

## РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ МНОГОКРИСТАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ СОЗУ

**В отечественной научно-технической литературе, на сайтах различных предприятий периодически публикуются статьи, в которых доказываются преимущества многокристалльных модулей (МКМ) в деле миниатюризации радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), повышения ее быстродействия, надежности, функциональной сложности, в том числе объема перерабатываемой и хранящейся информации [1–3].**

**А**нализ достижений и тенденций развития МКМ за рубежом показывает, что для получения наивысших технических показателей МКМ следует применять подложки (для монтажа на них кристаллов ИМС и коммутации электрических сигналов), несущие высокоплотную многоуровневую структуру тонкопленочных проводников. К ним относятся шлифованные керамические (стеклокерамические) подложки, подложки из листов (полос) металла (например, из железоникелевого сплава ковар), покрытые стекломалью, которая выполняет роль диэлектрика. Подложками также могут служить пластины монокристаллического кремния. МКМ с такими монтажными (коммутационными) подложками называют модулями Д-типа (МСМ-Д). В них проводники из меди, алюминия или золота расположены в разных уровнях на подложках, а в качестве межуровневого изолятора используются слои, как правило, полиимиды, или бензоциклобутана, и полипараксилилена (парилена). Разновидностью МКМ Д-типа являются МКМ с кремниевыми монтажными подложками (КМП), в которых в качестве диэлектрика между алюминиевыми проводниками на разных уровнях металлизации применяют оксид кремния (МКМ Si-типа или просто МКМ-Si).

Последние полтора десятилетия мировой рынок МКМ стремительно расширяется [4]. Это связано с растущим спросом на портативную и функционально сложную аппаратуру, погоной за быстродействием, необходимостью снижать энергопотребление. МКМ применяют уже практически во всех областях бытовой, промышленной, авиационной и ракетно-космической техники. На многокристалльное исполнение переводится вычислительная техника, связь, сенсорная электроника. В большинстве МКМ присутствуют кристаллы ИМС СОЗУ. В МКМ средней

сложности (от 30–50 до 100 кристаллов) или большой сложности (свыше 100 кристаллов) по классификации, как предложено доктором техн. наук В.А. Тельцом [3], доля кристаллов ИМС СОЗУ может составлять от 20 до 80%.

Функционально однородную группу МКМ составляют МКМ СОЗУ, которые становятся сверхобъемными хранилищами информации, своеобразными "кубами памяти". Универсальность применения и потенциально высокая востребованность позволяют признать МКМ СОЗУ комплектующими, сравнимыми с корпусированными ИМС.

Поэтому развитие МКМ в России изначально было направлено именно на создание широкой номенклатуры МКМ СОЗУ, способной заполнить собой пустующую до сих пор нишу мега- и гигабитовых ИМС СОЗУ. При этом цена таких МКМ СОЗУ на отечественном рынке, с учетом цен на мегабитовые ИМС СОЗУ за рубежом, не должна быть очень высокой.

ОАО "НИИТАП" в течение семи лет последовательно развивает направление МКМ СОЗУ. На предприятии созданы базовая технология изготовления и оптимальные конструктивные решения, которые удовлетворяют жестким требованиям разработчиков специальной аппаратуры.

Ключевым элементом конструктивно-технологических решений МКМ, принятых специалистами ОАО "НИИТАП", является кремниевая монтажная подложка с алюминиевыми проводниками на двух или трех уровнях металлизации, с изоляцией оксидом кремния, т.е. технология МКМ-Si. Такой выбор был обусловлен, во-первых, существующими тенденциями развития МКМ за рубежом, и, во-вторых, состоянием отечественного производства современной керамики (алюмонитридной, стеклокерамики) и других подложечных материалов под тонкопленочную металлизацию (в промышленных объемах такие материалы не выпускаются).

Монокристаллический окисленный кремний в виде пластин диаметром 100 мм и более, используемых для изготовления

В. Бражник, д-р т.н.,  
М. Хохлов, к.т.н.,  
А. Чернышов, к.т.н.  
niitap@mail.comnet.ru



КМП, обеспечивает высокую надежность МКМ СОЗУ благодаря хорошему теплоотводу, механической прочности и термо-механической совместимости КМП с кристаллами ИМС СОЗУ. При производстве КМП можно использовать операции, полностью совместимые с технологическими процессами производства ИМС. Минимизация времени прохождения сигналов достигается благодаря небольшой длине проводников при высокой плотности их трассировки (до 400–800 см/см<sup>2</sup>), их малым размерам (ширина проводников и зазоров между ними может быть от 10 до 40 мкм, а диаметр межуровневых металлизированных отверстий – порядка 10–20 мкм) и их размещению в нескольких уровнях.

Попытки ряда отечественных предприятий, отказавшихся от КМП в пользу других подложек, создать опытные работоспособные образцы МКМ СОЗУ не увенчались большими успехами, и, как следствие, вызвали скептическое отношение у заказчиков к перспективности МКМ СОЗУ.

В ОАО "НИИТАП" разработано восемь видов КМП с габаритами от 28,6 × 24 мм до 60 × 48 мм, в том числе процессы их электрического моделирования, изготовления, исследований и 100%-ных испытаний. Все КМП изготавливаются из пластин кремния марки КДБ, имеют три слоя алюминиевой металлизации толщиной 0,6 и 1,2 мкм с межслойной изоляцией осажденным плазмохимическим способом оксидом кремния толщиной 1,0 мкм. Подложки различаются шириной проводников (20 или 40 мкм), расположением и количеством мест для монтажа кристаллов и, соответственно, расположением и количеством внутренних (для соединения с кристаллами БИС) и внешних (для соединения с траверсами корпуса) контактных площадок (КП). Все разработанные КМП реализуются с помощью семи фотошаблонов [5].

В частности для получения опытных образцов МКМ СОЗУ 4 Мбит (МКМ 2000РУ2, АЕЯР.431220.504 ТУ) спроектирована и изготовлена КМП с размерами 26,5 × 26,5 мм, содержащая две позиции для установки пары "этажерок", каждая из двух кристаллов БИС СОЗУ 1 Мбит (ИМС 1645РУ1У, АЕЯР.431220.553 ТУ). На подложке расположено 64 сдвоенных внутренних КП с шагом 0,625 мм и 48 внешних КП – с шагом 1,0 мм.

Важной проблемой в технологии МКМ являются также оптимальный выбор и подготовка комплектующих кристаллов ИМС СОЗУ, обеспечивающих их 100%-ную годность и надежность. Зарубежные фирмы, занятые производством МКМ, применяют программы углубленного контроля качества (УКК) кристаллов, известные как "программы KGD" (англ. know good die –знаю, что кристалл хороший). Без УКК кристаллов трудно добиться приемлемого коэффициента выхода годных МКМ и гарантировать их надежную эксплуатацию. Коэффициент выхода годных МКМ ( $\gamma_{МКМ}$ ) рассчитывается, как известно, из значений выхода годных комплектующих кристаллов ( $\gamma_{КР}$ ) (при условии высокого качества аттестованных КМП и корпусов) по формуле

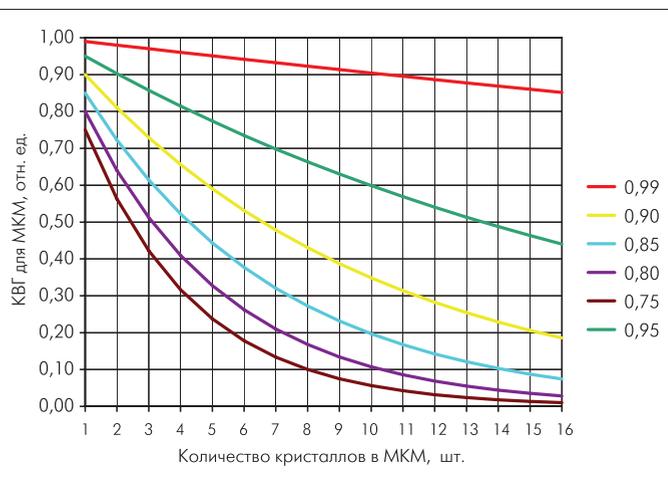
$$\gamma_{МКМ} = (\gamma_{КР})^n,$$

где n – количество кристаллов ИМС СОЗУ на КМП с одинаковым коэффициентом выхода годных.

Как следует из результатов элементарного расчета (рис.1), при  $\gamma_{КР}$  менее 0,9 с ростом числа кристаллов выход годных МКМ резко уменьшается. При  $\gamma_{КР} = 0,95$  можно ставить вопрос о создании МКМ, в котором число кристаллов не превышает 2–4, информационная емкость которых будет мала.

В ходе выполнения разработок с объемом памяти МКМ 1 Мбит и 4 Мбит МКМ были отработаны методология и процедура УКК кристаллов ИМС СОЗУ, подготовлен для согласования с ФГУ "22 ЦНИИ Минобороны России" руководящий документ с методикой такого контроля – РДП КПЛН 81.18-2008. УКК предполагает сборку кристаллов на гибком (ленточном) полиимидном носителе (ГПН), проверку качества сборки с включением в маршрут УКК термовыдержки кристаллов (при 85 или 125°C), термоциклирования в диапазоне температур от -60 до 85 (125)°C. При положительных результатах этого этапа УКК кристаллы на ГПН подвергаются электротермотренировке (до 240 ч при 85 или 125°C) и проходят операции измерения статических параметров, функционального контроля при предельных рабочих температурах и в нормальных климатических условиях. Данные операции производятся по более жестким нормам на параметры, чем для корпусированных исполнений. Эта методика, предполагающая повышенные обязательства поставщика кристаллов относительно их качества, согласована с одним из них – ЗАО "ПКК "Миландр" (г. Москва).

Объем и сложность УКК кристаллов потенциально обеспечивают 100%-ный выход годных для МКМ СОЗУ с числом кристаллов более 20–30. Тем не менее, существует большой риск получения скрытых дефектов сборки – при ультразвуковой разварке проводников ГПН на внутренние КП подложки и алюминиевых проволочных проводников между внешними КП подложки и КП основания корпуса (общее количество сварных



**Рис. 1. Зависимость коэффициента потенциального выхода годных МКМ СОЗУ от количества собранных в них кристаллов БИС СОЗУ**

Таблица 1. Сравнительные данные о разрабатываемых и выпускаемых БИС СОЗУ с объемом памяти 64 Кбит–16 Мбит

Объем памяти, бит	БИС СОЗУ в корпусе, ТУ	Предприятие-разработчик	Конструктивные данные		Технические параметры				Диапазон рабочих температур, °С	Примечание
			Корпуса	Размеры кристалла, мм	Организация памяти	Время выборки адреса, $t_A$ , нс	Напряжение питания, В	Ток потребления в режиме записи/хранения, мА		
64 К	1645РУ2Т АЕЯР.431220.576	ЗАО "ПКК "Миландр" (г. Москва)	4119.28-6	9 × 8	8К × 8	50	5±10%	160/1	-60...125	По КНИ-технологии, спецстойкие (группы 2Ус+3Ус)
256К	1635РУ1Т, АЕЯР.431220.344	НПО "Интеграл" (г. Минск)	4183.28.2	9,0 × 8,5	32К × 8	50	5±10%	100/2	-60...125	Спецстойкие (группы 2Ус+3Ус)
1М	1637РУ1У, АЕЯР.431220.195	ОАО "Ангстрем" (г. Москва)	Н14.42-1В	3,2 × 5,0	128К × 8	25	–	–	-40...85	Зарубежные кристаллы
	1645РУ1У, АЕЯР.431220.553	ЗАО "ПКК "Миландр" (г. Москва)	Н18.64-3В	8,6 × 7,0	128К × 8	25	3–5,5	120/1	-60...125	Собственная разработка, изготовление пластин за рубежом. Аналоги: МТ5С 1009, СУ7С 1019
4М	537РУ3У	ОАО "НИИМЭ и Микрон" (г. Москва)	Н16.48-2В	7,5 × 7,5	512К × 8	60	–	100/6,5	-40...125	Планируется разработка, $t_d$ 30 нс. Аналог - СУ7С 1049
	1645РУ3У АЕЯР.431220.642	ЗАО "ПКК "Миландр" (г. Москва)	Н18.64-3В	7,0 × 7,7	256К × 16	15	3,0–3,6	90/1	-45...85	Разрабатывается. Аналог – СУ7С 104/У33
16М	1645РУ4У	ЗАО "ПКК "Миландр" (г. Москва)	–	11,5 × 11,5	1М × 16	20	3,0–3,6 1,62–1,98	150/1	-45...85	Разрабатывается. Аналог – СУ7С 1061ВУ33

соединений в МКМ варьируется от 1320 для 20-кристалльного МКМ СОЗУ до 2000 для 30-кристалльного МКМ). Более того, возникает проблема отвода тепла. Чтобы ее решить, необходимо ввести в конструкцию специальные элементы (радиаторы, теплорастекатели, тепловые трубки и т.д.). Поэтому для массовых серий универсальных МКМ СОЗУ целесообразно ограничиваться 8–16 кристаллами в модуле.

Для МКМ были выбраны отечественные кристаллы БИС СОЗУ. На начальном этапе – при создании МКМ СОЗУ 1 Мбит (изделие 2000РУ1, АЕЯР.431220.357 ТУ) с организацией памяти 64 Кбит × 16 – использовался кристалл БИС 537РУ30 емкостью 256 Кбит. Появление на отечественном рынке БИС СОЗУ 1 Мбит (разработка ЗАО "ПКК "Миландр") делает технически и экономически неэффективным применение МКМ 2000РУ1, но при этом дает возможность выпустить 4 Мбит МКМ СОЗУ в том же конструктивном исполнении.

Сегодня разрабатываются и выпускаются семь типов БИС СОЗУ информационной емкостью от 256 Кбит до 16 Мбит (табл.1). Для их сборки применяются металлокерамические корпуса с планарным расположением выводов (шаг выводов 1,25 или 1,0 мм – корпуса типа "Н").

Рост активности разработчиков БИС СОЗУ обусловлен решением Минобороны РФ о возможности изготовления ИМС, спроектированных под технологию с субмикронными размерами (высокотехнологичные изделия) за рубежом, но с последующей сборкой и сертификацией на отечественных предприятиях. Среди разработчиков БИС СОЗУ выдвинулось на первый план сравнительно молодое предприятие – ЗАО "ПКК "Ми-

ландр", которое в 2007 году выпустило БИС 1645РУ1У, изготовленную по КМОП-технологии с минимальным топологическим размером элементов 0,35 мкм. БИС емкостью 4 Мбит ЗАО "ПКК "Миландр" планирует сдать заказчику уже в 2009 году. В этой, как и в последующих разработках ИМС серии 1645, будет применяться технология, обеспечивающая топологическую норму 0,18 мкм.

Однако, как показывает опыт взаимодействия с разработчиками БИС СОЗУ, не каждый из них соглашается на поставку бескорпусных микросхем (на пластине) для комплектации МКМ СОЗУ, а цена кристаллов исчисляется многими тысячами рублей. Благодаря кристаллам БИС 1645 РУ1У ЗАО "ПКК "Миландр" (директор Центра проектирования ИМС М.И. Какоулин) ОАО "НИИТАП" создал МКМ СОЗУ 4 Мбит в отечественном металлокерамическом корпусе 4143.48-1 (изготовитель – ОАО "Завод полупроводниковых приборов", г. Йошкар-Ола). МКМ с условным обозначением 2000РУ2 отличается двухэтажным расположением кристаллов. Внешний вид собранного модуля (без

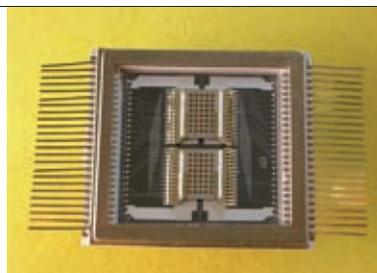
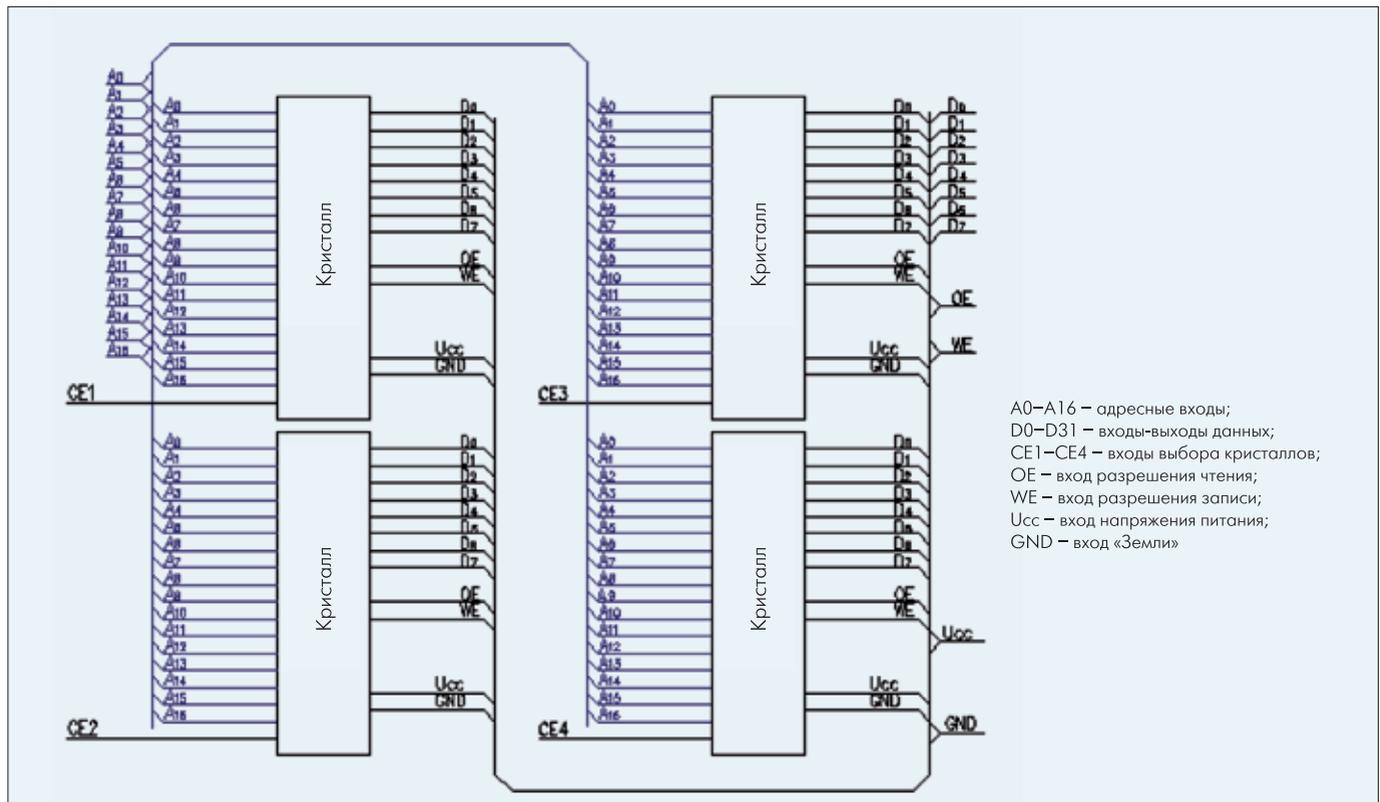


Рис.2. Внешний вид собранного МКМ 2000РУ2 информационной емкостью 4 Мбит (без крышки корпуса)



**Рис.3. Электрическая схема МКМ СОЗУ 4 Мбит с организацией памяти 512 Кбит x 8**

крышки) показан на рис.2, его электрическая схема представлена на рис.3. В процессе сборки модуль 2000PУ2 дважды тестируется: с кристаллами первого этажа и со всеми четырьмя кристаллами. Такой подход экономически выгоден, так как позволяет проводить оперативную замену отказавшего при сборке кристалла (при наличии отказа). Следует заметить, что после монтажа двух кристаллов первого этажа и замера параметров МКМ можно загерметизировать и поставлять как МКМ СОЗУ 2 Мбит.

Важным конструктивно-технологическим решением, принятым в разработке МКМ СОЗУ 4 Мбит, было создание универсального ГПН на основе алюминиевой фольги. Внешний вид кристалла после сборки на ГПН представлен на рис.4. ГПН имеет в центре решетчатую структуру, в которой имеются широкие полоски алюминия (с подслоем полиимиды), придающие ему повышенную жесткость. После заливки собранного кристалла полимером (использовался компаунд марки "СИЭЛ") формируется армированный этой решеткой защитный слой. Сформированная конструкция кристалла на ГПН представляет собой микросхему в сверхтонком корпусе типа CSP ("корпус в масштабе кристалла"), которая имеет широкие тестовые КП и идущие друг за другом КП для электрического соединения с КП на КМП. Такие кристаллы в корпусах CSP можно поставлять отдельно ("полубескорпусная" ИМС). Кроме того, в таком исполнении они позволяют снизить требования к уровню электронной гигиены при УКК и сборке МКМ или микросборок [6].

Основные электрические параметры МКМ 2000PУ2 при приемке и поставке представлены в табл.2. Уровень электри-

ческих параметров и показателей стойкости модуля к внешним воздействующим факторам определяются выбором комплектующего кристалла и корпусом. МКМ 2000PУ2 имеет размеры (без выводов) 38 × 34 × 4,3 мм, массу – не более 15 г, диапазон рабочих температур среды от –60 до 85°С, он устойчив к воздействию статического электричества с потенциалом до 2 кВ.

Время выборки адреса  $t_A$ , как и другие временные параметры (см. табл.2), установлены с достаточно большим запасом. Высокие значения этих параметров по сравнению с БИС 1645PУ1У обусловлены задержкой сигналов при прохождении проволочных и ленточных проводников, проводников в толще керамики и на КМП, размеры которой завышены (рис.2). Причина – отсутствие корпуса с оптимальными размерами монтажной площадки. Как следствие, эффективность сборки (от-

Таблица 2. Электрические параметры МКМ 2000PY2

Параметр, единица измерения, режим измерения	Буквенное обозначение параметра	Норма параметра		Температура среды, °С
		не менее	не более	
Выходное напряжение низкого уровня, В, при $U_{CC}=5\text{ В}\pm 10\%$ , $I_{OL}=4\text{ мА}$	$U_{OL}$	–	0,35	25 85 – 60
Выходное напряжение высокого уровня, В, при $U_{CC}=5\text{ В}\pm 10\%$ , $I_{OH}=-2\text{ мА}$	$U_{OH}$	2,4	–	25 85 – 60
Ток потребления в режиме хранения, мкА, при $U_{CC}=5\text{ В}\pm 10\%$ , $U_{CE}=2,4\text{ В}$	$I_{CCS}$	–	80	25
			100	85 – 60
при $U_{CC}=5\text{ В}\pm 10\%$ , $U_{CE}=U_{CC}$	$I_{CCS}$	–	60	25
			80	85 – 60
Ток утечки высокого уровня на входе, мкА, при $U_{CC}=5\text{ В}\pm 10\%$	$I_{IH}$	–	5	25
			10	85
			1,0	– 60
Ток утечки низкого уровня на входе, мкА	$I_{ILL}$	–	5	25
			10	85
			1,0	– 60
Динамический ток потребления, мА, при $U_{CC}=5\text{ В}\pm 10\%$ , $F=1\text{ МГц}$	$I_{OCC}$	–	360	25
			400	85 – 60
Время выборки разрешения выхода, нс, при $U_{CC}=5\text{ В}\pm 10\%$ , $C_L=50\text{ пФ}$	$t_{AOE}$	–	70	25 85 – 60
Время выборки адреса, нс, при $U_{CC}=5\text{ В}\pm 10\%$ , $C_L=50\text{ пФ}$	$t_A$	–	90	25 85 – 60
Время выборки записи, нс, при $U_{CC}=5\text{ В}\pm 10\%$ , $C_L=50\text{ пФ}$	$t_{AWR}$	–	60	25 85 – 60

ношение суммарной площади двух этажерок кристаллов к площади КМП в процентах) составляет примерно 21%.

Но именно этот запас площади КМП позволил разработчикам ОАО "НИИТАП" приступить к проектированию МКМ СОЗУ объемом 8 Мбит с применением четырех этажерок из двух кристаллов БИС 1645PY1У. Если на новой КМП оставить только кристаллы первого этажа, то получим МКМ 2000PY2, но в двухмерном исполнении (МСМ-2D).

Таким образом, в настоящее время ОАО "НИИТАП" завершает разработку и готов осваивать в мелкосерийном производстве серию МКМ СОЗУ емкостью 2, 4 и 8 Мбит в одном конструктивном исполнении (корпус 4143.48-1Н, кристаллы БИС 1645PY1У).

Важной проблемой для разработки МКМ остается выбор корпуса. Отечественная промышленность способна изготавливать металлокерамические корпуса с монтажными площадками больших размеров. Например, в НПО "Изотоп" (ныне ОАО "Завод полупроводниковых приборов", г. Йошкар-Ола) еще в 1990-е годы были разработаны корпуса для ПЗС-матриц, гибридных микросхем (микросборок), наибольший из которых корпус 4197Ю.48-1Н имеет габариты 70 × 60 мм и монтажную пло-

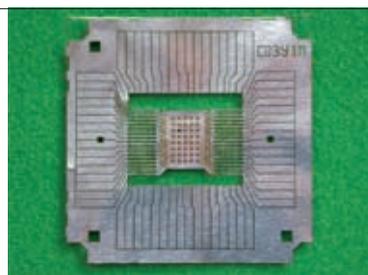


Рис.4. Внешний вид кристалла БИС 1645PY1 после сборки на гибком полиимидном носителе

щадку 62 × 50 мм. Принятая на заводе базовая технология производства корпусов позволяет создавать корпуса с монтажной площадкой не менее 90×90 мм.

В перспективе с появлением БИС СОЗУ 4 Мбит ОАО "НИИТАП" планирует предложить разработку с внедрением в производство серии МКМ СОЗУ с объемом памяти 16; 32 и 64 Мбит. Для выполнения этой задачи потребуются, по крайней мере, две КМП (из них одна унифицирована для сборки МКМ СОЗУ 16 и 32 Мбит) и два новых корпуса с четырехсторонним расположением выводов. Первый корпус – для МКМ СОЗУ 16 и 32 Мбит с размерами монтажной площадки примерно 32 × 32 мм. Второй корпус с размерами монтажной площадки ориентировочно 60 × 32 мм – для МКМ СОЗУ 64 Мбит. Нужно будет позаботиться о метрологическом обеспечении разработки, в том числе о разработке или приобретении за рубежом тестеров БИС и МКМ емкостью 16 Мбит и более, создании и согласовании программного обеспечения, измерительной оснастки. Но главной задачей должно стать создание новой технологии изготовления КМП, которые содержат развязывающие конденсаторы между шинами "земля" и "питание" на основе беспрористого диэлектрика толщиной порядка 0,1 мкм, толстые слои (7–10 мкм) осажденного при сравнительно низкой температуре диэлектрика между заземленной подложкой и сигнальными шинами. Подложки должны включать в себя как пассивные элементы, так и активные (диоды, транзисторы) для реализации цепей защиты МКМ от статического электричества, для контроля теплового режима МКМ и т.д. Такие активные КМП с улучшенными параметрами по быстродействию освоила и применяет фирма nChip (США) [8, 9]. Однако подобные подложки за рубежом составляют в совокупности с расходами на KGD-программы до 60–70% стоимости МКМ СОЗУ (несколько тысяч долларов США).

В отечественных разработках МКМ СОЗУ в настоящее время (количество кристаллов не более восьми). Наибольшую долю цены МКМ СОЗУ составляют комплектующие покупные изделия (кристаллы, корпуса), что обусловлено низким насыщением отечественного рынка этими изделиями, их малосерийностью. Если разработчики БИС СОЗУ, корпусов для МКМ и собственно МКМ СОЗУ с КМП объединят свои усилия, то создание к 2012–2013 годам МКМ СОЗУ с объемом памяти 256 Мбит и более станет реальностью.



Для сравнительно небольшой группы предприятий – потребителей МКМ, – возможно могут потребоваться модули с относительно небольшим объемом памяти (1–4 Мбит), но в радиационно стойком исполнении (на кристаллах, например, 1645 PУ2Т или 1635 PУ1Т).

Авторы статьи благодарят П.В. Леонова (ЗАО "ПКК "Миландр"), П.И. Козлова (ОАО "Завод полупроводниковых приборов") и Л.В. Белого (ФГУП "22 ЦНИИ Минобороны России") за консультативную и практическую помощь при выполнении НИОКР.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Глухов А.С. и др. Кремниевые МКМ – приоритетное направление развития быстродействующей РЭА. – Электронная промышленность, 1994, вып. 4–5, с. 61–65.
2. Дорошевич К.К., Дорошевич В.К., Телец В.А. Многокристалльные модули – новое конструктивно-технологическое направление в развитии комплектующих изделий. – Технологическое оборудование и материалы, 1998, № 4, с. 29–32.
3. Телец В.А. Многокристалльные модули – новое конструктивно-технологическое направление. – Петербургский журнал электроники, 2000, № 3–4, с. 109–113.
4. Lall P., Bhagath S. An overview of multichip modules. – Solid state technology, 1993, v.36, № 9, pp. 65–67, 70, 72, 74, 76.
5. Бражник В.А., Хохлов М.В., Чернышов А.А. Проблемы выбора монтажных подложек для многокристалльных модулей. – Электронная промышленность, 2006, № 2, с. 10–17.
6. Хохлов М.В., Чернышов А.А. Сверминиатюрные корпуса интегральных схем. – Электронная промышленность, 2005, № 4, с. 64–71.
7. Чернышов А.А. и др. Производство и применение стеклокерамических корпусов для сборки ИС. – Электронная техника. Сер. 6 (материалы), 1991, вып. 10 (64), с. 3–20.
8. Pierson.D., Drobac.S, Parry D. An 80 Mhz MIPS R6000 cpu Using Multichip Module Technology.– Proc. NEPCON West, 1993, p. 954.
9. Frye R.C., Tai K.L, Lau M.Y., Lin A.W. Silicon-on- Silicon MCMs with Integrated Passive Components. – Proc. IEEE MCM Conf., Santa Cruz, 1992, p. 155.