

Технологические возможности Центра микроэлектроники при создании микроэлектронных модулей



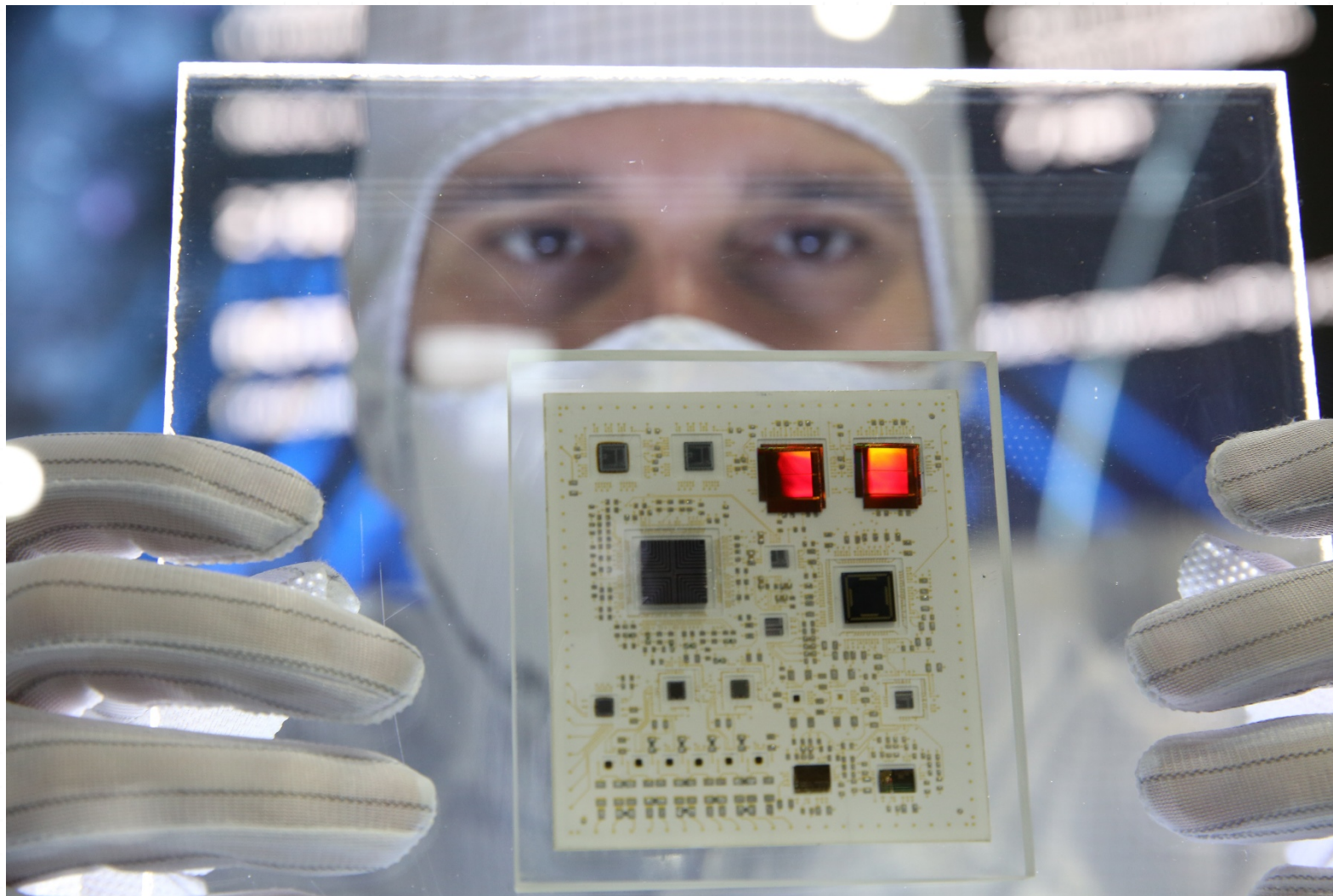
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«РОССИЙСКАЯ КОРПОРАЦИЯ РАКЕТНО-
КОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ»

Докладчик: ктн Рахвалов В.В.





Технические вопросы создания МЭМ





Технические требования к МЭМ условно разделены на четыре группы:

1. Требования к различным видам памяти FLASH, MRAM, DDR, EEPROM
2. Требования к МЭМ для СВЧ аппаратуры ВЧ ПРМ, ЦПРМ, ФОС
3. Требования к МЭМ для цифровой обработки МЦСОГРС, ЦОСРС
4. Требования к МЭМ для оптических средств связи ФПУ, ФДМ



Требования к различным видам памяти FLASH, MRAM, DDR, EEPROM

Наименование микросхемы, требующий замены	3DMR1M08VS1426 IS (MRAM), 3DEE1M08CS1193 IS (EEPROM)	3DMR2M16VS2427 SS	3DMR64M08VS447 6 SS	3D2D4G72UB3652 IS R6B	3DFN64G08VS430 9 IS R25	3DSS24G08VS3626 SS
Тип используемого кристалла памяти	MRAM	MRAM	MRAM	SD RAM	NAND Flash	NAND Flash, контроллер
Объем памяти, не менее	1 Мбит	1 Мбит	64 Мбит	4 Гбит	64 Гбит	24 Гбит
Организация памяти	128k x 16	8M x 8	128k x 8	4,096 blocks of 4,8,12 Mb	128k x 8	64Mx72
Время доступа (чтение, запись), нс	35	50	35			
Напряжение питания, В	3,3±0,3 (5)	3,0-3,6	3,0-3,6	1,8±0,1	3,0-3,6	3,0-3,6
Ток потребления в режиме чт/зап, мА	<120/120	<80/150	<10/250			
Температурный диапазон, °C	минус 40...+85	минус 55...+85	минус 55...+85	минус 40... +85	минус 40... +85	минус 40...+85



Требования к различным видам памяти FLASH, MRAM, DDR-2, EEPROM



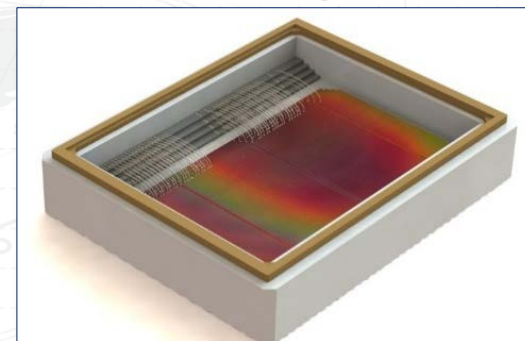
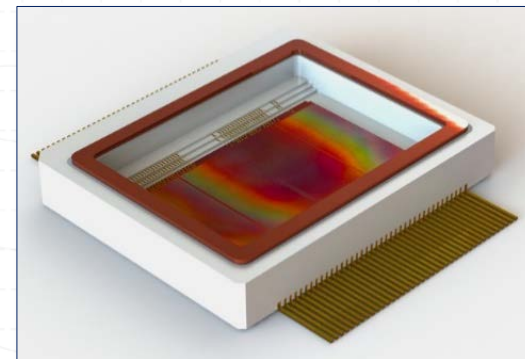
Модули энергонезависимой электрически перепрограммируемой памяти NAND Flash;



Модули динамического оперативного запоминающего устройства DDR;

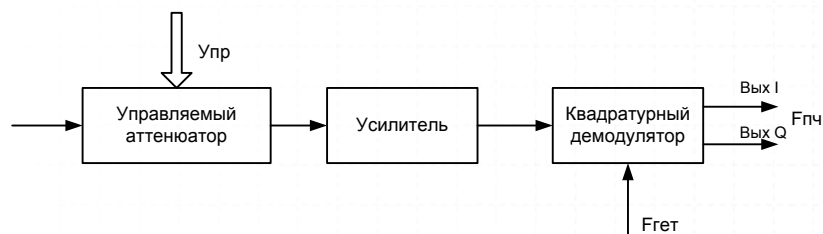


Модули MRAM памяти различной емкости.





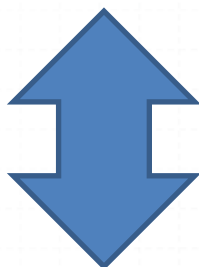
Требования к МЭМ для ВЧ ПРМ



Высокочастотное приемное устройство (ВЧ ПРМ) предназначено для управляемого усиления запросного сигнала и переноса спектра входного сигнала на квадратурную промежуточную частоту (IQ преобразование).

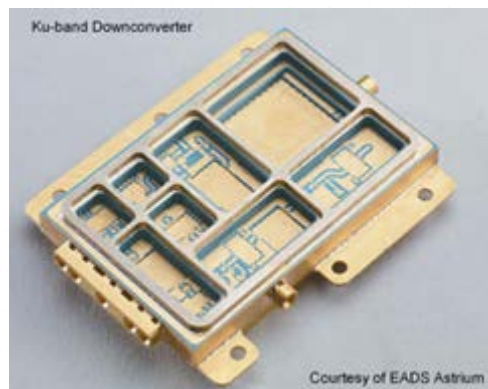
В состав МЭМ входят следующие элементы:

- управляемый аттенюатор;
- усилитель;
- квадратурный демодулятор.



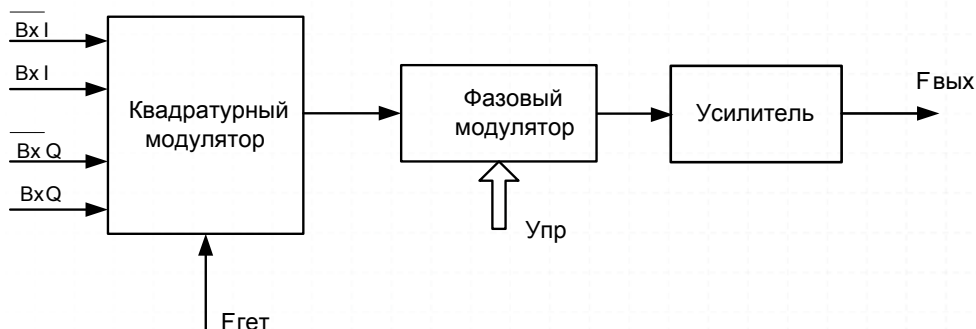
Параметры МЭМ:

1. Частота входного сигнала $FBX = 5715...5765$ МГц.
2. Частота сигнала гетеродина $FGET = 5665...5765$ МГц.
3. Диапазон изменения промежуточной частоты $FПЧ = 0,01...50$ МГц.
4. Мощность входного сигнала $PВХ = -(150 \dots 60)$ дБВт.
5. Коэффициент усиления (при замкнутых контактах A1, A2) $K = (35 \pm 1,0)$ дБ;
6. Неравномерность АЧХ в полосе входных частот не более 0,5 дБ.
7. КСВ входа не более 2.0 (волновое сопротивление входного тракта 50 Ом).
8. Динамический диапазон аттенюатора (0...30) дБ с шагом 1 дБ.
9. Коэффициент нелинейных искажений, измеренный 2-х частотным методом при $PВХ_{max}$ не более минус 25 дБ.
10. Разность фаз между квадратурными выходами $\Phi = (90 \pm 2)^\circ$.
11. Разность амплитуд между квадратурными выходами не более 0,4 дБ.
12. КСВ входа гетеродина не более 1,5.
13. Входной уровень сигнала гетеродина $PGET = (0 \dots 5)$ дБмВт.
14. Напряжение питания МЭМ $UП = 5$ В (3 В).





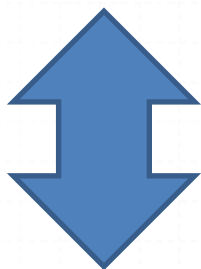
Требования к МЭМ для ФОС



ВЧ ФОС предназначен для формирования спектра выходного сигнала ППУ

В состав МЭМ входят следующие элементы:

- квадратурный модулятор;
- фазовый модулятор;
- усилитель.



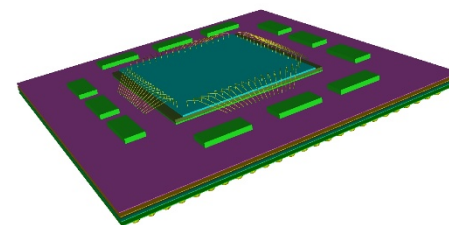
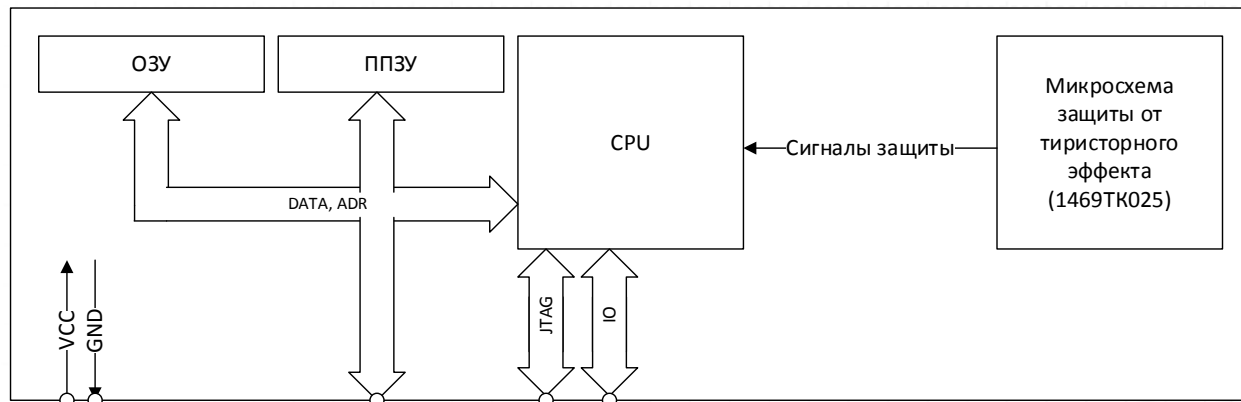
Параметры МЭМ:

1. Диапазон частот выходного сигнала от 3380 до 3450 МГц.
2. 3.2 Диапазон частот модулирующих квадратурных сигналов
3. F – от нуля до 100 МГц.
4. 3.3 Подавление сигнала гетеродина на выходе модулятора не менее 30 дБ.
5. 3.4 Входной уровень сигнала гетеродина (0...5) дБмВт.
6. 3.5 Фазовый модулятор – количество дискрет фазы N = 26.
7. 3.6 Максимальная тактовая частота управляющего сигнала 20 МГц.
8. 3.7 Неравномерность уровня выходного сигнала в рабочем диапазоне не более 0,5 дБ. В любой полосе 20 МГц в рабочем диапазоне частот неравномерность должна быть не более 0,2 дБ.
9. 3.8 Выходная мощность P1дБ при коэффициенте нелинейных искажений не более минус 25 дБ - не менее 5 мВт.
10. 3.9 КСВН выхода для линии с волновым сопротивлением 50 Ом в рабочем диапазоне частот – не более 1,5.





Требования к МЭМ для МЦСОГРС



МЭМ многоканального цифрового синтеза отсчетов групповых радиосигналов (МЦСОГРС) должен содержать в себе следующие основные функциональные узлы:

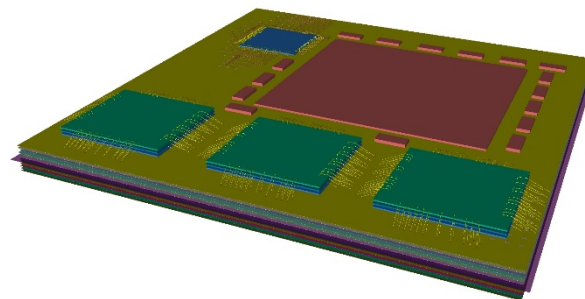
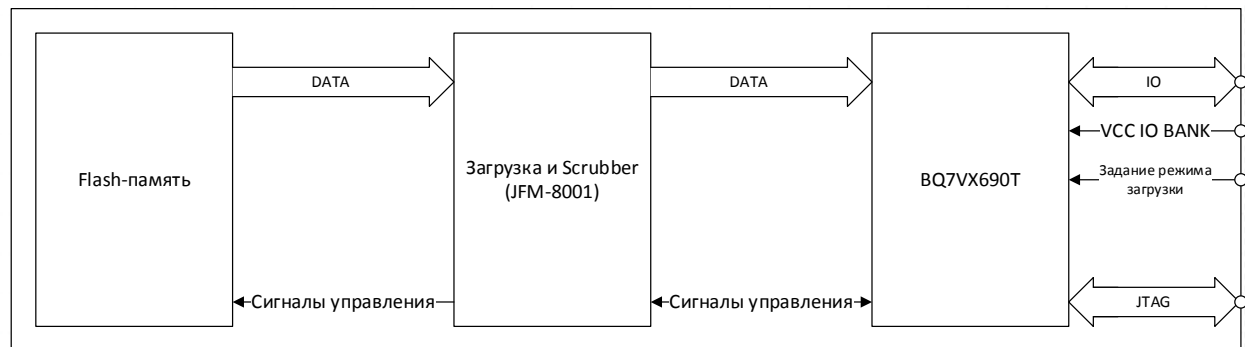
- Кристалл микропроцессора 1892BM206 или аналогичный;
- ППЗУ не менее 128 Мбит;
- ОЗУ/DDR не менее 128 Мбит;
- Элемент защиты от тиристорного эффекта (1469TK025 указан для примера).

Параметры МЭМ:

1. Все линии тактирования ПЛИС должны быть идентичны друг другу иметь минимальные длины внутри МЭМ и вносить минимальные искажения тактового сигнала.
2. Объем ЭСПЗУ не менее 32 Мбайт.
3. Частота работы микропроцессора МЭМ МЦСОГРС не менее 100МГц.



Требования к МЭМ для ЦОСРС



МЭМ цифровой обработки и синтеза радиосигналов (ЦОСРС) должен содержать в себе следующие основные функциональные узлы:

- кристалл ПЛИС BQ7VX695T;
- ЭСППЗУ для хранения данных конфигурации ПЛИС;
- контроллер целостности прошивки ПЛИС (scrubber).

Параметры МЭМ:

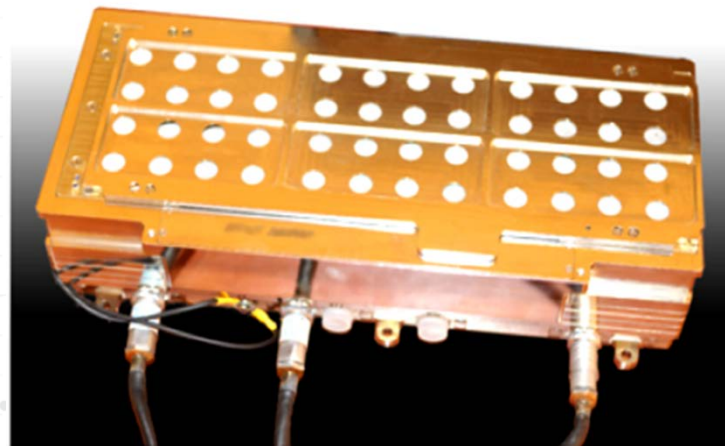
1. Частота обмена по портам ввода-вывода и тактирования ПЛИС МЭМ ЦОСРС от 0 до 600МГц.
2. Все линии тактирования ПЛИС должны быть идентичны друг другу иметь минимальные длины внутри МЭМ и вносить минимальные искажения тактового сигнала.
3. Объем ЭСППЗУ не менее 32 Мбайт.



Требования к МЭМ для ФПУ

Блок регистрации грозовой активности «БРГА-2» изображен на рисунке.

На нем установлено 48 модулей с микросхемой UIC1203, которые будут замены вновь разрабатываемыми МЭМ ФПУ. В результате планируется сократить количество используемых модулей с 48 до 12 при сохранении функционала, соответственно значительно улучшаются массогабаритные характеристики (в 4 раза). Планируется ставить на борт два таких новых МЭМ (вместо одного), один из которых будет находиться в холодном резерве.



Параметры МЭМ:

- модуль фотоприемного устройства, содержащий СнК, предназначенную для обнаружения и идентификации быстро перемещающихся и/или меняющих яркость малоразмерных целей;
- размер матрицы – 256x256 пикселей;
- кадровая частота - не менее 1300 Гц;
- частота SPI – не менее тактовой частоты/4;
- металлокерамический корпус с входным окном, содержащий СнК, обеспечивающую выполнение функционала, приемник-преобразователь сигнала LVDS-CMOS для преобразования тактового сигнала, схемы питания.

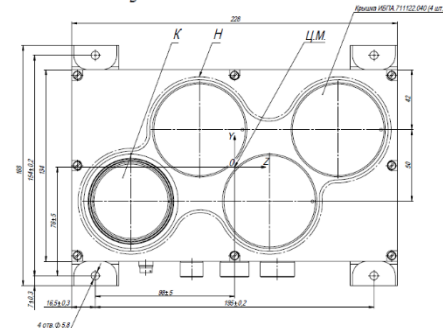
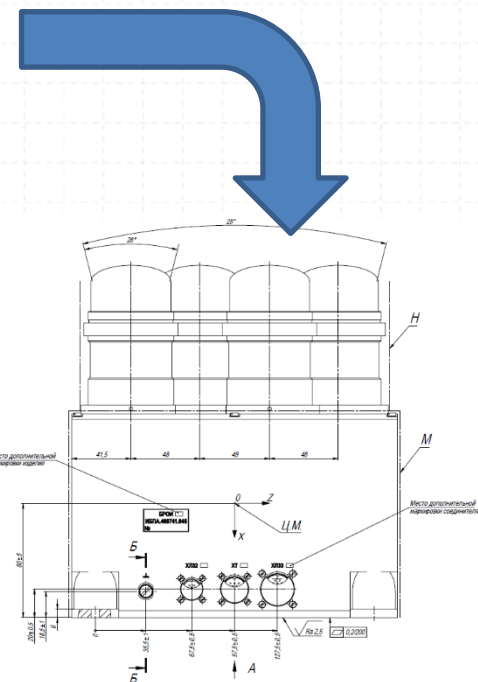
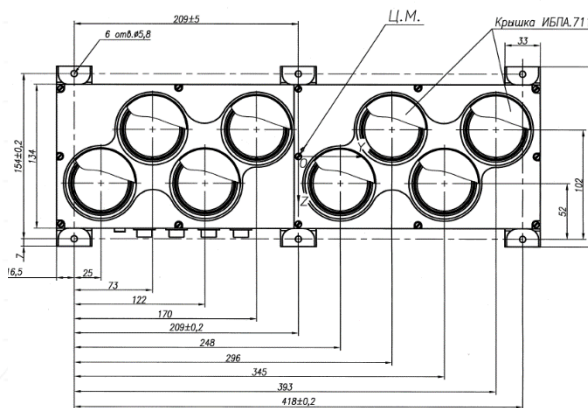
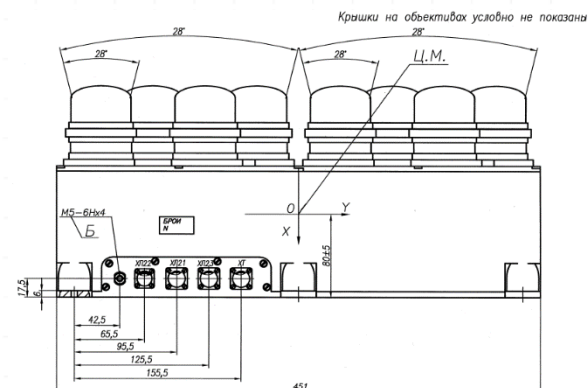


Требования к МЭМ для ФДМ

МЭМ ФДМ будет использоваться в блоке регистрации оптического излучения (БРОИ) – за счет повышения чувствительности модуля сокращаем размер блока в 2 раза: соответственно 2 чертежа – старый и новый представлены на рисунке. Аналогично ФПУ, вместо большого старого блока планируется ставить 3 новых - повышение надежности, и отказ от импортных комплектующих (импортозамещение).

Параметры МЭМ:

- модуль приема оптического излучения, содержащий матрицу фотоприемных устройств;
- количество каналов (элементов матрицы) – 16;
- полоса пропускания канала – 0,1-35 КГц;
- пороговая освещенность на длине волны 0,66 мкм – не хуже $1,6 \cdot 10^{-9}$ Вт/см²Гц^{1/2};
- металлокерамический корпус с входным окном, содержащий 16 фотоприемных устройств (фотодиодов в бескорпусном исполнении), усилительные элементы, чип-излучатели, пассивные компоненты.





В настоящее время нормативная документация для создания МЭМ отсутствует.

Система отечественных нормативных требований к гибридным микросхемам, в том числе, микросборкам и многокристальным модулям, весьма запутанна.

В последний раз требования к гибридным микросхемам устанавливались 30 лет назад, в ОСТ В 11 073.041-82 «Микросхемы интегральные. Общие технические условия», при этом в стандарте были предусмотрены система и программы контрольных испытаний, единые для полупроводниковых и гибридных микросхем. С другой стороны, в 2001 году введен в действие отраслевой стандарт ОСТ В 11 1009-2001 «Многокристальные модули. Микросборки. Общие технические условия», разработанный взамен ГОСТ В 28431-90 «Микросборки. Общие технические условия», который, однако, распространяется только на подмножества гибридных микросхем – микросборки и многокристальные модули.

Программы контрольных испытаний, включенные в отечественные общие технические условия на микросборки и многокристальные модули ОСТ В 11 1009-2001, являются разными (но схожие) вариантами программ, регламентируемых общими техническими условиями на микросхемы ОСТ В 11 0998-99. Таким образом, авторы стандарта впервые за 30 лет проявили похвальную самостоятельность, не стали оглядываться на зарубежный опыт и создали вполне самостоятельный документ, не имеющий, увы, ничего общего с технической логикой и реальной жизнью, если его требования к программам испытаний воспринимать буквально.



Оценка безвозвратных потерь микросборок, многокристальных модулей, гибридных микросхем, связанных с проведением контрольных испытаний		ОСТ В 11 1009	ОСТ В 11 073.041	MIL-PRF-38534H
в единицах годных изделий, шт.	при проведении квалификационных испытаний (ОКР или постановка на производство)	120 – 150	123	8
	при проведении приемо-сдаточных и периодических испытаний (серийное производство)	100 – 150	70	нет
в денежном эквиваленте, млн. руб	при проведении квалификационных испытаний (ОКР или постановка на производство)	24 – 30	25	1,6
	при проведении приемо-сдаточных и периодических испытаний (серийное производство)	20 – 30	14	нет

Для подтверждения качества изделий в настоящее время используется только проведение большого количества испытаний, что критично при ограниченном количестве страхового запаса кристаллов/пластин.



Основываясь на идеологии ИСО 9000 (в редакции 1987 года) стратегия гарантирования качества должна опираться на оптимум в шестимерном пространстве при создании МЭМ

Изготовитель	Потребитель
Затраты	Затраты
Доход	Доход
Риски	Риски



Определить модели испытаний МЭМ и неукоснительно ей следовать.

Модель 1	Модель 2	Модель 3
Проверка качества изделия на стадии проектирования (когда испытаниями невозможно определить соответствие изделия потребностям потребителя)	Испытания изделия в необходимом объеме и проведение непосредственной проверки технологии производства в том числе методами статистического контроля (SPC)	Только испытания репрезентативной выборки из партии для подтверждения гарантии качества
При разработке специализированного кристалла	При изготовлении МЭМ, коммутационных плат и других отечественных изделий при наличии отчетов SPC	Покупные кристаллы, пассивные элементы и т.д.



Мы считаем, что необходимо определить другой подход к гарантии качества МЭМ:

1. Основываясь на идеологии ИСО 9000 (в редакции 1987 года) стратегия гарантирования качества должна опираться на оптимум в шестимерном пространстве при создании МЭМ
2. Определить на основании модели испытаний МЭМ программы испытаний и неукоснительно ей следовать.
3. Определить последовательность использования выбранных моделей испытаний серийных МЭМ.
4. Разработать общие технические условия создания МЭМ, основываясь в части организации работ на Положение РК-11-КТ, в части технических требованиях на комплекс стандартов «Мороз-6», а в части контроля качества на комплекс стандартов «Климат-7».



Разработан проект стандарта организации

«Микроэлектронные модули. Правила конструирования.»

Стандарт распространяется на электронные модули, вновь разрабатываемые и изготавливаемые на производственной базе центра Микроэлектроники.

Общие положения

- Область применения, нормативные ссылки, определения и сокращения

Требования к компонентам и конструкционным материалам модуля

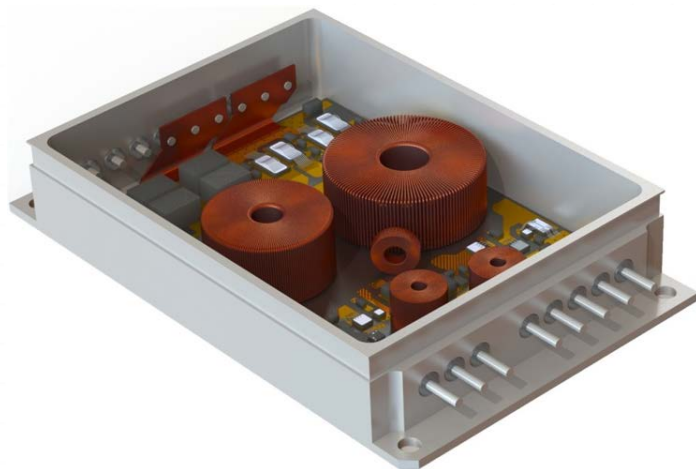
- Требования к активным и пассивным компонентам, к платам, к корпусам

Требования к монтажу составных частей модуля

- Требования к монтажу компонентов на плату, к монтажу межсоединений, к формированию корпуса

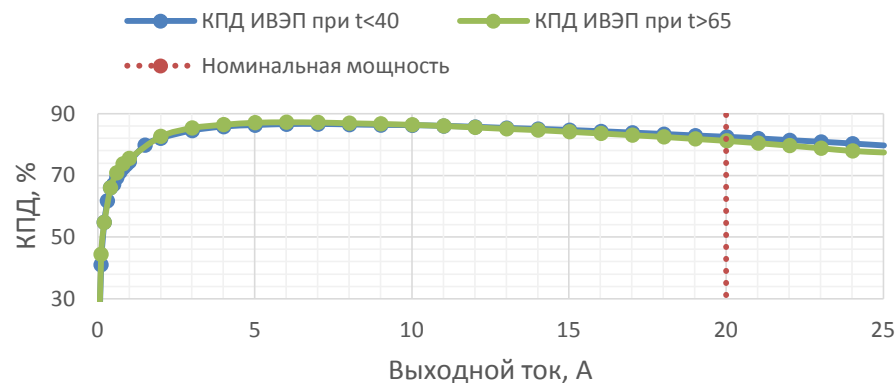


ИВЭП-РКС-100-5-20

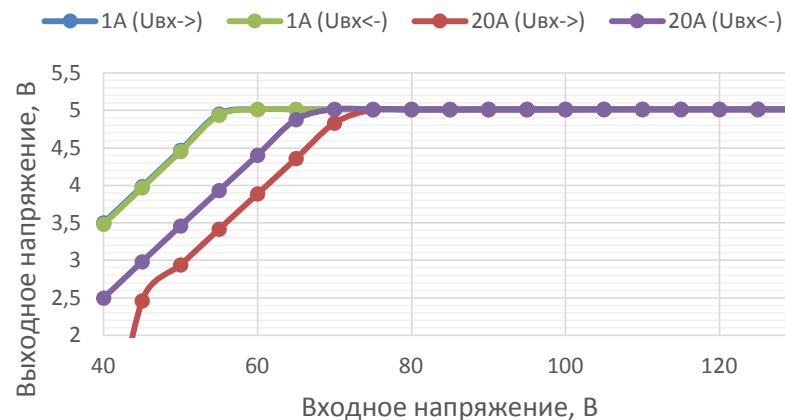


Выходное номинальное напряжение 5 В
 Выходной номинальный ток не менее 20 А
 Пульсация выходного напряжения не более $\pm 1\%$
 Суммарная нестабильность выходного напряжения не более $\pm 5\%$
 КПД при любом значении выходного тока от $0,3 \cdot I_{\text{вых.н}}$ до $I_{\text{вых.н}}$ не менее 80 %
 КПД при $0,5 \cdot I_{\text{вых.н}}$ не менее 85 %

Зависимость КПД от выходного тока с ИВЭП
 (Входное напряжение 100В, нагрузка электронная в режиме постоянного тока).

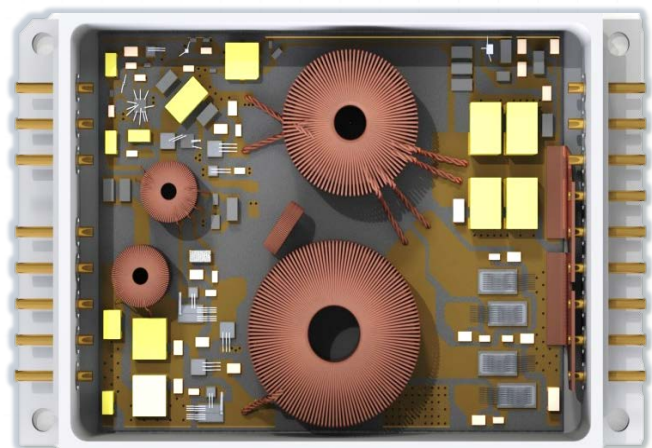


Зависимость выходного напряжения от входного при нагрузках 1А и 20А

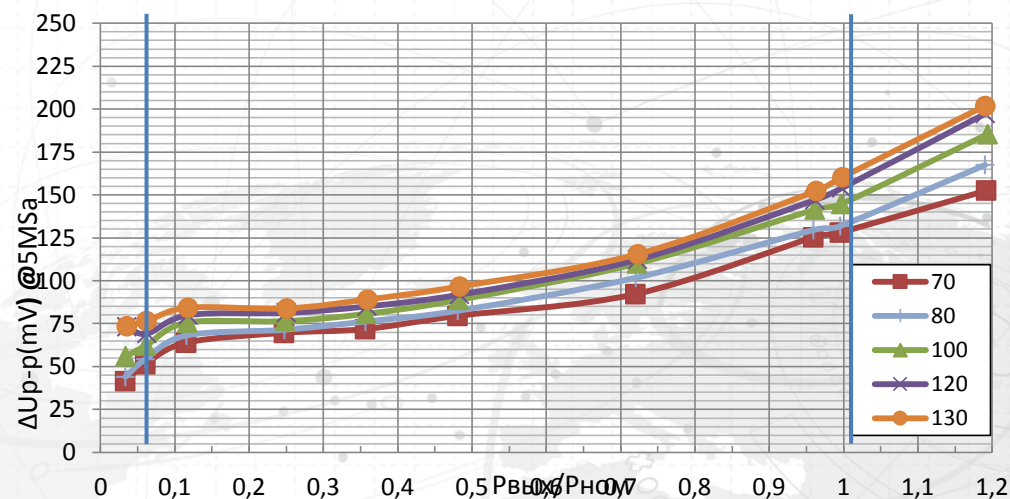
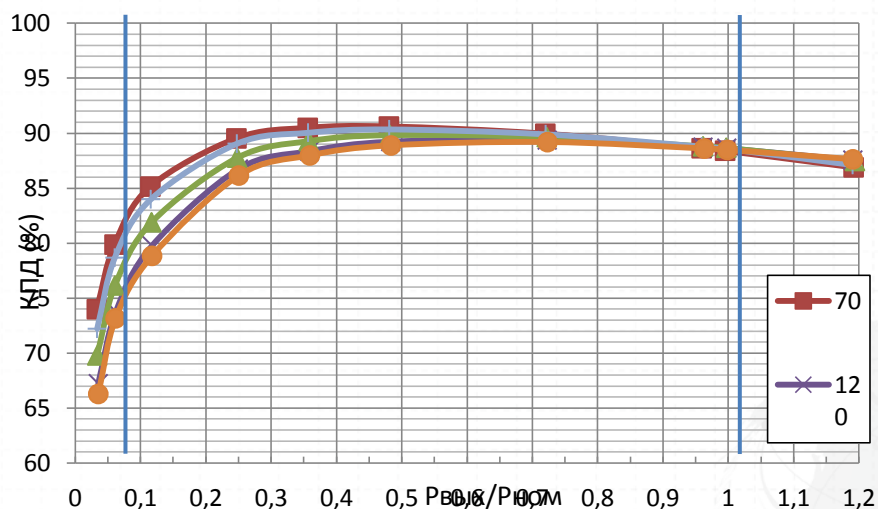




ИВЭП-РКС-100-12-8,33



Выходное номинальное напряжение 12 В
Выходной номинальный ток не менее 8,33 А
Пульсация выходного напряжения не более $\pm 1\%$
Суммарная нестабильность выходного напряжения не более $\pm 5\%$
КПД при любом значении выходного тока от $0,3 \cdot I_{\text{вых.н}}$ до $I_{\text{вых.н}}$ не менее 83 %
КПД при $0,5 \cdot I_{\text{вых.н}}$ не менее 88 %





Наименование параметра	Обозн.	Норма параметра ИВЭП12-М-10-								Примечания
		-0,9-11	-1-10	-1,2-8,3	-1,5-6,6	-1,8-5,6	-2,5-4	-3,3-3	-5-2	
Выходное номинальное напряжение, В	$U_{\text{вых.н.}}$	0,9	1	1,2	1,5	1,8	2,5	3,3	5	
Выходной номинальный ток, А	$I_{\text{вых.н.}}$	11	10	8,3	6,6	5,6	4	3	2	1
Технологическое отклонение выходного напряжения, %	$\delta U_{\text{вых}}$	± 1								
Суммарная нестабильность выходного напряжения, %	H_{Σ}	± 4								2
Пульсация выходного напряжения (от пика до пика), %	$U_{\text{пул}}$	$\pm 2,5$						$\pm 1,5$	± 1	2
Собственный пусковой ток ИВЭП, при отсутствии нагрузки, А, не более	$I_{\text{пуск}}$	$1,1 \times I_{\text{вых.н.}}$								
Ток срабатывания регулируемой защиты от перегрузки по току, А	$I_{\text{вых.з.}}$	$0,5 \div 3,5 \times I_{\text{вых.н.}}$								3
Ток потребления по входу питания в выключенном состоянии, мА, не более	$I_{\text{выкл.}}$	1								
Пределы регулирования выходного напряжения, %	-	+ 5		± 5						2, 5
Коэффициент полезного действия от $0,3 \cdot I_{\text{вых.н.}}$ до $I_{\text{вых.н.}}$, не менее (от $0,1 \cdot I_{\text{вых.н.}}$ до $0,3 \cdot I_{\text{вых.н.}}$, не менее)	КПД	68 (54)	72 (57)	76 (59)	80 (63)	82 (66)	85 (70)	87 (70)	89 (70)	4
<p>Примечания</p> <p>1 В диапазоне температур от 60 до 85 °С, выходной номинальный ток снижается по линейному закону до уровня 50 % от значений при нормальных условиях.</p> <p>2 При любом значении выходного тока от $0,1 I_{\text{вых.н.}}$ до $I_{\text{вых.н.}}$ для диапазона температур от минус 50 до плюс 60 °С.</p> <p>3 Установка требуемого значения тока определяется внешними подстроечными элементами.</p> <p>4 При номинальном входном напряжении $U_{\text{вх.н.}} = 12 \text{ В}$.</p> <p>5 На этапе макетирования определяется возможность регулировки выходного напряжения за пределы, установленные в ТЗ, с дальнейшим внесением уточнённых значений в руководство по эксплуатации.</p>										

Создание твердотельных реле для модуля распределения питания и сигналов управления



2018-2019

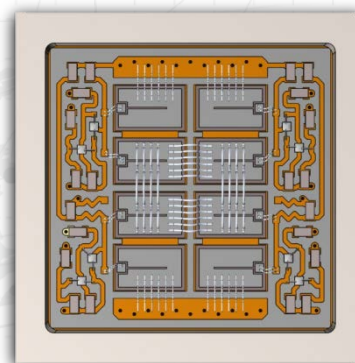
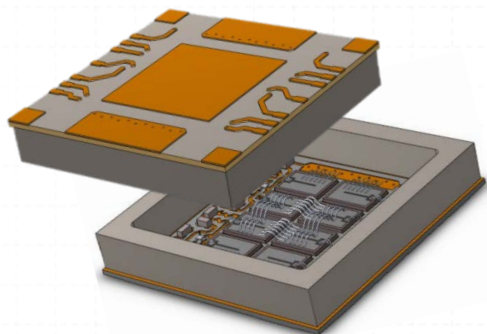
Разработка и изготовление макетов твердотельных реле с использованием AIN плат собственного изготовления **для применения в макете модуля распределения питания и сигналов управления (МРПСУ)**

2019-2020

Разработка твердотельных реле ($I_{ком}=10A$, $U_{ком}=4..20V$, габаритные размеры 20x20x4мм) с использованием AIN плат собственного изготовления для коммутации основного и резервного электропитания 5 и 12 вольт, не хуже зарубежных аналогов

2020-2021

Уменьшение габаритных размеров твердотельных реле до 15x15x4,5мм с сохранением остальных характеристик за счет применения СТВЗ собственной разработки и изготовления



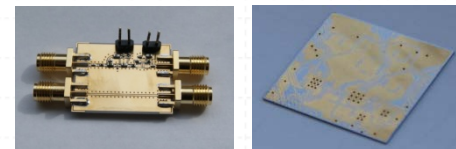
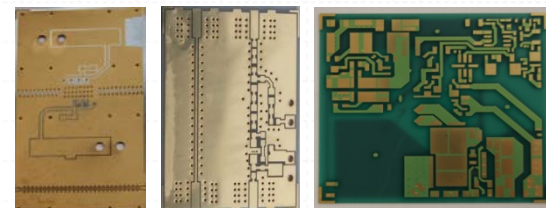
Развитие технологии изготовления коммутационных плат на AlN подложке



2017-2019

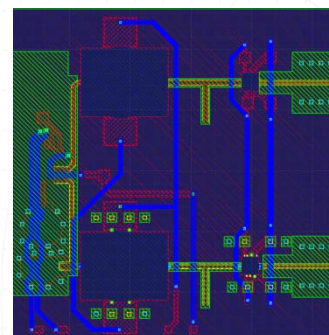
Инвестиционный проект «ВИП». Создана технология изготовления силовых и СВЧ коммутационных плат на основе AlN.

Применение в ИВЭП для прибора МРПСУ

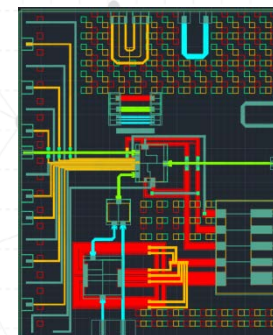


2018-2020

Разработка технологии изготовления многослойных коммутационных плат \



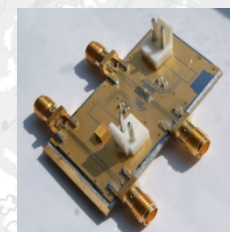
Общий вид топологии 5-слойной коммутационной платы модуля МШУ



Макет 7-слойной СВЧ-платы (СЧ ОКР «ИБИС-КА-НКУ»)

2020-2022

Разработка технологии изготовления многослойных коммутационных плат с возможностью монтажа кристаллов в полость подложки



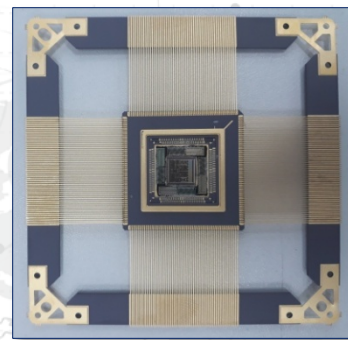
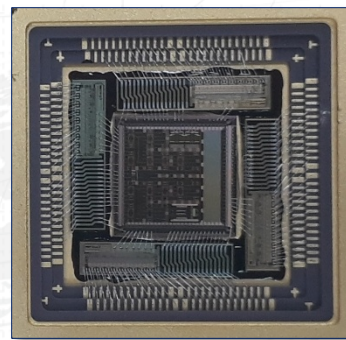
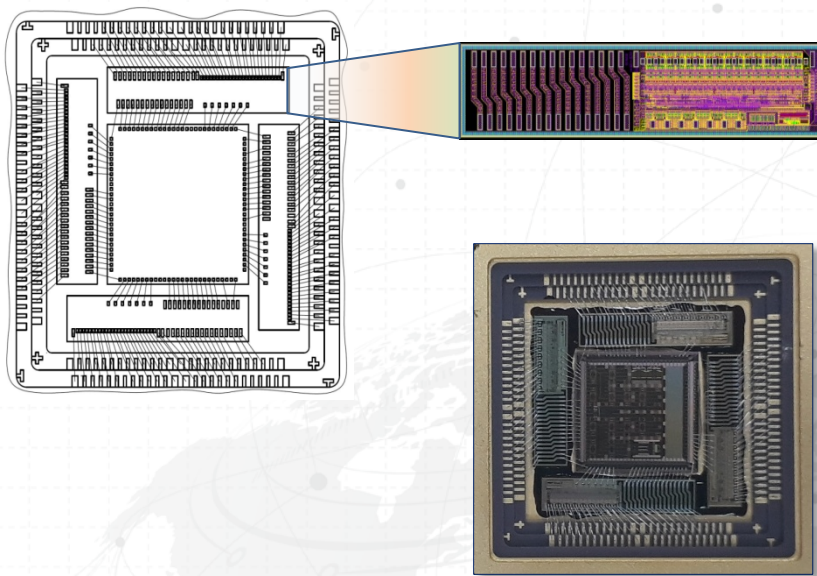


Разработка радиационно-стойкого ИМС многоканального аналогового коммутатора

Многокристалльные модули аналоговых коммутаторов серии 3010 изготавливаются в семи исполнениях, отличающихся друг от друга конфигурацией коммутируемых каналов

- Микросборка: 4 кристалла с ключами и 1 кристалл управляющий;
- Монтаж кристаллов двумя типами клея (токопроводящий и диэлектрический) на одно основание корпуса;
- Микросварка алюминиевой проволокой диаметром 30 мкм в том числе формирование межсоединений с кристалла на кристалл.

Конфигурация коммутируемых каналов (для прямой коммутации)
64 в 1
48 в 1
2 x (32 в 1)
4 x (16 в 1)
8 x (8 в 1)
16 x (4 в 1)
32 x (2 в 1)





СБИС радиационно-стойкого процессора со встроенным сопроцессором космического назначения, предназначенного для применения в составе унифицированных интегрированных бортовых информационных систем для модернизируемых и перспективных КА.

четыре контроллера SpaceWire со скоростью передачи данных до 200 Мбит/с каждый;
восемь интерфейсов RapidIO со скоростью передачи данных 2,5 Гбит/с каждый;
два высокопроизводительных сбоеустойчивых процессорных ядер (отечественной разработки),
каждое со встроенным сопроцессором космического назначения;
контроллер прямого доступа к памяти (DMA);
контроллер внешней памяти DDR2/DDR3;
высокоскоростной коммутатор цифровой информации (до 40Мб/с);
два интерфейса SPI (частота передачи до 60 МГц);
два контроллера интерфейса CAN;
два дифференциальных приемопередатчиков интерфейса CAN;
два контроллера интерфейса МКИО (ГОСТ Р 52070-2003);
32 порта GPIO;
контроллер внешних прерываний на 32 линии(ус-в);
четыре интерфейсных модуля SSP (частота передачи до 60 МГц).

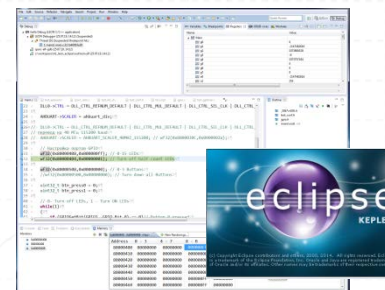


Радиационно-стойкий микропроцессор с вычислительным ядром с архитектурой SPARC V8

Микросхема хорошо интегрирована в концепцию применения микропроцессоров в перспективных приборах и системах БА КА

- 32-битное процессорное ядро с архитектурой SPARC V8
- Рабочая частота 100 МГц
- Широкий набор интерфейсов: SpaceWire, ГОСТ Р 52070-203, SPI, I2C и т.д.
- Среда разработки программного обеспечения Eclipse Kepler SR2
- Система отладки собственной разработки
- Программная библиотека интерфейсов

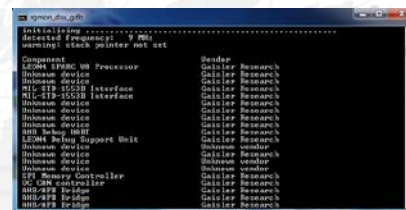
Среда для разработки и отладки приложений Eclipse



Демонстрационно-отладочная плата



Программное средство отладки ОМОН



ПЛИС-макет



Примеры МЭМ, изготовленных в центре микроэлектроники для бортовой аппаратуры



Цифровая аппаратура



Вычислительный модуль

Процессор:

- 32 разряда (MIPS)
- 200 МГц

FLASH – 32 Мбайт

ОЗУ – 40 Мбайт

ППЗУ – 1 Мбайт

Интерфейсы:

- 2xMKO
- 4xSpW

Габариты – 6 x 6 x 0,5 см

Устойчивая к радиации (RadTollerant)

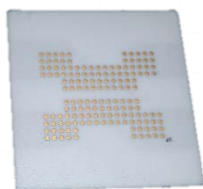


FLASH-память

Типа 3D-plus

4x32 Гбит (16 Гбайт)

Устойчивая к радиации (RadTollerant)



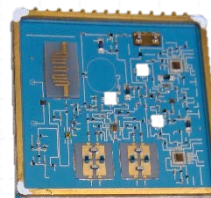
FLASH-память

Типа 3D-plus

8x64 Гбит (64 Гбайт)

Устойчивая к радиации (RadTollerant)

СВЧ аппаратура



Модуль передатчика

Диапазон

– X

Вид модулятора

– квадратурный

Выходная мощность

– 1 дБм

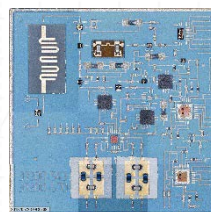
Синтезатор частоты

– встроенный

Габариты

– 6 x 6 x 0,5 см

Устойчивая к радиации (RadTollerant)



Модуль приемника

Диапазон

– X

Вид демодулятора

– квадратурный

Выходная мощность

– 2 x 1 дБм

Синтезатор частоты

– встроенный

Габариты

– 6 x 6 x 0,5 см

Устойчивая к радиации (RadTollerant)



Модуль приемопередатчика

Диапазон

– C

Вид демодулятора

– квадратурный

Вид модулятора

– квадратурный

Выходная мощность

– 2 x 1 дБм

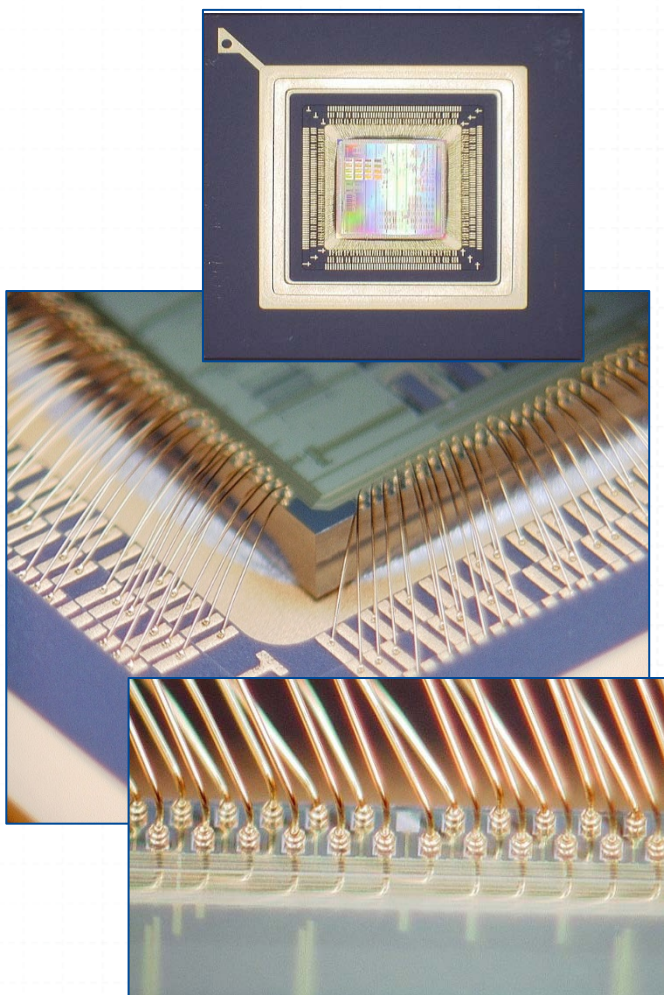
Синтезатор частоты

– встроенный

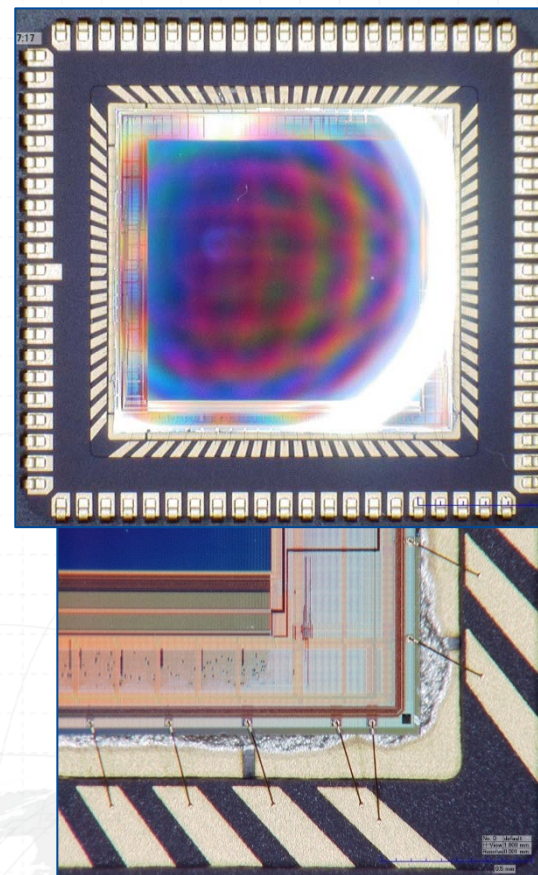
Габариты

– 6 x 6 x 0,5 см

Устойчивая к радиации (RadTollerant)

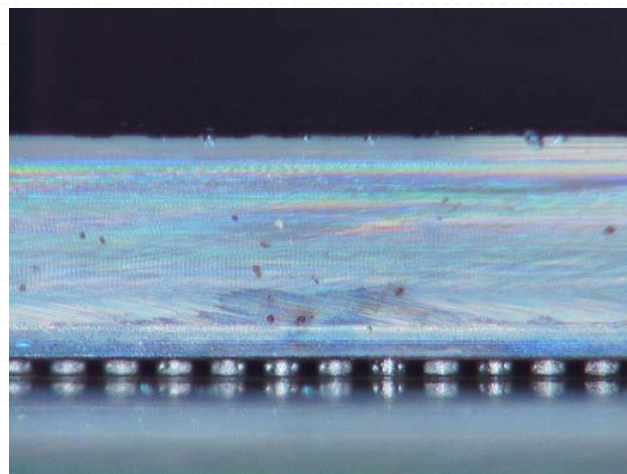
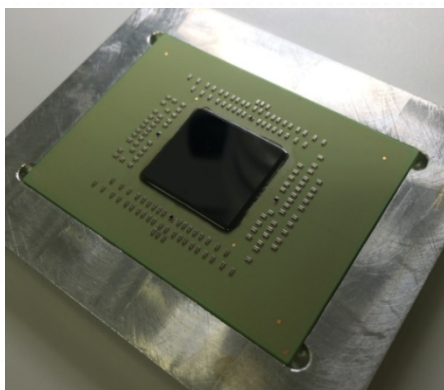
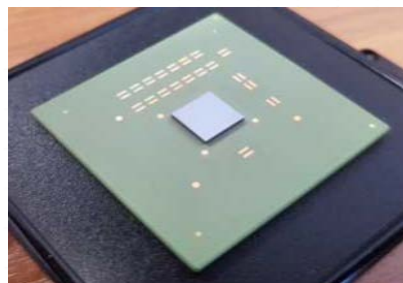


**Формирование проволочных
межсоединений повышенной
сложности**



**Прецизионная сборка
оптических модулей**

Технология монтажа кристаллов методом «перевернутого кристалла» (Flip-Chip)



Микропроцессор «Эльбрус» является перспективным компонентом для применения в наземном сегменте космических комплексов управления космическими аппаратами, приема специнформации и телеметрии.

Для изготовления микропроцессоров необходима технология монтажа кристаллов Flip-Chip, которая успешно внедряется на производственных мощностях центра микроэлектроники.

Перечень освоенных технологических операций:

- резка «бампированных» пластин
- установка кристалла на основание корпуса
- оплавление шариковых выводов
- отмывка флюса между основанием корпуса и кристаллом
- заливка заполняющим компаундом «Underfill»



Спасибо за внимание!