации возможностей оптимального рабочего спектрального диапазона для подвод-

Таблица 3. Основные параметры типичных светодиодов для осветителей приборов подводного видения (по данным проспектов фирм)

Страна/Фирма	Модель	Световой поток, лм/ Световая отдача, лм/Вт	Ø корпуса, мм	Цвет свечения, λ_{\max} нм	Сила света, кд		$2\theta_{0,5}$ град.	$U_{пр}$, В	$I_{пр}$, мА	
					не менее	типичная				
РФ, НПЦ «ОПТЭЛ»	У-118Г		5	3, 572±2	0,4	0,6	25±5	2,8	20/50	
	У-118И		5	3, 526±3	3,0	4,5	25±5	4,0	20	
	У-118Т		5	3, 505±5	3,0	4,5	25±5	4,0	20	
	У-118ДФ		5	Ж, 590±3	3,0	5,0	25±5	2,5	20	
	У-118С		5	С, 470±10	0,65	1,0	25±5	4,0	20	
	У-114Г		8	3, 572±2	1,0	1,5	10±5	2,5	20	
	У-114И		8	3, 526±2	5,0	10,0	10±5	4,0	20	
	У-114Т		8	3, 505±5	5,0	10,0	10±5	4,0	20	
	У-114ДФ		8	Ж, 592±3	4,0	6,0	10±5	2,5	20	
	У-114С		8	С, 70±10	1,5	2,5	10±5	4,0	20	
	У-164Г		10	3, 572±2	4,0	7,0	4±1	2,2	20	
	У-164И		10	3, 526±2	10,0	20,0	4±1	4,0	20	
	У-164Т		10	3, 505±2	10	20,0	4±1	4,0	20	
	У-164ДФ		10	Ж, 592±3	7,0	9,0	4±1	2,6	20	
	У-164С		10	С, 470±10	2,5	3,0	4±1	4,0	20	
	У-156А				3, 525±5	35	40	20±5	4,0	125
	У-156А				С, 455±5	3,0	4,0	20±5	4,0	125
	У-150А				3, 525±5	110	125	25±5	4,0	350
	У-150А				С, 455±5	10,0	13,0	25±5	4,0	350
	У-266ДУ	25–30/33			Ж, 590±3	30	50	45±10	2,6	350
У-190Дк	25–30/33			Ж, 590±3	180	220	8±3	2,6	350	
У-345Дк-9	20–30/33			Ж, 590±3	550	900	7±3	2,6	350	
У-266И	50–65/50			3, 525±5	60	80	40±5	4,0	350	
У-190И	40–50/40			3, 525±5	300	350	8±5	4,0	350	
У-345И-2	50–60/46			3, 525±5	100	180	45±10	4,0	350	
У-345И-Э	40–50/37			3, 525±5	800	1300	7±3	4,0	350	
У-144И	30–40/33			3, 525±5	150	200	20±5	4,0	350	
У-130Ф-И	90–100/85			3, 525±5	25	30	120	3,5	350	
У-133Ф-И	240–260/75			3, 525±5	70	80	120	3,5	300	
Тайвань, Kingbright Electronic Co., Ltd.	L-7104 VGC-E		3,2	3, 525	1,5	2,0	34		20/–	
	L-934 VGC-E		3,2	3, 525	1,5	2,0	50		20/–	
	L-7113 VGC-E		5,9	3, 525	2,8	4,5	20		20/–	
Германия, Hewlett Packard	HLMP-EL10-VY000		5	Ж, 590	3,6	13,8	6		20/–	
	HLMP-CM08-X1000		5	3, 526	6,2	24,5	6		20/–	
	HLMP-CE08-WZ000		5	С–3, 505	4,7	18,4	6		20/–	
	HLMP-CB08-RU000		5	С, 472	1,3	1,8	6		20/–	

Примечания: 1. З — зеленый цвет свечения, Ж — желтый, С — синий, С-З — сине-зеленый. 2. λ_{\max} — длина волны излучения в максимуме интенсивности, $2\theta_{0,5}$ — угол расходимости излучения на уровне половинной его интенсивности, $U_{пр}$ — напряжение питания в прямом направлении, $I_{пр}$ — ток питания в прямом направлении рабочий.

Таблица 4. Основные параметры цветных светодиодных осветителей для приборов подводного видения (по данным проспектов фирм)

Страна/Фирма	Модель	Цвет свечения, λ_{max} , нм	Сила света, мкд		Световой поток, лм	$2\theta_{0,5}$, град.	Габариты, мм	U, В / I _{пр.} , мА
			не менее	типичная				
РФ, НПЦ «ОПТЭЛ»	ФСДО-Д	Ж, 0,589–0,595	1200	1500	25	5±1	Ø142×170	–
	ФСДО-И	З, 0,5–0,53	700	900	15	5±1	Ø142×170	–
	ФСДО-С	С, 0,465–0,475	300	400	10	5±1	Ø142×170	–
	У266Д-1	Ж, 592±2	27–45	40	15–19	35±5	Ø8,5×8,5	2,5/400
	У332Д-1	Ж, 592±2	55–65	60	25–35	45±5	Ø16×26,5	8,5/200
	У-266И	З, 525±5	17–23	20	10–15	40±5	Ø8,5×8,5	4,0/350
	У-266Т	С-З, 515±5	15–20	17	23–28	40±5	Ø8,5×8,5	4,0/350
У-266С	С, 470±5	4–6	5	3–4	40±5	Ø8,5×8,5	4,0/350	
Тайвань, Kingbright Electronic Co.	BLF041 MGG-6V-P	З, 568	300	800		30	Ø5,5×15,5	6/-
	BLB101 MGG-6V-P	З, 568	400	900		20	Ø11,2×28,9	6/-
	BLFA 054 MGCK-6V	З, 570	180	460		120	Ø5,5×12,4	6/-
Германия, Hewlett Packard	HPWL-BL01	Ж, 594			10	100		3,09/250
	BL0508-09-73	З, 568	420	800		40	22×22×42	-/40
Тайвань, Kingbright Electronic Co.	BL0709-1876	З, 568	720	1200		40	28×28×43	-/40
	BL104-2172	З, 568	560	1200		40	Ø26×39	-/40
	BL102-1434	З, 568	800	1200		40	Ø26×39	-/40

ного видения фонари могут быть использованы на базе светодиодов зеленого, реже — голубого цвета свечения. Для работы в мутной воде могут быть использованы светодиодные фонари желтого цвета свечения. Основные параметры типичных светодиодов указанных цветов свечения представлены в таблице 3, а осветителей на их основе для приборов подводного видения — в таблице 4.

Характерным примером подводного аккумулятора светодиодного фонаря, который может работать в белой и сине-зеленой области спектра, является модель «Экотон-8» фирмы «Экотон» [8]. Фонарь предназначен для подводной работы в соленых и пресных водоемах на морских и речных судах, для дайвинга, спортивной подводной охоты и для боевых пловцов. Фонарь имеет взрывозащищенное исполнение и герметичную неразборную оболочку, выполненную из ударопрочного материала. Источник света — светодиод белого или сине-зеленого свечения (по заказу). Для формирования луча используется линза из поликарбоната, изготовленная методом полимеризации с добавлением в расплавленный поликарбонат специальных добавок-отвердителей. Источник питания — герметичная Li-ion батарея. Включение фонаря осуществляется поворотным кольцом со встроенным магнитом и герконом.

Диапазон рабочих температур –20...+40 °С. Подзарядка аккумуляторной батареи производится с помощью зарядных адаптеров от сети ~220 В/50 Гц или бортового питания 12/24 В. Для более надежной герметичности резиновой прокладки рекомендуется использовать силиконовую смазку (типа Special silicone grease TECHNISUB). Данный тип смазки применяется при каждом погружении в воду.

В последние годы практически все новые разработки лазеров и лазерных систем связаны с использованием накачки от полупроводниковых лазерных излучателей [9]. В современной лазерной технике широко используются материалы, легированные ионами неодима (Nd), например иттрий-алюминиевый гранат YAG:Nd, имеющий уникальное сочетание физико-химических и спектрально-люминесцентных свойств и отработанной технологии производства этого кристалла [9]. Однако особенности накачки полупроводниковыми излучателями, такие как возможность концентрации оптической мощности в ограниченных объемах и малые плотности тепловыделения в активном материале, открывают широкую возможность использования других лазерных материалов, которые не могли применяться в лазерах с ламповой накачкой. Сегодня наряду с кри-

сталлами YAG:Nd в таких лазерах используются ванадаты иттрия YVO4:Nd или гадолиния GdVO4:Nd, лантан-скандиевый борат LSB:Nd, гадолиний-галлиевый гранат GGG:Nd и кристаллы фторидов — YLiF4:Nd [9].

Наиболее широкое применение в приборах подводного видения нашли твердотельные лазеры на основе активного элемента YAG:Nd с накачкой полупроводниковыми излучателями с зеленым цветом излучения. Использование в сочетании с твердотельными лазерами нелинейных оптических кристаллов позволяет в принципе работать в зеленой, голубой и желтой области спектра. В связи с этим появились лазерные модули, включающие в себя полупроводниковый лазерный излучатель, активную среду и нелинейный кристалл в едином корпусе. Такой модуль может быть вмонтирован в лазерный целеуказатель или лазерный осветитель, которые включают в себя также источник питания, оптику с постоянным или регулируемым фокусным расстоянием, первичный и вторичный источники питания и корпусное оформление.

К типичным моделям лазерных модулей следует отнести изделия фирмы ОАО НПП «Инжект» ILTN-20, ILTN-400 с длиной волны 531 нм, напряжением питания 3 В, напряжением питания термоохладителя 3,7 В и диапазоном рабочих

Таблица 5. Лазерные модули для построения подводных лазерных целеуказателей (по данным проспектов фирм)

Фирма	Модель	λ_{max} , нм	P, мВт	$2\theta_{0,5}$, мрад	Ø пучка, мм	U, В / I, мА	Габариты, мм / масса, г	Форма пятна подсвета
«ФТИ-Оптроник»	KLM-A532-x-5	532	1/5/15	0,1–0,2	8		Ø20×95	
	KLM-D532-x-5	532	5/20/30/50	0,5	5		Ø20×80	
	KLM-M532-x-5	532	5/10/30	0,1–0,2	8		Ø20×95	Эллипс 1:1,4
	LG-D532-x-5	532	2/5/15	0,1–0,2	8		В зависимости от модели	Прямая линия с шириной ≤1,5 мм на 10 м
	KLM-C532-x-5	532	1/5	0,1–0,2	8		Ø20×80	Крест с отклонением от угла 90: ≤±1;
	KLM-532/x	532	0,1/0,2/0,3	≤1,2±0,2	≤1,2±0,2		136×50×45	
	KLM-532/h-x	532	0,5/0,8/1/2/3/4/5	≤1,2±0,2	≤1,2±0,2		160×60×54	
	KLM-532/SLN-x	532	30/100	≤1,2±0,2	≤1,2±0,2		160×60×54	
ООО «НПП «Лазерные системы»	KLM-532/MLN-100	532	100	≤1,2±0,2	≤1,2±0,2		160×60×54	
	DMH532-20	532	20	0,5		3–5/<450	Ø20×80	Точка
	DMH532-30	532	30	1,0		3–5/<500	Ø20×80	Точка
	DMH532-50	532	50	1,0		3/<650	Ø42×80	Точка
	DMH-65 var. 1	532	65	0,8		3/<600	Ø12×50	Точка
	DMH532-30F	532	30	0,5		5/<500	Ø36×90	С настройкой фокуса
	CMH532-10	532	10	0,1–0,2		3–5/<400	Ø20×95	Крест
	DMLP532-200	532	200	2,0		3/-	Ø57×122	От лазерных целеуказателей
	DMLP532-300-500	532	300/500	1–2		3–6/-	Ø22×71	От лазерных целеуказателей
	DMLB532-800	532	800	1–2		3–6/3000	Ø22×71	От лазерных целеуказателей
ООО «ЛаКом»	LS-1-N-473	473	1–100	1,2±0,2			136×50×45	
	LS-2-N-473	473	100–200	1,2±0,2			195×162×83	
Edmund Optics	Dot Laser Module	532	0,4–40	0,2–2,0	≤1	3/≤500		
BFI OPTILAS	FF GLM	532	0,9–15	0,5±0,1	<1±0,2	5/-	Ø15×70	
Laser Components	Module laser Vert	532	0,9–4	<2	1,5	4–6/<200	Ø14×60/40	
	FLEX POINT	532	4–10	10 мрад–100;		45–30/<300	Ø11,5×67	

Примечания: λ_{max} — длина волны излучения в максимуме интенсивности; P — мощность излучения; $2\theta_{0,5}$ — угол расходимости излучения на уровне половинной его интенсивности; U — напряжение питания в прямом направлении; I_{пр.} — ток питания в прямом направлении рабочий.



Рис. 3. Активно-импульсный ТВ-прибор LSV-W: 1 — ТВ-камера, 2 — ТВ-монитор

температур +10...+45 С [10]. Модуль ILTN-2001 имеет волоконно-оптический выход излучения для его вывода из внутренних полостей корпуса лазерного прибора или комплекса. Модель ILTN-4001 имеет стеклянное выходное окно и угол расходимости излучения 6 мрад. Модули ILTN-2001 и ILTN-4001 имеют соответственно мощность излучения 20 и 50–100 мВт, ток накачки 2,5 и 1,1–2,5 А, ток питания термохолодильника 3,6 и 1,1–3,6 А. Представляют интерес также лазерные модули фирмы ООО «Лазерные системы» [11]. Основные параметры типичных лазерных модулей приведены в таблице 5.

Лазерные целеуказатели могут быть использованы для создания точечного пятна подсвета или пятна подсвета в виде креста, линии и др. Это необходимо для подводных разметочных и измерительных работ, для создания подводных лазерных прицельных комплексов по типу наземных [1]. Лазерный генератор линии Tritech SeaStripe [12] создает тонкую высококонтрастную линию подсвета, четко показывающую профиль подсвечиваемого объекта и хорошо наблюдаемую на экране ТВ-монитора. Лазерный генератор линии имеет угол подсвета в воде 64°, массу в воздухе 1,7 кг (в воде — 0,9 кг), глубину погружения 4000 м и питание от напряжения 11–26 В.

Для работы под водой на значительных дальностях (порядка 100–150 м) наиболее целесообразно использовать лазерные осветители на основе твердотельных лазеров с накачкой полупроводниковыми лазерными излучателями.



Рис. 4. Водолазный шлем СВУ-5 со светодиодным светильником СП-5-СД

Таблица 6. Основные параметры лазерной системы подводного видения LSV-W фирмы НПП «ТУРН»

Наименование параметра		Количественная характеристика	
Дальность видения в чистой воде ($E = 0,04 \text{ м}^{-1}$), м		До 150	
Разрешающая способность (в воздухе), ТВ линий		450	
Угол поля зрения, град.	объектив с фокусным расстоянием 14 мм и относительным отверстием 1:2,3	60	
	объектив с фокусным расстоянием 37 мм и относительным отверстием 1:1,1	15	
Блок	ТВ-камера	ТВ-монитор	Лазер
Габариты, мм	170×160×105	310×225×215	380×90×275
Масса, кг	3	7,5	12
Питание	12 В (от ТВ-монитора)	~220 В, 50 Гц	~220 В, 50 Гц
Энергопотребление, Вт		50	300

Лазерные осветители, работающие в непрерывном режиме, могут быть использованы для подсвета объектов наблюдения при совместной работе с подводными ТВ-камерами.

Импульсные лазерные осветители могут быть использованы для работы в составе активно-импульсных ТВ-приборов подводного видения для наблюдения при пониженной прозрачности водной среды [1].

Для работы в мутной воде с целью подавления излучения обратного рассеяния используются подводные активно-импульсные ТВ-системы [1]. Для их построения используются для целей подсвета лазерные осветители на базе твердотельных лазеров с накачкой полупроводниковыми лазерными излучателями. Характерным примером такой системы может служить лазерная система подводного видения LSV-W фирмы НПП «ТУРН» (рис. 3) [14]. Она предназначена для наблюдения при условии ее размещения на исследовательских подводных аппаратах. По сравнению с традиционными ТВ-системами данный прибор обеспечивает увеличение дальности видения в шесть раз, подавляет излучение обратного рассеяния и позволяет наблюдать в мутной воде. Прибор состоит из оптико-электронного блока, лазера подсвета, ТВ-монитора и управляющего блока. Первые два блока устанавливаются на подводной части судна, ТВ-монитор и управляющий блок — на надводной части судна или на надводном пункте наблюдения. Основные параметры прибора приведены в таблице 6.

Для работы под водой необходимы водолазные маски и шлемы. Современные водолазные маски имеют встроенную ТВ-камеру и могут быть дополнительно оснащены светодиодными фонарями. К последним, в частности, относится модель Tritech LED Lite [15]. Осветитель выполнен в высокопрочном стальном корпусе, имеет световой поток >300 лм и $T_{\text{цв}} = 5500 \text{ К}$, выдерживает глубину погружения 4000 м, имеет массу 410 г, габариты 40×119 мм, работает от напряжения 12–48 В при энергопотреблении до 12 Вт. Современные маски для дайвинга Easy Drive модели Lic 304, Lic 325 [16, 17] имеют встроенные ТВ-камеры с 8–12 Мпикс, жидкокристаллическим дисплеем, объемом дополнительной памяти 32 Гбайт, продолжительность видеозаписи 960–1900 мин., выдерживают глубину погружения 5–40 м, имеют питание от двух или четырех батарей АА-типа [16, 17]. Новые водолазные шлемы, например СВУ-5 (рис. 4) [15], имеют возможность установки на них как ТВ-камеры, так и наплечного осветителя средней мощности для местного и общего освещения в воздухе и под водой.

Основные параметры подводных ТВ-камер приведены в таблице 7.

Портативная универсальная ТВ-камера «РПТК-М» (рис. 5) [15] предназначена для видеосъемки в соленой/пресной воде с передачей изображения на поверхность. ТВ-камера может быть в двух исполнениях: ручная с устройством крепления, рукояткой, со све-

Таблица 7. Основные параметры подводных телевизионных систем фирмы «Тетис Про», использующих светодиодные осветители

Модель	Формат, цветная или ч/б	Разрешение, ТВ линий	Мин. освещенность, лк	Глубина погружения, м	$2\theta_{0,5}$, град.	Масса, кг	Габариты, мм	U, В/Р, Вт
Tritech Tornado	1/2", ч/б	>570	$3 \cdot 10^{-4}$	4000	63,5	2,8	Ø78×172	12-39/-
Tritech Typhoon VMS	1/4", цв	>470	0,1	3000		3,9		12-28/10
Tritech Osprey	1/3", цв		0,1	4000 или 6000	65	0,6	Ø39,5×120,3	12-39/-
Tritech Super Seasy	1/3", цв	>500				0,65	Ø53×82	-/4,8
Tritech Typhoon	1/4", цв	>470				0,651	Ø53×82	-/4,8
Tritech Manip Cam 400D	1/3", цв	>520	0,1			0,675	45×90×85	12-24/-
Bowtech BP-CVIS	1/3", цв.	480	1	4000	65 (цв)	0,3	Ø 31×133	12 или ~220 В 50 Гц/ 300 Вт
	1/4", ч/б	380	0,5		60 (ч/б)	0,266	Ø 31×133	
РПТК-М	1/4", цв	480	0,2	100	До 78	0,6		-/1,2

Примечания: $2\theta_{0,5}$ — угол расходимости излучения на уровне половинной его интенсивности; $U_{\text{п}}$ — напряжение питания; P_3 — энергопотребление.



Рис. 5. Подводная ТВ-камера РПТК-М со светодиодным осветителем

одиодным осветителем СП-5-СД, и шлемная передающая с установкой на полнолицевую маску и на водолазный шлем. Цифровой водолазный видеокомплекс Bowtech BP-CVIS [15] предназначен для видеодокументирования обследовательских и подводно-технических работ, выполняемых водолазами в условиях нормальной и пониженной прозрачности воды: при обследовании подводной части корпусов судов, трубопроводов, подводных гидротехнических сооружений и др. В водонепроницаемом надводном контейнере «Пеликан» находятся питание, панель управления, цифровой видеоманитофон стандарта Digital Ui8 или MiniDV для высококачественной записи и воспроизведения цифрового изображения. В комплексе используется либо цветная, либо черно-белая ТВ-камера. Освещение подводных объектов осуществляется с помощью регулируемого по мощности осветителя. Дополнительный осветитель может быть установлен на шлеме водолаза.

Среди больших ТВ-камер в условиях низкой освещенности и плохой видимости наилучшие результаты показывает черно-белая ТВ-камера Tritech Tornado [15]. Она использует специальный акриловый иллюминатор для уменьшения потерь на отражение. Подводная измерительная ТВ-камера Tritech Typhon VMS [15] позволяет измерять размеры отснятых объектов и расстояние до них при постобработке видеоматериалов. ТВ-камера оборудована пятью лазерными целеуказателями, которые дают хорошо видимые метки. Специальная программа VMS позволяет пересчитывать размеры объекта на изображении. Изменение фокусного расстояния объектива ТВ-камеры осуществляется по аналоговому каналу или через RS232. Специально подобранные материал иллюминатора и его конструкция компенсируют искажения размеров объектов наблюдения и хроматическую aberrацию объектива. Такой же иллюминатор используется для ТВ-камер Tritech Osprey, Tritech Super Seasy (со встроенным светодиодным осветителем) и Tritech Typhon VMS с автофокусом и изменением масштаба изображения 22:1 [15]. Представляет также интерес ТВ-камера Tritech ManipCam 4000 со встроенными в ее корпус светодиодными осветителями. ТВ-камера используется совместно с подводными манипуляторами НПА рабочего класса. Tritech MD4000 служит для

съемок на близких дистанциях. Встроенные светодиодные осветители обеспечивают достаточный уровень освещения. ТВ-камера использует ПЗС-матрицу формата 1/3" с числом пикселей 768×494 при разрешении по горизонтали 570 ТВ линий и минимальной освещенности 0,1 лк и отношении сигнал/шум 50 дБ. Максимальная глубина погружения устройства 2000 м, напряжение питания 16,8 В при токе 8,2 А, емкость жесткого диска 30 Гбайт, время непрерывной работы 6 ч. Автономная видеозаписывающая система Tritech SeaCorder [15] предназначена в основном для наблюдения за забрасыванием и выборкой рыболовных сетей.

Таким образом, для техники подводного видения достаточно широко используются как лазерные, так и полупроводниковые излучатели, обеспечивая широкий диапазон подводных работ различного типа. ●

Литература

1. Гейхман И. Л., Волков В. Г. Видение и безопасность. М.: Новости. 2009.
2. Волков В. Г. Светодиодные излучатели для оружейных фонарей // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 5.
3. Мощные светодиоды Cree. Каталог фирмы Компэл. М. 2012.
4. Фонари для дайвинга. www.DivingCenter.ru/134.htm.
5. Фонарь светодиодный для дайвинга LED Lenser D14. Проспект фирмы Sporasub (США). 2012.
6. Светодиодный фонарь для подводной охоты и дайвинга. Princeton Tec AQUA STROBE ROCKET RED. Cat_aqua_strobe_rocket_red.html.
7. Светодиодный фонарь для подводной охоты и дайвинга. Princeton Tec ECO FLARE ROCKET RED. Cat_eco_flare_rocket_red.html.
8. Фонарь подводный аккумуляторный светодиодный «Экотон-8». Проспект фирмы «Экотон». www.ecoton.ru.
9. Шестаков А. Активные элементы твердотельных лазеров с полупроводниковой накачкой // Фотоника. 2007. Вып. 5.
10. Лазерные модули ILTN-2001 IL и TN-4001. Каталог фирмы ОАО НПП «Инжект» (г. Саратов). 2012.
11. Лазерные модули. Проспект фирмы ООО «Лас». М. 2012.
12. Лазерный генератор линии Tritech SeaStripe. Проспект фирмы Тетис-Про. М. 2012.
13. Твердотельные лазеры с накачкой полупроводниковыми излучателями. Каталог фирмы ГК «Лазер-Компакт». М. 2012.
14. Лазерная система подводного видения. Проспект фирмы НПП ТУРН. М. 2012.
15. Профессиональное водолазное снаряжение и подводное оборудование. Каталог фирмы Тетис-Про. М. 2012.
16. Easy Drive Lic 304 Видеокамера Explorer Series 80 mp. www.Sportal.Ru/209761.html.
17. Easy Drive Lic 325 Видеокамера Wide Angle Scuba Series Hd 1080p-Large. www.Sportal.Ru/209763.html.