

# Китайская радиационно-стойкая ЭКБ на российском рынке

Павел Лысенко (pablo1849@ya.ru)

**Необходимость обеспечения обороноспособности и конкурентоспособности России в космосе диктует потребности отечественных предприятий военной и аэрокосмической промышленности в широкой номенклатуре высоконадёжных микроэлектронных компонентов для изготовления современных изделий космической и оборонной техники. В случае с космической техникой – обязательным требованием является способность сохранять работоспособное состояние при воздействии ионизирующего излучения – повышенной радиационной стойкости. Не секрет, что ввиду технологического отставания СССР, а в дальнейшем и РФ, в области микроэлектроники аппаратура специального назначения всегда создавалась и продолжает создаваться с использованием изделий электронной компонентной базы (ЭКБ) иностранного производства.**

В связи с санкционной политикой западных государств против России оказалось весьма актуальным техническое сотрудничество с КНР, предприятия которой освоили все виды микроэлектронных изделий, в том числе и в радиационно-стойком исполнении. Несмотря на развитие в последние годы микроэлектронной промышленности РФ, выпускающей среди прочих и радиационно-стойкие изделия, их номенклатура недостаточна для решения всех современных инженерных задач, поэтому сотрудничество с китайскими производителями оказывается своевременным выходом из сложившейся ситуации и позволяет реализовывать самые масштабные проекты в космической, военной и других областях, где требуются радиационно-стойкие и высоконадёжные компоненты.

## Проблема радиационной стойкости компонентов

В длинном ряду разнообразных требований к электронным компонентам специального назначения своё место занимает радиационная стойкость – способность аппаратуры (и всех составляющих её компонентов) сохранять работоспособность при воздействии ионизирующего излучения. Радиационное воздействие на микроэлектронные структуры обусловлено вероятностью пролёта высокоэнергетических частиц через эти структуры, что может приводить к разным эффектам в элементах схем. Радиационные эффекты можно классифицировать на четыре группы:

- 1) эффекты полной поглощённой дозы. Такие эффекты связаны с накоплением заряда в диэлектриках и на границе раздела диэлектрик-полупроводник;
- 2) эффекты мощности дозы. Высокая мощность дозы характерна для ядерного взрыва. Как следствие, защита от этого фактора наиболее актуальна для военной техники. При быстром наборе поглощённой дозы полупроводниковый материал «ионизируется», т.е. накапливает нестекающий объёмный электрический заряд, который может вызывать тиристорный эффект;
- 3) эффекты попадания одиночных частиц. Отдельные высокоэнергетические частицы оказывают заметное воздействие на работу микроэлектронных структур, которое может быть неразрушающим и разрушающим. Кроме того, тяжёлые заряженные частицы являются причиной возникновения различных одиночных радиационных эффектов: одиночные сбои (SEU), тиристорный эффект (SEL), переходная характеристика (SET) и др.;
- 4) эффекты смещения – это радиационные повреждения в кристаллической решетке, то есть её локальное нарушение. В космическом пространстве причиной этого эффекта может стать локальная ядерная реакция в результате попадания протона или нейтрона; частицы с низкой энергией не создают такой эффект. Эффект смещения атомов приводит

к росту уровня шума, снижению подвижности носителей заряда. Эффект преобладает в фотоэлектрических батареях, фотоэлементах, силовых транзисторах и в элементах на основе арсенида, нитрида галлия.

Условность этой классификации можно объяснить комбинированием эффектов. Например, длительное облучение потоком тяжёлых ионов, вызывающих одиночные эффекты, увеличивает поглощённую дозу.

## Космическое излучение

В открытом космосе плотность потока частиц велика. Но даже в атмосфере, на высотах, соответствующих эшелонам пассажирских авиамаршрутов, поток частиц (вторичных, от взаимодействия космических лучей с атмосферой) весьма заметен.

## Способы повышения радиационной стойкости

Для повышения радиационной стойкости интегральных схем используется целый ряд мер на всех этапах проектирования и изготовления изделий ЭКБ: выбор схемотехнических решений, моделирование в САПР, выбор радиационно-стойкой технологии изготовления, защитное экранирование. Рассмотрим некоторые из них.

### Кремний на диэлектрике

Технология «кремний на диэлектрике» (англ. Silicon-on-insulator, SOI) заключается во внедрении в поверхность подложки слоя кислорода, который при нагревании формирует сплошную прослойку из двуоксида кремния толщиной около 200 нм. Этот слой изолирует активные области микросхемы от кремниевой подложки. Это позволяет значительно снизить токи утечки, паразитные ёмкости, сводит к нулю вероятность тиристорного эффекта.

### Резервирование с голосованием

Этот метод основан на клонировании элементов с введением устройства голосования, которое сравнивает результаты работы нескольких устройств и выдаёт результат, явля-

ющийся мажоритарным значением. Отказ из-за одиночной ошибки, таким образом, минимизирован. Излучение способно нарушить работу такого устройства только при одновременных сбоях в нескольких элементах, что маловероятно. Такой подход увеличивает количество используемых аппаратных ресурсов, что, в свою очередь, приводит к необходимости увеличивать площадь кристалла и потребляемую мощность.

Сравнение коммерческой (см. рис. 1) и радстойкой (см. рис. 2) версии элемента на примере процессора – площадь кристалла почти вдвое больше у радстойкой версии, относительная площадь областей памяти чипа также заметно увеличена, что косвенно свидетельствует о многотранзисторной структуре ячеек со схемами резервирования.

**DICE**

В ячейках памяти часто применяются двойные DICE-защёлки (Dual Interlocked Storage Cell). В них использована четырёхузловая структура избыточности. Состояния сохраняются как 1010 или 0101. Два контура обратной связи гарантируют защиту от SEU при воздействии только на один узел системы (см. рис. 3).

**Задержки установления состояния**

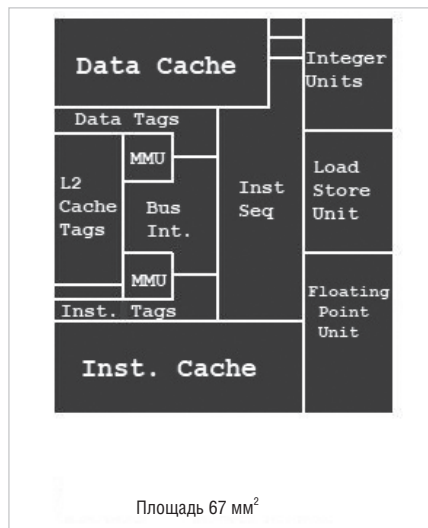
Триггеры иногда оснащают схемами, задерживающими их переключение на время рекомбинации сгенерированных электронно-дырочных пар. Недостаток этого метода следует из природы метода – пониженное быстродействие всей системы.

**Помехоустойчивое кодирование**

Применение избыточных битов позволяет обеспечить помехозащищённость, в том числе и в условиях радиационных факторов. Метод оказывается неэффективным при большой интенсивности ошибок, в этом случае избыточность кода не спасает. Корректирующие коды широко применяются в случаях, когда невозможна безошибочная передача или хранение информации. Для этого объём записываемой информации записывается избыточно большим, а дополнительные биты используются при восстановлении информации в случае сбоя.

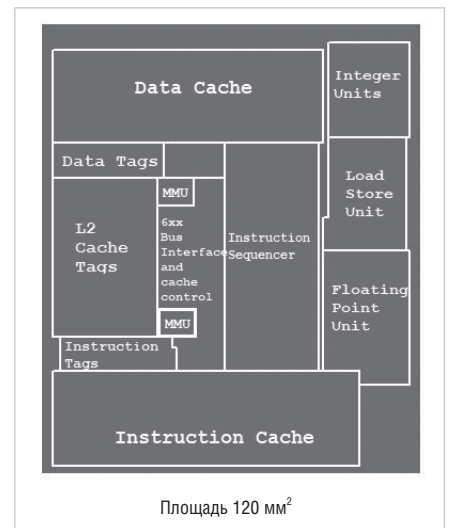
**Фильтрация по времени**

Другой подход – сохранение нескольких состояний линии данных с некоторым интервалом и последую-



Площадь 67 мм<sup>2</sup>

Рис. 1. Коммерческая версия



Площадь 120 мм<sup>2</sup>

Рис. 2. Радиационно-стойкая версия

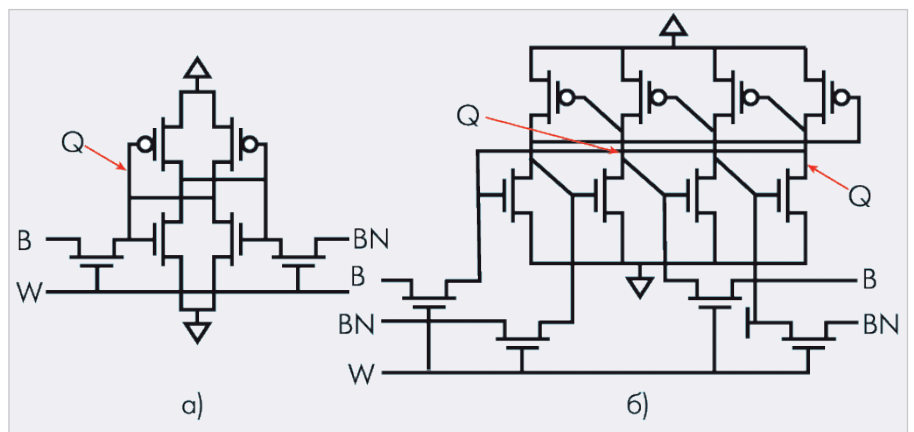


Рис. 3. Регистр-защёлка на шести транзисторах (а) и его радиационно-стойкий DICE-аналог на 12 транзисторах (б)

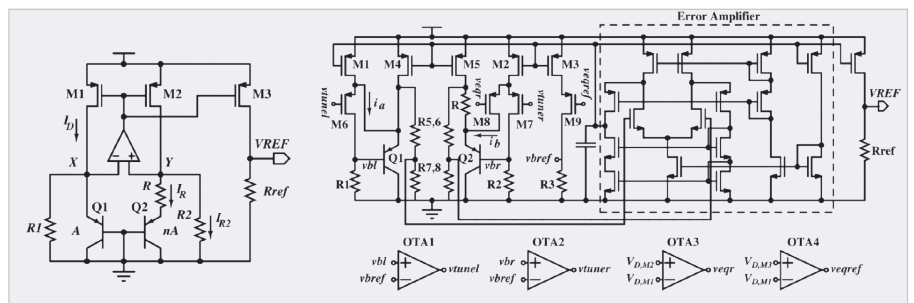


Рис. 4. Сравнение обычной и радстойкой схемы источника опорного напряжения

щее голосование на основе сохранённых состояний. Если интервал сохранения больше, чем время воздействия заряженной частицы на интегральную схему, то такая организация хорошо защищает от одиночных воздействий. Однако этот метод подвержен сбоям на линии синхронизации, а также увеличивает площадь схемы узла примерно втрое (см. рис. 4).

**Электроника в КНР**

Начало истории электроники в КНР было положено сразу после образова-

ния государства в 1949 году. Правительством была основана Академия наук КНР, включавшая в себя сеть НИИ, а также сформулированы долгосрочные программы научно-технического развития, в которых электронике была отведена значимая роль. Разрабатывать компьютеры в Китае начали в начале 1950-х гг. с построения ламповой ЭВМ 1-го поколения уже в 1958 г. Полупроводниковая ЭВМ 2-го поколения производилась в Шанхае, Пекине, Тяньцзине в 1965 г. В 1973 г. Китай построил первые ЭВМ с применением малых инте-

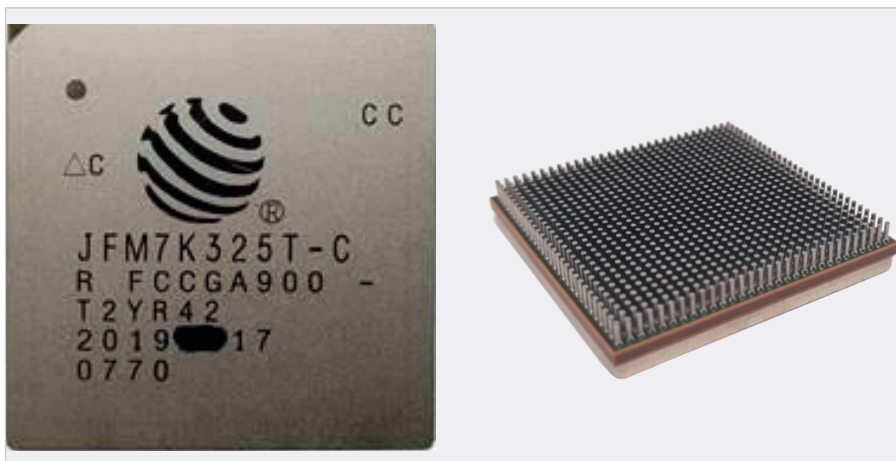


Рис. 5. Радстойкая ПЛИС



Рис. 6. Память PROM

гральных схем, а в 1989 г. уже реализовывалась программа перехода ЭВМ 4-го поколения на БИС к 5-му поколению.

На 2001 г. общий доход 44 китайских компаний, разрабатывающих и производящих электронную продукцию, составил около 2 млрд долларов, а это 82% дохода электронной промышленности КНР. Развитие микроэлектроники в Китае привлекло мировых гигантов на недорогие производственные площадки с дешёвой рабочей силой.

### Санкции против китайской микроэлектронной промышленности

В 1989 году правительством КНР принято решение о развитии специальных экономических зон в провинциях Чжухай и Шеньжень. В то же время санкционная политика США накладывала новые и новые ограничения на доступ к финансам, технологиям и оборудованию для промышленных предприятий Китая. Как показывает история, санкции во многом стимулируют промышленность стран, против которых они были введены.

В апреле 2021 стало известно о санкциях США против китайских суперкомпьютеров. Министерство торговли США внесло в санкционный список семь китайских компаний, которые теперь не смогут приобретать оборудование для суперкомпьютеров.

Однако эти санкции не повлияют на один из самых мощных суперкомпьютеров планеты — Sunway TaihuLight, поскольку он собран на китайской элементной базе. Этот факт очень наглядно свидетельствует о суверенности и защищённости микроэлектронной промышленности Китая сегодняшнего дня.

В том числе благодаря введению санкционной политики КНР сейчас является одним из передовых производителей электроники с развитой микроэлектронной промышленностью.

В настоящее время промышленность Китая самостоятельно производит и готова поставлять партнёрам в РФ широкий ряд электронных компонентов высоконадёжного и радиационно-стойкого исполнения: ПЛИС, ЦАП и АЦП, микросхемы памяти раз-

личных типов, модули и микросхемы питания, интерфейсные микросхемы, процессоры, ВЧ/СВЧ-компоненты и изделия, пассивные компоненты и соединители.

Рассмотрим некоторые изделия из приведённого ряда.

### Элементная база ПЛИС

В настоящее время китайские производители предлагают одну из самых высокопроизводительных высоконадёжных ПЛИС в мире, имеющую характеристики:

- количество вентилях на чип – до 69 млн;
- рабочая частота – до 800 МГц;
- макс. объём блочной памяти ОЗУ – до 52 Мбит;
- количество блоков DSP – до 3600;
- при радстойкости TID >100 крад (Si);
- стойкость к защёлкиванию SEL > > 75 МэВ×см<sup>2</sup>/мг.

Производство ПЛИС глубоко освоено китайской промышленностью. Широкий ряд ПЛИС, с характеристиками, близкими и даже превосходящими западные аналоги, предлагается к поставкам и применению уже сегодня, перспективные ИС находятся в разработке. Ряд освоенных в производстве ПЛИС уже имеют опыт поставки в РФ.

Микросхема JFM7K325T-C производства китайской компании Fudan успешно конкурирует с аналогами ведущих мировых производителей высоконадёжных ПЛИС (см. рис. 5).

Что касается характеристик, то модель аналогична по логическим ресурсам, назначению и шагу выводов. В то же время модель превосходит аналоги по статическому энергопотреблению.

Характеристики ПЛИС JFM7K325T-C:

- количество вентилях: 32,5 млн;
- частота: 600 МГц;
- макс. объём блочной памяти ОЗУ: 16 020 Кбит;
- количество DSP: 840;
- количество GTX приёмо-передатчиков: 16;
- количество аналого-цифровых блоков XADC: 1;
- максимальное число пользовательских выводов: 500;
- корпус: FCCGA900;
- TID: ≥ 100 кРад (Si);
- SEL: ≥ 75 МэВ×см<sup>2</sup>/мг.

Существуют различные исполнения данной ИС – высоконадёжное,

радиационно-стойкое, промышленное.

Ключевые характеристики серии:

- встроенное аппаратное ядро PCIe 2.1;
- 16 GTX приёмопередатчиков (до 12,5 Гбит/с);
- 16 020 Кбит блочной памяти;
- Precise TMR Tools;

Микросхема доступна к поставке. Основные характеристики ПЛИС JFM7VX690T-RT / JFM7VX690T80-RT:

- количество вентиляей: 69 млн;
- частота: 600 МГц;
- макс. объём блочной памяти ОЗУ: 52 920 Кбит;
- количество DSP: 3600;
- количество GTX приёмопередатчиков: 36/80;
- количество аналого-цифровых блоков XADC: 1;
- максимальное число пользовательских выводов: 850/600;
- корпус: FCCGA1761/FCCGA1927 (пластик);
- TID:  $\geq 100$  кРад (Si);
- SEL:  $\geq 75$  МэВ $\times$ см<sup>2</sup>/мг.

Ключевые характеристики серии:

- Встроенное аппаратное ядро PCIe 3.0;

- 36/80 GTX приёмопередатчиков (до 13,1 Гбит/с);
- 52 920 Кбит блочной памяти;
- Precise TMR Tools;

Образцы микросхем в исполнениях Space, Industrial, High-reliable доступны к поставке.

#### Память PROM

Характеристики современных радиостойких PROM, выпускаемых предприятиями КНР, достигают следующих значений:

- ёмкость – до 1 Мбит при разрядности 32 бита;
  - напряжение питания 3,3 или 5 В;
  - время доступа < 45 нс;
  - радиостойкость: TID 100 кРад (Si), SEL:  $\geq 75$  МэВ $\times$ см<sup>2</sup>/мг, SEU:  $\geq 37$  МэВ $\times$ см<sup>2</sup>/мг.
- Компоненты поставлялись в РФ для космических проектов (см. рис. 6).

#### Память SRAM

На данный момент производители предлагают микросхемы памяти ёмкостью до 144 Мбит, разрядностью до 40 бит, быстродействием менее 15 нс и напряжением питания 1,8, 3,3, 5 В, радиационной стойкостью TID 100 кРад (Si),

SEL:  $\geq 75$  МэВ $\times$ см<sup>2</sup>/мг, SEU:  $\leq 1E^{-10}$  ошибок/бит $\times$ день.

#### Память FPGA PROM

Для работы некоторых ПЛИС необходима внешняя память. В качестве примера рассмотрим два чипа конфигурационной памяти ПЛИС B17V16RH и B18V04RH (см. рис. 7).

#### 3D-память

Технологическим достижением современности можно назвать 3D-память. Долгие годы ёмкость запоминающих устройств увеличивалась за счёт увеличения плотности размещения ячеек памяти на кристалле и за счёт роста площади кристалла. Технологические ограничения не позволяли упаковывать ячейки памяти многослойно, поскольку нижние и верхние слои находились в разных условиях при прохождении серии технологических этапов.

Современные технологические процессы позволили использовать третье измерение для увеличения плотности размещения ячеек памяти.

## ШИРОКАЯ НОМЕНКЛАТУРА РАДИАЦИОННО СТОЙКОЙ И ВЫСОКОНАДЁЖНОЙ ЭКБ



www.phoenix-electronics.ru Тел. (3412) 72-25-81  
sales@phoenix-electronics.ru Факс (3412) 50-00-84

### ПРЯМЫЕ ПОСТАВКИ ОТ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ КНР И ЮГО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ

- ПЛИС
- ЦАП/АЦП
- Микросхемы памяти
- Модули и микросхемы питания
- Интерфейсные микросхемы
- Процессоры
- ВЧ/СВЧ-компоненты и изделия
- Пассивные компоненты и соединители



ПЛИС  
BQR5V5X95T



СУПЕРВИЗОР ПИТАНИЯ  
JSR706RD



3-D ПАМЯТЬ  
VDMR8M32VS68EE8V35



FLASH-ПАМЯТЬ  
JFM29LV641RH

К поставке доступны различные варианты исполнения ЭКБ (Industrial, Hi-Rel, Space). Полная номенклатура и техническое описание — по запросу.

Реклама

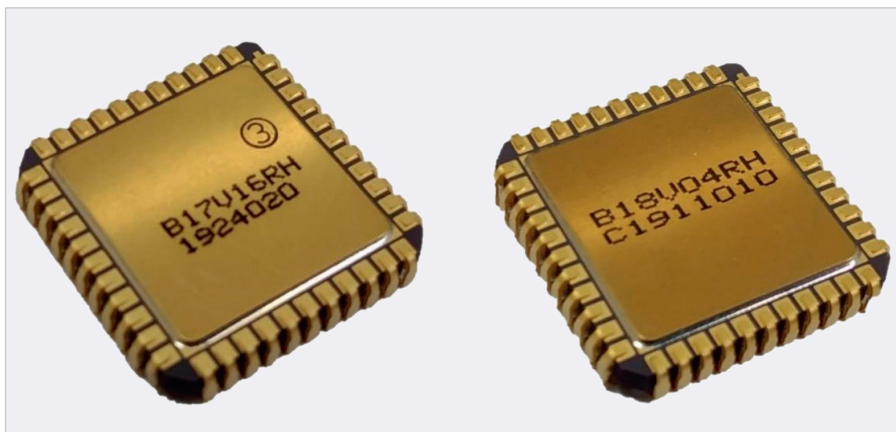


Рис. 7. Память FPGA PROM



Рис. 8. Модуль 3D MRAM-памяти

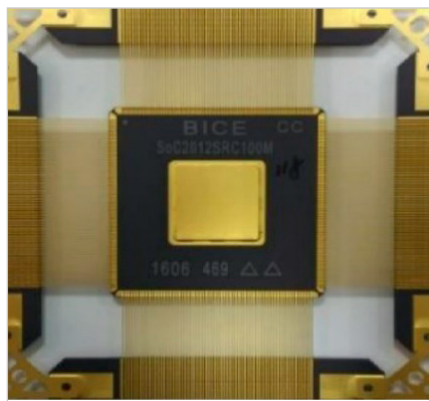


Рис. 9. Система на кристалле

Как результат, характеристики модулей 3D-памяти достигают следующих значений:

- ёмкость: до 2Тб при разрядности 32 бита;
- напряжение питания: 1,8; 3,3; 5 В;
- время доступа: 12 нс.

3D-память производства китайских компаний можно рассмотреть на примере нескольких изделий:

- NAND Flash LSFN512G32VS4M1 имеет ёмкость 512 Гб с разрядностью 32 бит, время доступа < 20 нс; показатели радиостойкости 60 крад (Si), SEL:  $\geq 60$  МэВ·см<sup>2</sup>/мг, SEU  $\geq 2$  МэВ·см<sup>2</sup>/мг;
- SRAM LSSR32M32VS8R1 имеет ёмкость 32Мбит с разрядностью 16 бит, время доступа < 12 нс;
- MRAM LSMR64M08VS4E1 имеет ёмкость 64Мбит с разрядностью 16 бит и временем доступа 35 нс.

Основные производители 3D-памяти (см. рис. 8) – институт-разработчик из провинции Чжухай ORBITA Co. и Сианьский институт микроэлектронных технологий XMTI.

**Микропроцессоры**

Радиационно-стойкие процессоры и системы производятся китайской промышленностью как для косми-

ческих аппаратов, так и для прочих ответственных применений. На сегодняшний день освоена в производстве широкая линейка устройств. Например, SoC 2012 (см. рис. 9):

- 4 ядра;
- 8 регистровых окон;
- 7-ступенчатый конвейер;
- кэш данных – 8 кбит, кэш команд – 8 кбит;
- 32/64-битная точность FPU;
- обеспечение RH: TMR, EDAC, контроль чётности;
- высокая производительность, низкое потребление;
- первый многоядерный процессор в КНР;
- первый запуск в Китае в 2015 году. Встроенная периферия:
- встроенная системная шина AMBA;
- контроллер памяти (PROM, SRAM, SDRAM, MMIO);
- 5 таймеров (32-битных);
- контроллер прерываний;
- аппаратный DSU;
- контроллер 1553B (режимы BC, RT, BM);
- 2 × UART;
- 32 × GPIO.

Данные модели успешно применяются в собственных космических про-

граммах Китая, а также имеется опыт поставок для российских проектов.

**Заключение**

ООО «Феникс Электроникс» – основной партнёр по поставке высоконадёжной и радиационно-стойкой ЭКБ из КНР.

Компания «Феникс Электроникс» специализируется на прямых поставках высоконадёжной и радиационно-стойкой ЭКБ от крупнейших производителей и поставщиков из Китая и Юго-Восточной Азии, является официальным участником Межправительственной программы российско-китайского сотрудничества в области космоса, 7 лет поставляет высоконадёжные электронные компоненты российским предприятиям.

ООО «Феникс Электроникс» является эксклюзивным представителем и дистрибьютором CAST CASEC (Китайский Инженерный Центр Аэрокосмических Компонентов Китайской Академии Космических Технологий). Эта организация отвечает за качество ЭКБ в национальном масштабе, контролируя качество производства, проведение испытаний и квалификации китайской ЭКБ.

ООО «Феникс Электроникс» комплексно подходит к вопросам поставки ЭКБ и предлагает: технические консультации по подбору ЭКБ, ведение внешнеторговых контрактов, таможенное оформление, поставку ЭКБ с пакетом сопроводительной документации (отчеты изготовителя, сертификат соответствия), хранение ЭКБ в сертифицированных складских помещениях, ведение рекламационной работы. Для заказчиков, сделавших выбор в пользу китайской ЭКБ, возможна поставка бесплатных образцов, в том числе отладочных плат для ПЛИС, микропроцессоров, SiP.

Благодаря компетенциям и опыту на довольно сложном рынке компании удаётся следовать правильным рыночным курсом. Обороты «Феникс Электроникс» уверенно растут в последние шесть лет, однако ещё важнее и показательнее динамичный рост числа её партнёров: головных заказчиков и входящих в их кооперацию предприятий. Главная цель компании – стать ключевым поставщиком высоконадёжной ЭКБ производства КНР для ответственных применений.



# ChipEXPO-2021

КОМПОНЕНТЫ | ОБОРУДОВАНИЕ | ТЕХНОЛОГИИ

ВЫСТАВКА ПРОЙДЕТ



# 14-16.09

В ТЕХНОПАРКЕ ИННОВАЦИОННОГО ЦЕНТРА



# СКОЛКОВО



ТЕМАТИЧЕСКИЕ ЭКСПОЗИЦИИ:

- Экспозиция Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга России, включая:
  - экспозицию предприятий, являющихся изготовителями изделий, включенных в единый реестр российской радиоэлектронной продукции (Постановление Правительства РФ №878)
  - экспозицию разработок, созданных в рамках государственной программы «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013-2025 годы» (Постановление Правительства РФ №109)
  - экспозицию разработок, обеспечивающих выполнение приоритетных национальных проектов.
- Дивизионы кластера «Радиоэлектроника» ГК «Ростех»
- Стартапы в электронике
- Квалифицированные поставщики ЭКБ
- Консорциумы и дизайн-центры по электронике
- Участники конкурса «Золотой Чип»
- Корпорация развития Зеленограда

ОФИЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА:



ОРГАНИЗАТОРЫ:

ЗАО «ЧипЭКСПО» Москва, 121351, ул. Ярцевская, д.4. Тел.: +7 (495) 221-50-15  
E-mail: info@chipexpo.ru <http://www.chipexpo.ru>