

Мощные таблеточные диоды и тиристоры компании «Электровыпрямитель»

Антон САМОЙЛОВ
Лариса ЛЕБЕДЕВА
Дмитрий НАУМОВ
Светлана ТИМАНИНА
Евгения ОСИПОВА
Юлия ДЕМИДОВА
nicspp@elvpr.ru

Санкционные ограничения становятся проверкой на стойкость многих предприятий и способствуют поиску новых решений для сохранения дальнейшей деятельности. В связи с потерей традиционных каналов поставок электронной компонентной базы, у потребителей возникает потребность их оперативно заместить. Статья открывает цикл информационных публикаций по отечественной компонентной базе силовой полупроводниковой электроники. В первом материале дается краткий обзор производимых компанией «Электровыпрямитель» дискретных выпрямительных диодов и низкочастотных тиристоров для фазового управления.

Введение

Силовая электроника является одним из важнейших направлений развития и модернизации экономики, имеющих значительное влияние на решение проблем ресурсосбережения и энергоэффективности системообразующих отраслей промышленности, энергетики и транспорта. Силовые полупроводниковые приборы (СПП) — это основные активные элементы преобразователей электрической энергии. Развитие электронной компонентной базы силовой электроники идет по пути увеличения коммутируемой мощности и частотных характеристик единичных приборов, расширения номенклатуры, функциональных возможностей, повышения надежности приборов

и взаимосвязано с направлениями развития силовой электроники, а также запросами потребителей — разработчиков и изготовителей преобразовательной аппаратуры. Несмотря на последние тенденции роста применения изделий силовой электроники на широкозонных материалах, сегодня доминирующую роль в производстве СПП играет монокристаллический кремний. Широкое распространение кремния обусловлено многими факторами, в числе которых его электрофизические параметры и технологичность.

Исторически специализируясь в области производства биполярных СПП на основе монокристаллического кремния, «Электровыпрямитель» продолжает разработку новых изделий и модернизацию

серийно освоенных приборов, опираясь на результаты анализа мирового развития силовой электроники и требований потребителей. В настоящее время достигнуты следующие значения основных параметров выпускаемых отечественных биполярных СПП на кремнии: диапазон максимально допустимого тока 10–9100 А, блокирующие напряжения от 100–8000 В. Дискретные СПП серийно изготавливаются на основе кремниевых структур диаметром 5–101 мм и имеют свыше 20 типов корпусов штыревой, таблеточной и фланцевой конструкций. Номенклатурный ряд серийно освоенных изделий составляют силовые диоды, тиристоры, фототиристоры, симисторы, оптоотиристоры [1]. Портфолио дискретных биполярных СПП представлено на рисунке.

Номенклатура диодов и тиристоров таблеточного исполнения

Биполярные низкочастотные тиристоры и выпрямительные диоды на основе кремния становятся «рабочей лошадкой» большого числа преобразовательных устройств, поскольку по-прежнему востребованы в объектах, где необходима высокая надежность, низкая стоимость, а установленный срок службы достигает 20–30 лет. От других типов изделий выпрямительные диоды и низкочастотные тиристоры отличают наименьшие потери энергии, способность выдерживать высокие аварийные токи. Далее представлена обзорная информация по выпрямительным диодам и низкочастотным тиристорам с электрическим управлением таблеточного исполнения. Именно на эти устройства, которые выпускает ПАО «Электровыпрямитель»,

Фототиристоры низкочастотные Ток 790–2500 А Напряжение 6000–7600 В 	Двухнаправленные тиристоры Ток 900–2000 А Напряжение 4200–6400 В 	Тиристоры низкочастотные Ток 175–6500 А Напряжения 200–8000 В 	Быстродействующие тиристоры Ток 300–3200 А Напряжение 300–3000 В 
Выпрямительные диоды Ток 200–9100 А Напряжение 200–8000 В 	Диоды и тиристоры штыревой конструкции Ток 100–400 А Напряжение 400–4400 В 	Роторные диоды и тиристоры Ток 160–630 А Напряжение 1600–2800 В 	Диоды, тиристоры, симисторы МГС Ток 10–80 А Напряжение 100–1600 В 

Рисунок. Портфолио биполярных диодов и тиристоров

чаще всего поступают запросы от потребителей, в том числе при поиске замены импортным приборам.

В таблицах 1 и 2 представлена номенклатура по выпрямительным диодам и низкочастотным тиристорам таблеточного исполнения с указанием основных параметров и габаритных размеров корпусов (D_{max} — диаметр корпуса максимальный; D_{cont} — диаметр контактной поверхности; H — высота корпуса). Порядок ранжирования типов СПП в таблицах 1, 2 привязан к классу по блокирующему напряжению (V_{RRM} — повторяющееся импульсное обратное напряжение, V_{DRM} — повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии) и максимально допустимым значениям токовой нагрузки ($I_{T(AV)}$ — максимально допустимый средний ток в открытом состоянии, $I_{F(AV)}$ — максимально допустимый средний прямой ток). Подробная информация на конкретный тип диода и тиристора доступна на сайте [1].

Конструкция и технология изготовления

В настоящее время предприятие располагает полностью законченным технологическим циклом производства данного класса приборов. Электрофизические параметры и конструкция кремниевых структур диодов и тиристоров проектируются с целью достижения оптимального баланса между потерями во включенном состоянии и динамическими потерями. Это позволяет эффективно управлять максимальными мощностями для низкочастотного применения. Для достижения требуемых значений блокирующих вольт-амперных характеристик кристаллов диодов и тиристоров используется радиационно-легированный монокристаллический кремний с малым разбросом удельного сопротивления, применяется технология получения однородных диффузионных слоев и высоких времен жизни неосновных носителей заряда в базовых областях по площади диаметром до 5", технология профилирования и пассивации краевого контура с целью снижения электрических полей на поверхности кремниевой структуры. Кристаллы тиристоров имеют топологию с внутренним усилением сигнала управления с увеличенной площадью первоначального включения, что обеспечивает приборам быстрое и однородное включение. Для стабильной работы при высоких температурах и устойчивости к эффекту du/dt применяется эффективная шунтировка катодного эмиттера кристаллов.

Для обеспечения необходимой механической прочности и устранения опасных термических напряжений, возникающих из-за различия коэффициентов линейного термического расширения элементов конструкции, кристаллы соединяются с термокомпенсаторами из молибдена, образуя неразъемное соединение в виде полупроводникового элемента. Такой способ соединения обеспечивает хороший тепловой контакт между термокомпенсатором и кремниевым кристаллом по всему диаметру. При этом край полупроводникового элемента также будет иметь эффективное охлаждение, что важно для высоковольтных приборов, работающих при высоких температурах перепада и высоких блокирующих напряжениях.

Для повышения динамических свойств диодов и тиристоров, а также для обеспечения их надежной работы в сборках с последовательным соединением используется однородное легирование полупроводниковых элементов СПП радиационными дефектами, являющимися центрами рекомбинации неравновесных носителей заряда. Контролируемое введение радиационных дефектов позволяет гибко управлять временем жизни неосновных носителей заряда в полупроводниковых структурах приборов и, соответственно, всей системой электрических параметров. Минимальные разбросы V_{RR} диодов и тиристоров для последовательных соединений, низкие времена выключения t_q тиристоров достигаются путем прецизионного регулирования времени жизни неосновных носителей заряда облучением высокоэнергетичными электронами на ускорителе «Электроника-У003», который входит в состав технологической линии производства СПП предприятия. Благодаря данной технологии

Таблица 1. Ряд выпрямительных диодов

Тип	V_{RRM} , В	$I_{F(AV)}$, А	I_{FSM} , кА	V_{TO} , В	r_T , мОм	$R_{th(j-c)}$, °С/Вт	T_{Jmax} , °С	Размеры корпуса $D_{max}/D_{cont}/H$, мм
		$T_c = +85$ °С	$t_p = 10$ мс	T_{Jmax}	T_{Jmax}			
до 1200 В								
Д123-630	200–1000	880	9	0,72	0,35	0,08	190	42/19/14
Д133-1600	200–1000	1810	18	0,72	0,147	0,036	175	47/27/14
Д143-2000	200–1000	2400	24	0,73	0,11	0,027	175	57/35/14
Д153-6300	200–400	6930	50	0,8	0,026	0,011	180	62/44/8
Д253-4000	200–1000	4100	65	0,82	0,037	0,017	190	75/51/26
Д163-4000	200–1000	4700	55	0,73	0,04	0,015	175	87/60/26
Д173-6300	200–1000	7530	75	0,73	0,025	0,01	175	107/75/26
до 2200 В								
Д123-500	1000–2200	690	7,5	0,77	0,54	0,08	180	42/19/14
Д133-1250	1200–2200	1480	16	0,77	0,25	0,036	180	47/27/14
Д243-1600	1200–2200	2000	22	0,77	0,18	0,027	175	57/35/14 60/35/35 ¹⁾
Д153-2500	1200–2200	3440	37	0,77	0,08	0,018	175	75/51/26
Д163-3200	1200–2200	4080	48	0,77	0,06	0,016	175	87/60/26
Д173-5000	1200–2200	6410	65	0,77	0,04	0,01	175	107/75/26
Д183-6300	1200–2200	7460	90	0,77	0,04	0,008	175	118/86/26
Д193-8000	1200–2200	9100	98	0,85	0,029	0,0065	175	140/98/26
до 3400 В								
Д123-400	2400–3200	550	5,5	0,85	0,85	0,08	175	42/19/20
Д233-1000	2400–3400	1240	11	0,85	0,38	0,036	175	54/33/20
Д433-1000	2400–3400	1240	11	0,85	0,38	0,036	175	54/33/26
Д243-1250	2400–3200	1640	18,5	0,85	0,29	0,027	175	60/37/20
Д153-2000	2400–3200	2830	33	0,85	0,13	0,018	175	75/51/26
Д163-2500	2400–3200	3380	42	0,85	0,097	0,016	175	87/60/26
Д173-4000	2400–3200	5290	53	0,85	0,065	0,01	175	107/75/26
Д183-5000	2400–3200	5690	80	0,85	0,08	0,008	175	118/86/26
Д193-6300	2400–3200	8500	90	0,85	0,037	0,0065	175	140/98/26
до 4400 В								
Д123-320	3400–4200	410	4,2	0,87	1,37	0,08	150	42/19/20
Д223-400	3400–4200	530	5,5	0,85	0,85	0,085	150	42/19/26
Д233-800	3400–4400	920	7,5	0,9	0,599	0,036	160	54/33/20
Д433-800	3400–4400	920	7,5	0,9	0,599	0,036	160	54/33/26
Д343-1000	3400–4400	1210	13	0,9	0,46	0,027	160	60/37/20
Д153-1600	3400–4400	2100	27	0,9	0,206	0,018	160	75/51/26
Д163-2000	3400–4400	2520	31	0,9	0,154	0,016	160	87/60/26
Д173-3200	3400–4400	3940	43	0,9	0,103	0,01	160	107/75/62
Д183-4000	3400–4200	4680	60	0,9	0,095	0,008	160	118/86/26
Д193-5000	3400–4200	7300	67	0,85	0,04	0,0065	160	140/98/26
до 5200 В								
Д123-250	4400–5200	310	3,5	0,92	2,2	0,08	150	42/19/20
Д223-320	4400–5200	364	4,2	0,87	1,37	0,085	160	42/19/26
Д233-630	4400–5200	740	6	0,9	0,84	0,036	150	54/33/20
Д433-630	4400–5200	740	6	0,9	0,84	0,036	150	54/33/26
Д343-800	4400–5200	940	9,5	0,92	0,7	0,027	150	60/37/26
Д153-1250	4400–5200	1650	25	0,92	0,31	0,018	150	75/51/26
Д163-1600	4400–5200	1980	28	0,92	0,23	0,016	150	87/60/26
Д173-2500	4400–5200	3060	37	0,95	0,155	0,01	150	107/75/62
Д183-3200	4400–5000	4000	50	0,95	0,11	0,008	150	118/86/26
Д193-4000	4400–5000	4950	58	0,94	0,088	0,0065	150	140/98/26
до 6500 В								
Д123-200	5200–6000	240	3	1	3,1	0,08	140	42/19/20
Д223-200	5200–6500	230	3	1	3,1	0,085	140	42/19/26
Д223-250	5200–6000	300	3,5	0,92	2,2	0,085	150	42/19/26
Д333-500	5200–6000	580	5	1	1,42	0,036	150	54/33/20
Д433-500	5200–6000	580	5	1	1,42	0,036	150	54/33/26
Д243-630	5200–6000	840	8	0,9	0,9	0,027	150	60/37/20
Д443-630	5200–6000	840	8	0,9	0,9	0,027	150	60/37/26
Д153-1000	5200–6000	1470	20	1	0,4	0,018	150	75/51/26
Д163-1250	5200–6500	1490	21	1	0,35	0,016	140	87/60/26
Д173-2000	5200–6500	2530	29	1	0,25	0,01	150	107/75/62
Д183-2500	5200–6500	3170	40	1	0,2	0,008	150	118/86/26
Д193-3200	5200–6500	4180	45	1	0,135	0,0065	150	140/98/26
до 8000 В								
Д543-630*	7000–8000	651	11	1,2	1,2	0,027	140	60/35/35
Д453-800*	7000–8000	933	23	1,2	0,9	0,018	140	75/51/35
Д373-1600*	7000–8000	1830	24	1,2	0,4	0,01	140	107/75/35
до 10 000 В								
Д543-500*	9000–10 000	560	10	1,5	1,5	0,027	140	60/35/35
Д453-630*	9000–10 000	794	22	1,5	1,2	0,018	140	75/51/35
Д373-1250*	9000–10 000	1403	23	1,5	0,7	0,01	140	107/75/35

Примечания. ¹⁾ Опция (изготовление по запросу).
* Новый тип (поставка по согласованию).

Таблица 2. Ряд низкочастотных тиристоров

Тип	V _{DRM} , V _{RRM} , В	I _{T(AV)} , А	I _{TSM} , кА	V _{T(ТО)} , В	г _Т , мОм	(di _T /t) с _Т , А/мкс	t _q (тип.), мкс	R _{th(j-ср)} , °С/Вт	T _{jmax} , °С	Размеры корпуса D _{max} /D _{cont} / H, мм
		T _C = +70 °С	T _{jmax} , t _q = 10 мс	T _{jmax}	T _{jmax}	T _{jmax}	T _{jmax}			
до 800 В										
T123-500	400–800	710	6	0,84	0,43	200	100	0,07	150	42/19/14
T133-500	400–800	1096	10	0,95	0,42	320	125	0,035	150	47/27/14
T133-800	400–800	1270	12	0,9	0,287	200	160	0,035	150	
T143-1250	400–800	1750	23	0,79	0,17	200	160	0,03	150	57/35/14
T153-2000	400–800	2690	36	0,85	0,12	200	160	0,018	150	75/51/14
T153-2500	200–400	3020	40	0,8	0,09	200	100	0,018	150	75/51/26
T163-2500	400–800	3190	50	0,82	0,07	200	160	0,016	140	87/60/26
T163-3200	200–400	3890	52	0,77	0,063	200	160	0,014	145	87/60/26
T173-5000	400–800	5540	66	0,83	0,045	200	200	0,01	150	112/75/26
T173-6300*	200–400	6540	70	0,77	0,032	200	160	0,0095	150	100/63/26 ¹⁾
до 1200 В										
T123-400	800–1200	536	5,5	0,83	0,58	200	125	0,07	130	42/19/14
T133-630	200–1000	1000	12	0,85	0,35	200	100	0,035	130	47/27/14
T233-630	800–1200	944	12	0,85	0,35	200	160	0,035	125	
T143-1000	800–1000	1240	21	0,85	0,25	200	100	0,03	130	57/35/14
T243-1250	800–1200	1470	21	0,85	0,2	200	160	0,03	140	
T153-1600	800–1200	2060	30	0,9	0,14	200	200	0,018	130	75/51/14 75/51/26 ¹⁾
T163-2000	800–1200	2690	40	0,96	0,065	200	200	0,016	130	87/60/26
T173-3200	1000–1200	4015	60	0,88	0,062	200	200	0,01	130	112/75/26
T173-4000	800–1000	4780	62	0,84	0,053	200	200	0,01	140	100/63/26
T183-5000	400–1200	5127	80	0,9	0,045	200	250	0,0073	125	120/86/26
до 2000 В										
T123-200	400–1600	307	4	1,1	1,5	200	320	0,08	125	42/19/14
T123-250	400–1600	369	4,5	1	1,08	200	320	0,075	125	
T123-320	400–1600	476	5	0,9	0,64	200	160	0,07	125	54/32/20
T323-320	1200–1600	434	5	0,9	0,64	200	320	0,08	125	
T133-400	400–1600	596	8	1,05	0,68	200	160	0,045	125	48/27/14
T233-500	1200–1800	770	9	0,95	0,44	200	200	0,04	125	
T333-500	1200–1800	843	9	0,95	0,44	200	200	0,035	125	60/38/20 60/35/26 ¹⁾
T143-500	400–1600	750	11	1,1	0,57	200	320	0,034	125	
T143-630	400–1600	937	13	1,1	0,37	200	320	0,03	125	75/51/26
T143-800	900–1800	1050	14	0,85	0,3	200	250	0,032	125	
T153-1000*	1000–2000	1290	20	0,95	0,26	200	250	0,024	125	
до 2000 В										
T253-1250	1200–2000	1590	28	0,95	0,2	200	250	0,02	125	75/51/26
T163-1600	1200–1800	2020	35	0,95	0,15	200	250	0,016	125	87/60/26
T173-2000	1600–2000	2940	49	0,92	0,106	200	250	0,011	125	112/75/26 100/63/26 ¹⁾
T173-2500	1200–1800	3290	52	0,9	0,095	200	250	0,01	125	112/75/26 100/63/26 ¹⁾
T183-4000	1000–2000	4404	70	0,95	0,07	200	250	0,0073	125	120/86/26
T283-4000	1000–2000	4027	70	0,95	0,07	200	250	0,0083	125	120/86/35
T193-5000	1000–2000	5940	100	0,95	0,048	200	250	0,0056	125	147/100/35
T293-5000	1000–2000	6427	100	0,95	0,048	200	250	0,005	125	147/98/26
до 2800 В										
T223-250	1800–2600	312	4	1,05	1,5	200	250	0,08	125	42/19/26
T133-320	900–2400	524	7	1,2	1,1	200	400	0,04	125	54/32/20
T233-400	1800–2400	593	7	1	0,9	200	250	0,04	125	
T333-400	1800–2400	717	7	1,04	0,65	200	250	0,035	125	48/27/14
T143-400	1800–2400	613	9	1,2	0,95	200	400	0,034	125	60/38/20 60/35/26 ¹⁾
T243-630	1800–2800	796	11	1,05	0,5	200	320	0,034	125	75/51/26
T153-630	2000–2800	1110	15	1,05	0,3	200	250	0,024	125	
T253-800	2000–2400	1132	17	1,2	0,4	200	500	0,02	125	75/51/26 75/51/35 ¹⁾
T253-1000	1800–2800	1360	22	1,02	0,3	200	320	0,02	125	
T163-1250	2000–2800	1610	25	1,05	0,27	200	320	0,016	125	87/60/26
T273-2000	2000–2800	2630	42	0,95	0,147	200	320	0,011	125	112/75/26
T373-2000	2000–2800	2630	42	0,95	0,147	200	320	0,011	125	100/63/26
T183-3200	2200–2800	3520	60	0,98	0,13	200	320	0,0074	125	120/86/26
T283-3200	2200–2800	3240	60	0,98	0,13	200	400	0,0084	125	120/86/35
T193-4000	2200–2800	4744	90	0,98	0,09	200	250	0,0057	125	147/100/35
T293-4000*	2200–2800	5100	90	0,98	0,09	200	320	0,0051	125	147/100/26

диоды и тиристоры могут поставляться с разбросом по заряду обратного восстановления до ±5%.

Полупроводниковые элементы диодов и тиристоров для защиты от внешних механических воздействий, влияния окружающей среды, обеспечения теплоотвода при прохождении тока, собираются в гер-

Тип	V _{DRM} , V _{RRM} , В	I _{T(AV)} , А	I _{TSM} , кА	V _{T(ТО)} , В	г _Т , мОм	(di _T /t) с _Т , А/мкс	t _q (тип.), мкс	R _{th(j-ср)} , °С/Вт	T _{jmax} , °С	Размеры корпуса D _{max} /D _{cont} / H, мм
		T _C = +70 °С	T _{jmax} , t _q = 10 мс	T _{jmax}	T _{jmax}	T _{jmax}	T _{jmax}			
до 3400 В										
T232-200	2600–3400	275	3,5	1,07	2,1	200	320	0,08	125	42/19/26
T233-320	2600–3400	474	5	1,15	1,5	200	320	0,04	125	54/32/20
T243-500	2600–3400	706	10	1,12	0,673	200	320	0,034	125	60/38/20 60/35/26 ¹⁾
T353-800	2800–3400	1150	18	1,15	0,4	200	400	0,02	125	75/51/26
T353-1000	2000–3200	1240	19	1,05	0,38	200	400	0,02	125	75/51/26
T263-1250*	2800–3200	1550	22	1,1	0,33	200	400	0,015	125	87/60/26
T173-1600	2400–3400	2103	34	1,08	0,25	200	400	0,011	125	112/75/26 100/63/26 ¹⁾
T283-2500	3000–3400	3153	55	1,05	0,16	200	400	0,0076	125	120/86/26
T383-2500	3000–3400	2930	55	1,05	0,16	200	400	0,0085	125	120/86/35
T193-3200	3000–3400	4264	75	1	0,12	200	400	0,0057	125	147/100/35
T293-3200*	3000–3400	4578	75	1	0,12	200	400	0,0051	125	147/100/26
до 4400 В										
T123-160	3400–4200	226	2,8	1,1	3,5	200	400	0,08	125	42/19/26
T133-250	3400–4200	373	4	1,2	2,7	200	400	0,04	125	54/32/20
T243-400	3400–4200	558	6	1,15	1,27	200	400	0,034	125	60/38/20 60/35/26 ¹⁾
T753-800	3400–4400	1009	15	1,18	0,62	200	500	0,02	125	75/51/26
T163-1000	3400–4400	1343	20	1,14	0,428	200	500	0,016	125	87/60/26
T373-1250	3600–4400	1930	32	1,1	0,31	200	500	0,011	125	100/63/26
T183-2500	3600–4400	2910	50	1,05	0,2	200	630	0,0076	125	120/86/26
T483-2500	3600–4400	2813	50	1,05	0,18	200	630	0,0085	125	120/86/35
T193-2500	3600–4400	3838	68	1,05	0,15	200	630	0,0058	125	147/100/35
T393-3200*	3600–4400	4160	68	1	0,15	200	630	0,0052	125	147/100/26
до 5200 В										
T353-630	3600–4800	990	15	1,2	0,63	200	500	0,02	125	75/51/26
T263-800	4400–5200	1120	18	1,2	0,6	200	500	0,017	125	87/60/26
T273-1250	3600–4800	1930	32	1,1	0,31	200	500	0,011	125	112/75/26
T273-1600*	4000–4800	2280	36	1	0,25	300	400	0,01	125	112/75/35
T373-1600*	4000–4800	2350	36	1	0,25	300	400	0,0095	125	112/75/26
T183-2000	4600–5200	2680	44	1,08	0,24	200	630	0,0077	125	120/86/26
T293-2500	4600–5200	3587	56	1,05	0,18	200	630	0,0058	125	147/100/35
T393-2500	4600–5200	3840	56	1,05	0,18	200	630	0,0052	125	147/100/26
до 6500 В										
T123-100	5000–6000	176	1	1,3	6	200	500	0,08	125	42/19/26
T143-320	5000–6500	425	4,5	1,3	1,7	200	630	0,042	125	60/35/26
T253-630*	5000–6000	808	10	1,3	0,9	200	630	0,022	125	75/51/26 75/51/35
T173-1000*	6000	1240	20	1,4	0,75	200	500	0,012	125	112/75/26
T173-1250*	5000–6500	1530	26	1,3	0,45	200	1000	0,012	125	112/75/26
T183-1600	5400–6000	2370	38	1,1	0,32	200	800	0,0078	125	120/86/26
T283-1600*	6000	2056	40	1,3	0,35	200	500	0,0087	125	120/86/35
T483-1600*	6000	2380	40	1,08	0,32	200	800	0,0078	125	120/86/26
T583-1600	5400–6000	2217	40	1,1	0,32	200	800	0,0087	125	120/86/35
T293-2000	5400–6000	3424	54	1,08	0,2	200	900	0,0058	125	147/100/35
T493-2500	5400–6000	3660	54	1,08	0,2	200	900	0,0052	125	147/100/26
до 8000 В										
T353-500	6000–7000	720	9	1,35	1,2	200	800	0,022	125	75/51/35 75/51/26
T163-800	6000–7000	1110	15	1,3	0,65	200	1000	0,016	125	87/60/26
T273-1000*	6000–7000	1420	22	1,3	0,55	200	1000	0,012	125	112/75/26 112/75/35 ¹⁾
T183-1250	6200–6600	2270	37	1,15	0,35	200	900			

тренных электрических и тепловых сопротивлений в контактных соединениях таблеточных приборов обеспечиваются за счет сжатия полупроводникового элемента с двух сторон медными электродами с усилием, приложенным от внешней механической системы прижима. Полный электрический и тепловой контакт может быть обеспечен только приложением к корпусу определенного сжатия, которое типично находится в области 10–20 Н/мм². При монтаже СПП таблеточной конструкции необходимо обеспечить равномерность сжатия по всей контактной поверхности корпуса прибора и создать заданное усилие сжатия. Необходимое усилие сжатия должно создаваться с помощью охладителей или прижимных устройств, обеспечивающих регламентируемое значение токовой нагрузки и теплового сопротивления. Конструкторско-технологические решения при сборке в корпус обеспечивают стабильность импульсного прямого напряжения диодов и импульсного напряжения в открытом состоянии тиристоров в процессе всего срока эксплуатации, что особенно важно при работе приборов в схемах с параллельным соединением.

Все СПП таблеточного исполнения имеют повышенную механическую прочность, надежно работают при воздействии номинальных вибрационных нагрузок в диапазоне частот 0,5–500 Гц с ускорением 100 м/с² и при одиночных и многократных ударах с ускорением 1500 и 750 м/с² соответственно. Приборы сейсмостойки и выдерживают землетрясения интенсивностью 9 баллов по MSK-64 при установке над нулевой отметкой до 70 м. СПП могут выполняться в двух климатических исполнениях УХЛ2 и Т2 по ГОСТ 15150.

Контроль качества при производстве и надежность при эксплуатации

На предприятии действует система менеджмента качества, сертифицированная по ГОСТ Р ИСО 9001-2015 и международному стандарту ISO 9001:2015. Она охватывает все этапы изготовления СПП — от закупок и входного контроля комплектующих и материалов до выходных и надежностных испытаний готовых изделий. Важным в этой цепи является межоперационный контроль на всех технологических этапах изготовления полупроводниковых приборов. Для обеспечения высокого качества приборов действует двухступенчатый контроль качества СПП, который проводится на 100% изделий в два этапа: цеховые испытания и последующий контроль ОТК. В рамках рутинных испытаний проводится 100%-ный контроль всех важнейших параметров СПП при нормальной и повышенной температурах. В состав завода входит испытательный центр, где проводятся комплекс периодических испытаний для подтверждения стойкости СПП к воздействию внешних факторов (климатических, механических), и надежностные испытания приборов. По согласованию возможно проведение дополнительного контроля параметров и диагностика СПП по специально разработанным и согласованным с потребителями методикам, учитывающим реальные режимы эксплуатации. Такой уровень контроля гарантирует надежную работу приборов на объектах заказчиков.

Компания «Электровыпрямитель» располагается в г. Саранске и имеет 80-летнюю историю. На протяжении всей своей деятельности предприятие производит продукцию, успешно конкурирующую не только с отечественными, но и со многими разработками зарубежных производителей. Надежность диодов и тиристоров, изготовленных в Саранске, подтверждена многолетним опытом работы на многих ответственных объектах, в том числе в составе тяговых электроприводов локомотивов железнодорожного транспорта, в выпрямителях для систем возбуждения мощных турбин на гидростанциях и АЭС, высоковольтных устройствах энергетических объектов, преобразователях частоты насосных станций нефте- и газопроводов, мощных выпрямителях для сварки, гальваники и электролиза, инверторах для индукционной плавки металлов, а также во многих других успешных применениях.

Высокий уровень качества СПП и их производства подтвержден и в ряде новых проектов, реализованных на базе диодов и тиристор-

ров, успешно внедренных совместно с отечественными разработчиками-производителями преобразовательной техники:

- лавинный диод, оптимизированный для надежной работы в выпрямителях, предназначенных для преобразования трехфазного напряжения частотой до 500 Гц в схемах возбуждения мощных турбогенераторов гидроагрегатов Загорской гидроаккумулирующей электрической станции [2];
- мощный тиристор, разработанный по техническим требованиям заказчика и применяемый для комплектации высоковольтных тиристорных вентилей модернизируемой вставки постоянного тока ПС «Выборгская» [3];
- диоды и тиристоры для неуправляемых и управляемых выпрямителей, применяемых для плавки гололедаобразований на проводах и грозотросах линий электропередачи [4];
- тиристоры для высоковольтных устройств выпрямительной и инверторной части тиристорного преобразователя частоты мощностью для плавного пуска и регулирования скорости вращения синхронных электродвигателей мощностью 25 МВт газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций магистрального газопровода [5];
- низковольтные диоды и тиристоры для применения машин контактной точечной и шовной сварки выпрямленным током [6];
- и многое другое.

Заключение

Сложившаяся ситуация показывает, что основной целью для дальнейшего развития силовой электроники России должно стать доминирование на внутреннем рынке отечественной электронной компонентной базы, критически значимой для обеспечения национальной безопасности, технологического и экономического развития. Достижение данной цели возможно при опоре на российские технические решения, разрабатываемые и внедряемые при совместной доверительной работе производителей и потребителей СПП. Опыт, накопленный компанией «Электровыпрямитель» более чем за 60 лет успешной работы в области силовых полупроводников, наличие крупного полупроводникового производства и исследовательского центра позволяют выполнять новые разработки приборов и расширять ассортимент полупроводниковой продукции. Определиться в выборе необходимого типа изделия заказчиком позволяет широкая номенклатура СПП, наличие квалифицированной технической поддержки и возможность доработки системы параметров приборов до требований аналогов. Такой подход предоставляет разработчикам преобразовательной техники возможность выбора качественных и оптимальных технических вариантов для решения поставленных задач.

Литература

1. www.elvpr.ru
2. Мартыненко В., Чумаков Г., Меркулова О., Гришанин А. Оптимизация параметров мощного лавинного диода для работы в многофазных выпрямителях на средних частотах // Силовая электроника. 2012. № 4.
3. Самойлов А., Сергунина Т., Хапугин А., Мартыненко В., Гришанин А. Мощные тиристоры для преобразователей линий электропередачи постоянного тока // Силовая электроника. 2019. № 4.
4. Мустафа Г. М., Горюшин Ю. А., Гусев С. И., Минаев Г. М., Артаев Н. А. Устройства для плавки гололеда на проводах линий электропередачи // Электротехника. 2012. № 1.
5. Мустафа Г. М., Левченко А. В., Сеннов Ю. М., Чистилин С. В., Гусев С. И. Мощные частотно-регулируемые электроприводы газоперекачивающих агрегатов компрессорной станции «Павелецкая ООО «Газпром Трансгаз Москва» // Энергетик. 2021. № 1.
6. Шевелев Е., Зуев Н., Дзюба А., Кириллов А. КБ АСТ: 20 лет на рынке электросварочного оборудования // Силовая электроника. 2011. № 5.