

Попов Ю.Н., Скорняков С.П., к.т.н.

**Радиационнотстойкие интегральные схемы
и прецизионные термокомпенсированные стабилитроны
Новосибирского завода полупроводниковых приборов**

**(The radiation resistant integrated circuits and the precise
thermocompensated Zener diodes of the Novosibirsk semiconductor
devices plant)**

ФГУП «НЗПП с ОКБ» - известное, авторитетное в РФ и государствах СНГ предприятие, действующее на рынке электронной промышленности более 45 лет. Специализируется на разработке и производстве КМОП ИС, стабилитронов, ограничителей напряжения и выпрямительных столбов. За этот период разработано и освоено в серийном производстве около 250 типов полупроводниковых приборов и такое же количество интегральных микросхем. Подробная информация о номенклатуре и параметрах выпускаемых заводом изделий находится на сайте www.nzpp.ru.

Несмотря на значительное сокращение производства военной продукции, на предприятии не прекращалась работа по повышению качества и надёжности выпускаемых изделий, по совершенствованию системы управления качеством и в результате нам удалось сохранить качество продукции на достаточно высоком уровне. Сравнительные объёмы выпуска и достигнутые показатели качества военной продукции по ФГУП «НЗПП С ОКБ» в 1991г. и 2004г. приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ п/п	Наименование	1991 год	2004 год
		Кол-во; %	Кол-во; %
1	Интегральные микросхемы «5»	13мл.249тыс.	834 тыс.
2	Интегральные микросхемы «9»	2мл.52тыс.	66 тыс.
3	Полупроводниковые приборы «5»	36мл.716тыс.	1мл.365тыс.
4	Полупроводниковые приборы «9»	2мл.143тыс.	84 тыс.
5	Уровень рекламаций изделий «5»	0.0013%	0.0016%
6	Уровень рекламаций изделий «9»	0.0042%	0.0009%

Работая в основном в интересах МО, предприятие накопило большой опыт проектирования высоконадёжных микросхем, разработало технологические маршруты изготовления микросхем, стойких к воздействию радиации по группе 6Ус.

Результаты работы в этой области: логические КМОП микросхем известной серии 1526, серии 1569 и 1597 (функциональные аналоги серии 1564), микросхемы микропроцессорного комплекта серии 1860 (аналог серии 1821), КНС БМК серии 1570ХМ1. Информация о номенклатуре разработанных серий микросхем и нормам их стойкости к ВВФ приведена в таблице 2.

Таблица 2

№ п/п	Функциональное назначение	Серия	Типономиналы	ГОСТ РВ 20.39.414.2-97 (ГОСТ РВ 20.39.404-81)							
				7И ₁ (И1)	7И ₆ (И2)	7И ₇ (И3)	7С1 (С1)	7С ₄ (С3)	7К ₁ (К1)	7К ₄ (К3)	7И ₈ (УБР)
1	Логические ИС среднего быстродействия	1526 ОС1526	ИЕ11, ИЕ14, ИЕ15, ИЕ19, ИД1, ИК1, ИМ1, ИП3, ИП4, ИП6, ИР2, ИР9, КП1, КП2, ЛА7, ЛА8, ЛА10, ЛН2, ЛП13, ПР1, ПУ6, ПУ7, ПУ8, ПУ9, ТМ2	5Ус (3У)	5Ус (3У)	6Ус (3У)	6Ус (3У)	5Ус (2У)	5x1К (1У)	3К (3У)	0,02x1Ус (0,01x1У)
2	Логические ИС повышенного быстродействия	1569	АП4, ИЕ6, ИЕ7, ИЕ10, ИЕ19, ИД3, ИР9, КП2, КП12, КП13, КП15, ЛА1, ЛА3, ТМ2	5Ус (3У)	5Ус (3У)	6Ус (3У)	6Ус (3У)	5Ус (2У)	5x1К (1У)	1К (1У)	0,02x1Ус (0,01x1У)
		1597		5Ус (3У)	0,1x1Ус 0,05x1У	6Ус (3У)	6Ус (3У)	5Ус (2У)	5x1К (1У)	1К (1У)	0,02x1Ус (0,01x1У)
3	БМК (КНС технология)	1570ХМ1		5Ус (3У)	5Ус (3У)	6Ус (3У)	6Ус (3У)	5Ус (2У)	5x1К (1У)	3К (3У)	2Ус (1У)
4	Микропроцессорный комплект	М1860	ВИ54, ВВ19, ВВ51А, ВВ59, ВТ57	1Ус (1У)	2Ус (1У)	0,5x2Ус (1У)	1Ус (1У)	0,1x1Ус (0,1x1У)	0,5x1К (0,1x1У)	0,2x1К (0,1x1У)	0,02x1Ус (0,01x1У)

Все перечисленные серии микросхем освоены в серийном производстве, но, по причине отсутствия серьёзной потребности, в настоящее время выпускается только серия 1526, в том числе с приёмкой “9”.

Для изделий с повышенными требованиями к радиационной стойкости при проведении периодических испытаний предусмотрен контроль устойчивости микросхем к воздействию набранной дозы γ -облучения, проводимый на

имеющейся на предприятии установке. Аналогичный контроль предусмотрен и в техпроцессе для каждой изготавливаемой партии пластин.

В последние годы в интегральной тематике приоритетным направлением для ОКБ является создание аналоговых и аналого-цифровых КМОП ИС. Так в 2004–2005 г.г. в интересах МО разработан ряд аналоговых микросхем. Например – эллиптический фильтр низких частот 8 – ого порядка, активный фильтр 8 – ого порядка, фильтра Баттерворта – аналоги микросхем MAX 297, 274, 275 ф. Maxim, соответственно. Завершаются работы по созданию 12 – ти разрядного 20 МГц – ого АЦП с проектными нормами 0,25 мкм, выполняемые в рамках Федеральной программы.

С 2002 г. ОКБ развивает новое для себя направление по разработке и производству прецизионных термокомпенсированных стабилитронов (ПТС) с напряжением стабилизации 6,3 В при токе стабилизации 0,5 мА и, в том числе, – стойких к воздействию радиации.

В настоящее время ОКБ выпускает серию ПТС 2С175ЦА – 2С175ЦЕ с напряжением стабилизации ($U_{ст}$) 6.3 В $\pm 1\%$ при токе 0.5 мА с температурным коэффициентом напряжения стабилизации ($\alpha U_{ст}$) 0.002, 0.001, 0.0005 $\%/^{\circ}\text{C}$ (нормируется в диапазоне температуры от минус 5 до + 65 $^{\circ}\text{C}$) и временной нестабильностью напряжения стабилизации ($\delta U_{ст}$) 0.02, 0.01% за любые 1000 часов минимальной наработки (нормируется при температуре 45 $^{\circ}\text{C}$) в малогабаритном стеклянном корпусе типа КД-2. Основные параметры прецизионных стабилитронов 2С175ЦА – 2С175ЦЕ приведены в таблице 3.

Кремниевые ПТС широко применяются в качестве высокоточных источников опорного напряжения при построении различных средств прецизионной измерительной техники: цифровых вольтметров, мультиметров, калибраторов тока и напряжения, потенциометров и др. Для передачи размера единицы напряжения постоянного тока от эталона Вольта, построенного на эффекте Джозефсона, к хранителю размера единицы Вольта – группе нормальных элементов – используют твердотельные меры. Такие переносные образцовые меры строят исключительно на основе ПТС.

ФГУП «НЗПП с ОКБ» в настоящее время развивает направление ПТС главным образом в интересах ОАО «МОРИОН», г.Санкт-Петербург, применяющего ПТС серии 2С175ЦА-2С175ЦЕ в производстве прецизионных пьезоэлектронных приборов стабилизации и селекции частоты – кварцевых генераторах, резонаторах и фильтрах, предназначенных для средств глобальных систем сотовой связи (CDMA) и навигации (ГЛОНАСС/GPS), аварийно-спасательной и контрольно-измерительной техники.

Таблица 3

Наименование параметра, режим измерения, единица измерения	Букв. обозначение	Норма		
		мин	тип	макс
Напряжение стабилизации, В, при токе стабилизации $I_{СТ} = 0,5$ мА и температуре окружающей среды $\theta_{ОКР} = (25 \pm 10)^\circ\text{C}$	$U_{СТ}$	6,24	6,3	6,36
Дифференциальное сопротивление, Ом, при токе стабилизации $I_{СТ} = 0,5$ мА и температуре окружающей среды $\theta_{ОКР} = (25 \pm 10)^\circ\text{C}$	$r_{СТ}$		160	200
Временная нестабильность напряжения стабилизации за 1000 ч, мВ 2С175ЦА, 2С175ЦБ, 2С175ЦВ 2С175ЦГ, 2С175ЦД, 2С175ЦЕ	$\delta U_{СТ}$			
			0,3	0,63
Температурный уход напряжения стабилизации, мВ, в диапазоне температур от минус 5 до 65 $^\circ\text{C}$ 2С175ЦА, 2С175ЦГ 2С175ЦБ, 2С175ЦД 2С175ЦВ, 2С175ЦЕ	$\Delta U_{СТ\theta}$			
			6,0	8,4
			3,0	4,2
Температурный коэффициент напряжения стабилизации, $\%/^\circ\text{C}$, в диапазоне температур от минус 5 до 65 $^\circ\text{C}$ 2С175ЦА, 2С175ЦГ 2С175ЦБ, 2С175ЦД 2С175ЦВ, 2С175ЦЕ	$\alpha U_{СТ}$			
			0,0015	0,0020
			0,0008	0,0010
		0,0003	0,0005	

Для решения задач временной синхронизации пространственно разнесённых многочисленных объектов требуются не единичные приборы, а крупные серии идентичных прецизионных кварцевых генераторов с объёмом выпуска тысячами в месяц. Соответственно необходимо крупномасштабное производство ПТС, тем более, что дополнительными потребителями наших

ПТС могут стать – ФГУП «НПЦ АП», г.Москва, ГП «МИТ», г.Москва, Рязанский приборостроительный завод, ОАО «АВАНГАРД», г.Санкт-Петербург и др. И это реализуемо, так как производство ПТС на нашем предприятии базируется на отлаженном массовом производстве термокомпенсированных стабилитронов общего назначения типа КС405А, что позволяет обеспечить практически любую потребность в ПТС отечественной промышленности.

Высокая стабильность ПТС обеспечивается как особой конструкцией и технологией их изготовления, так и специальной термотокковой тренировкой в режиме, приближенном к предельно допустимой мощности. В частности, стабилитроны серии 2С175ЦА-2С175ЦЕ тренируются в течение 1000 часов при температуре 125 °С. Как показали исследования, это достаточно для обеспечения их стабильности классов 0.02, 0.01.

В развитии направления сверхстабильных термокомпенсированных стабилитронов ОКБ тесно сотрудничает с Сибирским Институтом Метрологии (СНИИМ), г.Новосибирск, располагающем эталоном Вольта. Специально для нас СНИИМ разработал образцовую меру на 6.3 В и в настоящее время проводит её аттестацию. Это позволит обеспечивать разработки и выпуск ПТС с временной нестабильностью классов 0.005, 0.001 и лучше.

Актуальной является задача повышения радиационной стойкости прецизионных стабилитронов. Отечественные ПТС типов 2С108, 2С117 характеризуются стойкостью к воздействию спецфакторов соответственно 1Ус, 5Ус. Требуется достижение спецстойкости ПТС на уровне 6Ус.

Так как низковольтные (6.3 В) ПТС изготавливаются на кремнии, легированном до 10^{19} см⁻³, время жизни неосновных носителей в котором чрезвычайно мало, тем самым уже обеспечивается их спецстойкость на уровне порядка 5Ус. Для обеспечения более высокой стойкости ПТС к спецфакторам необходимо будет введение в маршрут изготовления ПТС специальных технологических обработок.

В настоящее время в ОКБ в рамках Гособоронзаказа проводится ОКР “Новшество” со сроком окончания в 2006 г. по разработке прецизионных стабилитронов в корпусе типа КД-2 (DO-35), устойчивых к воздействию специальных факторов по группе 6Ус.

В связи с тенденциями всё более широкого использования компонентов, пригодных для поверхностного монтажа, а также в микросборках, ОКБ готово провести разработки модификаций термокомпенсированных прецизионных стабилитронов в корпусах типа SOD-87, SOT-23, а также в бескорпусном исполнении с гибкими выводами, соответственно.

Можно рассчитывать на то, что ПТС серии 2С175ЦА-2С175ЦЕ получат дальнейшее развитие и составят серьёзную конкуренцию отечественным аналогам – стабилитронам серий 2С108, 2С117 (6.4 В при токе 7.5 мА, корпус

КД-4А). Оригинальность конструкции и технологии изготовления ПТС нашего предприятия, защищённая патентом на изобретение № 2162622 с приоритетом от 25.06.1999 г., наряду с относительно низкой ценой, позволяют надеяться на достаточную их конкурентоспособность также и на мировом рынке.

Наше предприятие выпускает несколько серий радиационностойких нетермокомпенсированных стабилитронов, таблица 4:

Таблица 4

В П	Типономиналы	ГОСТ РВ 20.39.414.2-97							
		7И ₁	7И ₆	7И ₇	7С ₁	7С ₄	7К ₁	7К ₄	7И ₈
5	2С156Ф	6Ус	6Ус	6Ус	6Ус	5Ус	4К	2К	0.01 x 2Ус
5	2С210К-1	5Ус	5Ус	6Ус	6Ус	5Ус	3К	0.5 x 1К	0.3 x 6Ус
5	2С551А-2С600А	5Ус	5Ус	6Ус	6Ус	5Ус	3К	1К	2Ус
9	Д818А-Д818Ж	1Ус	2Ус	1Ус	1Ус	1Ус	1К	1К	
9	2С175Ж-2С224Ж	5Ус	5Ус	6Ус	6Ус	5Ус	3К	1К	
9	2С175Ц-2С224Ц	5Ус	5Ус	6Ус	6Ус	5Ус	3К	1К	
9	2С133А-2С168А	6Ус	6Ус	6Ус	6Ус	5Ус	3К	1К	
9	2С191Ж	5Ус	5Ус	6Ус	6Ус	5Ус	3К	1К	
9	2С139А-2С512А	5Ус	5Ус	6Ус	6Ус	5Ус	3К	1К	
9	2С433А1-2С456А1	5Ус	5Ус	6Ус	6Ус	5Ус	3К	1К	
9	2С468А1-2С536А1	5Ус	5Ус	6Ус	6Ус	5Ус	3К	1К	

Необходимо обратить внимание на одну из серьёзных проблем, сдерживающих развитие направления разработки и производства стабилитронов.

Мы в достаточной степени владеем технологией изготовления кристаллов ПТС, в какой-то мере знаем и умеем отбирать и тренировать кандидатов в прецизионные стабилитроны, в какой-то мере располагаем и способны развивать средства метрологического обеспечения производства ПТС. Это – то, что в наших возможностях.

Но есть значимая и труднопреодолимая в условиях развала нашей науки и промышленности проблема, сдерживающая развитие разработок и производства стабилитронов – обычных, термокомпенсированных и, в том числе, прецизионных. И особенно – в малогабаритных стеклянных корпусах КД-2 (для навесного монтажа), SOD-87 (для поверхностного монтажа).

Качество и технические характеристики отечественного корпуса КД-2 не выдерживают никакой критики в сравнении с его полным (по габаритам) зарубежным аналогом – корпусом DO-35, в котором во всём мире изготавливаются все стабилитроны такой модификации. Качество изготовления деталей корпуса КД-2 на нашей инструментальной базе – причина значительного количества брака на маршруте изготовления и рекламаций серийных стабилитронов из-за просто отрыва платинитовых гибких выводов от головки в месте их сварки. Материалы, применяемые в производстве деталей

корпуса КД-2: стекло С93-1 с содержанием натрия на порядок большим, чем стекло корпуса DO-35, платинит гибкого вывода с относительно высоким тепловым сопротивлением – причины рекламаций, связанных, соответственно, с нестабильностью ВАХ (обратного тока) стабилитронов, и ограничения предельной рассеиваемой мощности отечественных стабилитронов – на уровне порядка 250 мВт. Аналогичные зарубежные стабилитроны в корпусе DO-35 с выводами из сталемедной проволоки характеризуются статической мощностью 500 мВт.

Корпус SOD-87 в РФ вообще не производится. Его производство на нашем предприятии ведётся по модифицированной технологии и из тех же материалов, что и корпус КД-2, и по этой причине также не удовлетворяет по качеству и техническим возможностям.

Таким образом, так как в РФ производство серийных стабилитронов в корпусе КД-2 носит массовый характер, а в корпусе SOD-87 должно таковой носить, для электронной промышленности необходимо решение комплексной задачи разработки и производства стекла (ОАО «НПЦ НИИЭС») и сталемедной проволоки с параметрами материалов, применяемых в производстве зарубежных корпусов DO-35, SOD-87, а также размещения производства корпуса КД-2 (DO-35) на специализированном предприятии с качественной инструментальной базой. До решения этой принципиальной проблемы приходится ориентироваться на импортные детали корпусов DO-35, SOD-87.

В заключение нужно сказать следующее. На ФГУП «НЗПП с ОКБ» действует система качества для обеспечения выполнения Государственного оборонного заказа на разработку и производство интегральных микросхем и полупроводниковых приборов, удовлетворяющая требованиям ГОСТ РВ 20.57.412-97, ГОСТ Р ИСО 9001-96. Предприятие имеет лицензии на разработку и производство изделий для вооружения и военной техники. Предприятие сохранило основные научные и производственные кадры. То есть ФГУП «НЗПП с ОКБ» обладает достаточным потенциалом для поддержания на хорошем уровне и развития разработок и производства КМОП интегральных схем и стабилитронов.