

Перспективы развития информационно-вычислительных и радиофотонных систем на базе 3D М ФЭ ПМ

Часть 2

Валерий Сведе-Швец (soooes@mail.ru), Владислав Сведе-Швец, Станислав Сведе-Швец (Москва)

Во второй части статьи рассмотрена задача построения 3D М ФЭ ПМ с сетевой архитектурой и интеграцией оптических компонентов непосредственно на электронной плате.

Технология оптоэлектроники уже достигла успеха в ряде областей, продемонстрировав черты самостоятельного приборостроения. Уже широко используются волоконно-оптические линии связи, оптическая и голографическая память большой ёмкости, сенсоры изображения и другие устройства, однако все они являются одноканаль-

ными системами оптической передачи информации.

Компания Intel совместно с Калифорнийским университетом (University of California, Santa Barbara) продемонстрировала первый в мире гибридный кремниевый лазер с электрической накачкой, который объединяет в себе возможности излучения и

распространения света по кремниевому волноводу, а также использует преимущества низкой стоимости кремниевого производства. Создание такого устройства – это очередной шаг на пути к получению кремниевых чипов, содержащих десятки и даже сотни дешёвых лазеров, которые в будущем составят основу компьютерной электроники.

Кремниевая фотонная технология становится реальностью, а полупроводниковые микросхемы с интегральными микролазерами позволяет создавать 3D-процессоры с бесконтактными и волоконными многоканальными фотонными связями, осуществляя обмен данными как внутри, так и снаружи ПК с большой пропускной способностью.

Фотонные пространственные соединения в архитектурах вычислительных устройств и систем имеют ряд преимуществ по сравнению с электронными соединениями, основными из которых являются:

- отсутствие электрического проводника, позволяющее осуществлять эффективные пространственные соединения «кристалл – кристалл», «плата – плата»;
- отсутствие взаимного влияния при пересечении лучей света в пространстве;
- возможность сосуществования в одном пространстве нескольких каналов с высокой пропускной способностью;
- параллельная природа светового потока и способность к объединению, обеспечивающие создание гибких параллельных архитектур;
- отсутствие возможности перехватывать информацию в связи с отсутствием излучения оптической системы в окружающую среду;
- устойчивость к электромагнитным помехам.

Все эти преимущества достигаются благодаря тому, что в качестве носителя информации используются фотоны, а не электроны.

Реализация эффективного фотон-электронного интерфейса, обеспечивающе-

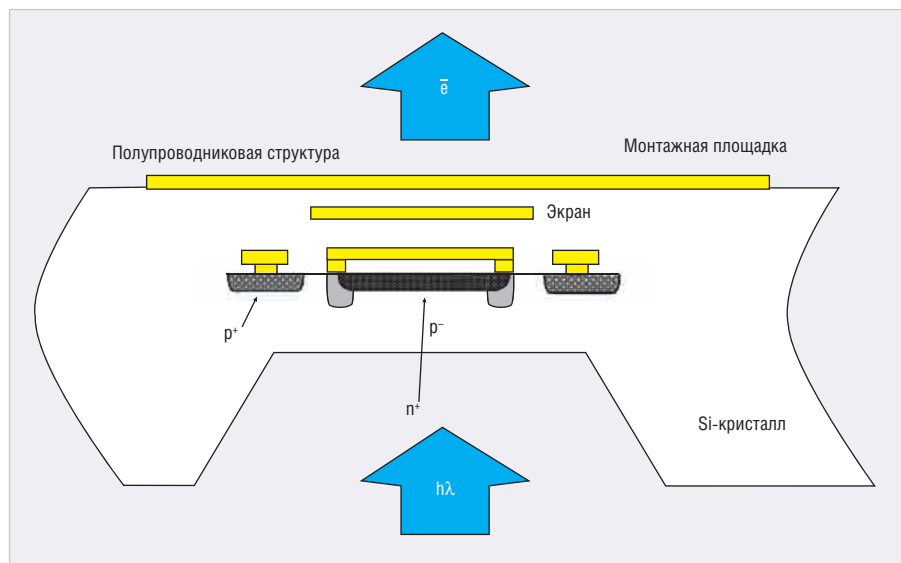


Рис. 9. Фотонный и электронный ввод-вывод информации в Si-кристалле

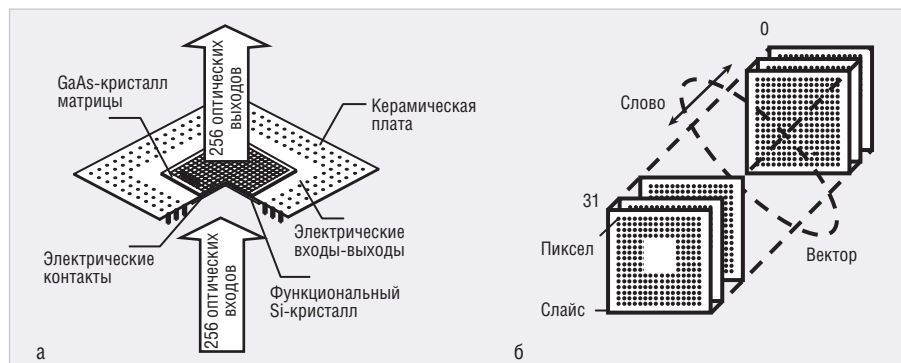


Рис. 10. Архитектура устройств на базе 3D М ФЭ ПМ: а) связь в 3D М ФЭ ПМ; б) организация «вертикальной обработки»

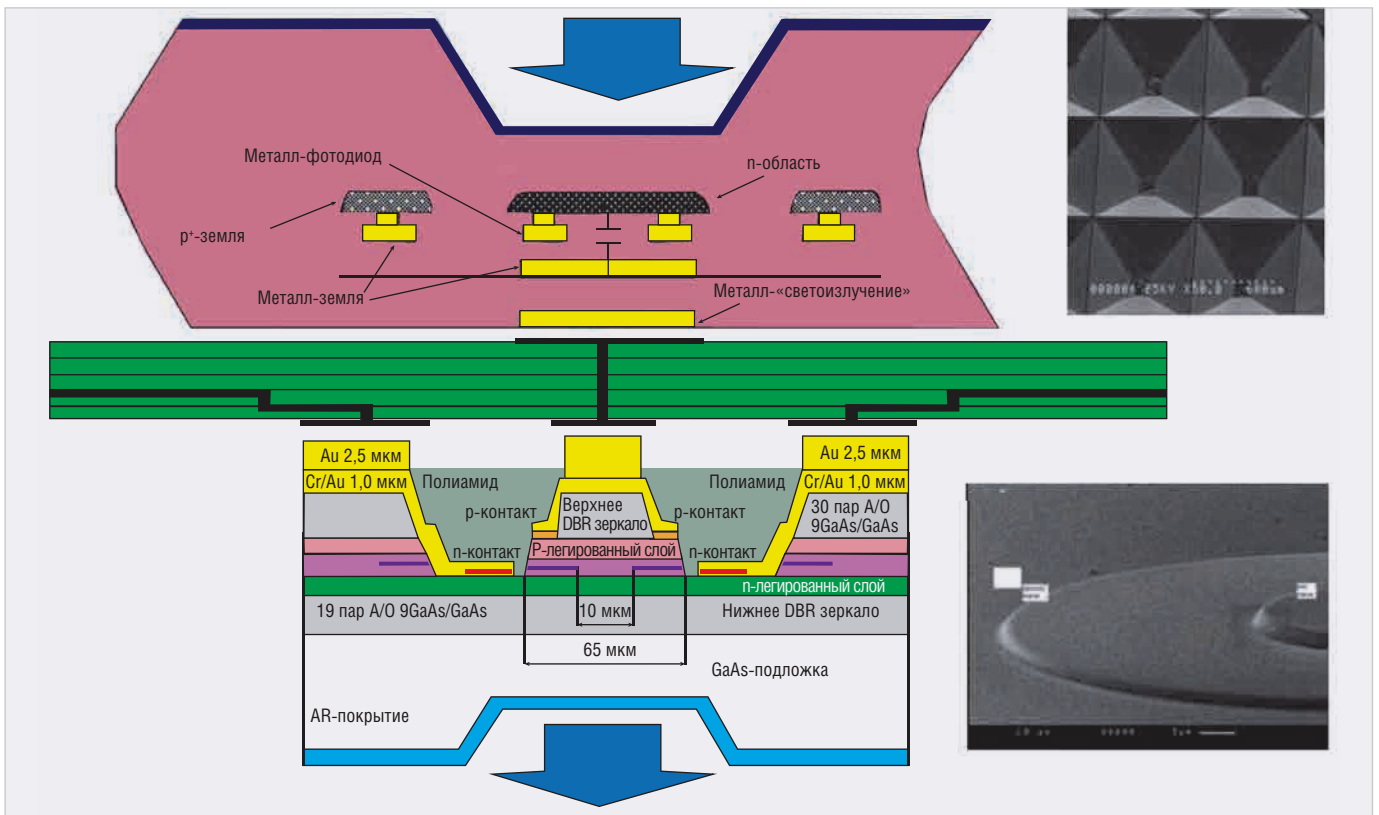


Рис. 11. 3D М ФЭ СБИС и 3D М ЭФ СБИС на LTСС-плате 3D М ФЭ ПМ

го многоканальный ввод-вывод информации в интегральную схему, возможна, если для его организации используются обе поверхности кристалла (см. рис. 9).

Организация фотонного и электронного ввода-вывода информации с использованием двух сторон кристалла позволяет перейти к разработке кремниво-фотонной объёмной (3D) технологии и созданию многоканальных фотон-электронных соединений на уровнях «чип – чип», «плата – плата», «распределённая объектовая связь» (см. рис. 10).

ООО «ОЭС» сформулировало ряд базовых принципов кремниво-фотонной технологии для создания 3D М ФЭ ПМ. Она включает следующие процессы и этапы конструкторско-технологического проектирования и изготовления:

- проектирование высокопроизводительного матричного 3D М ФЭ ПМ с

3D М ФЭ СБИС и управляющим микропроцессором;

- проектирование и изготовление 3D М ФЭ СБИС по кремниевой технологии кристаллов матричных ПЭ с фотонными аналоговыми и цифровыми электронными многоканальными связями;
- проектирование и изготовление 3D М ЭФ СБИС по арсенид-галлиевой технологии кристаллов матричных лазеров с поверхностным излучением фотонов;
- выбор управляющего микропроцессора и полупроводниковой памяти;
- проектирование и изготовление многоканальных линзовых растров, оптических призм и корпусов для многоканальной фотонной связи;
- проектирование и изготовление разъемов с многоканальными оптическими волокнами;

- проектирование и изготовление многослойной LTСС-платы для 3D М ФЭ ПМ;
- сборка, проверка и паспортизация 3D М ФЭ ПМ.

В 3D М ФЭ ПМ реализуются многоканальные фотонные и электронные связи.

Кристаллы 3D М ФЭ СБИС и 3D М ЭФ СБИС по технологии «кристалл-на-плате» монтируются с двух сторон на LTСС-платы 3D М ФЭ ПМ (см. рис. 11) и закрываются герметичным корпусом с многоканальными оптическими линзовыми растрами. Базовая конструкция модуля 3D М ФЭ ПМ представлена на рисунке 12.

Функциональные матричные 3D М ФЭ СБИС, применяемые в 3D М ФЭ ПМ:

- 3D М ЭФ СБИС ПЛ (см. рис. 13) – электрон-фотонная матрица лазерных диодов поверхностного излучения

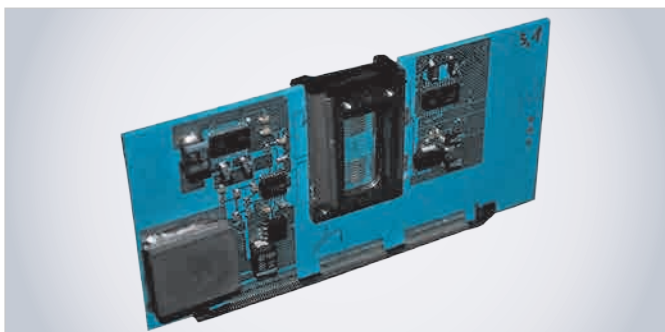


Рис. 12. Базовая конструкция модуля 3D М ФЭ ПМ

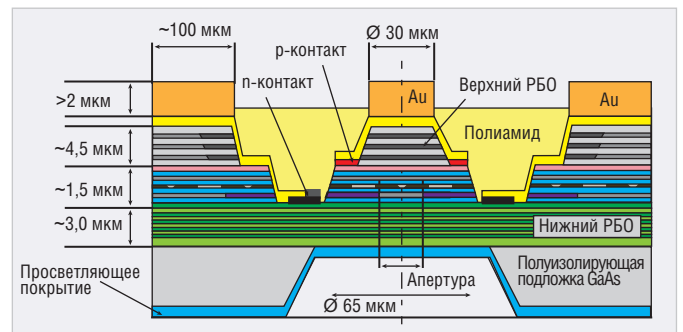


Рис. 13. Структурная схема 3D М ЭФ СБИС ПЛ

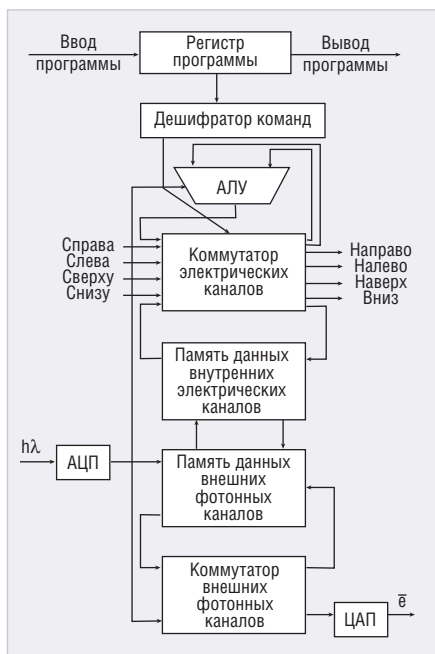


Рис. 14. Структура ПЗ реконфигурируемой 3D М ФЭ SBIS МП

для генерации многоканальных фотонных сигналов;

- 3D М ФЭ SBIS МП (см. рис. 14–16) – фотон-электронная матрица ПЭ обеспечивает многоканальный АЦП-приём и выдачу фотонных сигналов, цифровую обработку сигналов, функциональную обработку, хранение и коммутацию данных, внутренний и внешний обмен информацией по

фотонным и электронным каналам с высокой пропускной способностью;

- 3D М ФЭ SBIS НК – фотон-электронная матрица неблокируемой коммутации фотонных и электрических каналов – маршрутизатор аэрокосмического стандарта SpaceWire.

Состав, технические характеристики и функции 3D М ФЭ SBIS ПЛ:

- формат интегральной матрицы лазерных диодов – 8×8;
- количество фотонных независимых каналов излучения – 64;
- скорость модуляции – до 40 ГГц;
- длина волны фотонного излучения – 850...970 нм;
- пороговый ток – 0,29 мА;
- дифференциальная эффективность $N=0,7$ Вт/А;
- последовательное сопротивление $R=250$ Ом;
- пороговое напряжение $U=2$ В;
- модуляция импульсно-кодовая с непосредственной модуляцией мощности фотонного излучения с помощью АЦП/ЦАП;
- управление – каналное с непосредственной выборкой.

Состав, технические характеристики и функции 3D М ФЭ SBIS МП:

- технология изготовления интегральных кристаллов – КМОП – 90/42 нм;
- формат матрицы ЭП с фотодиодами – 8×8;

- количество пикселей ЭП – 64;
- базовая операция – умножение с аккумулярованием;
- основная функция – квадратичная;
- запись, хранение и выдача слайсов и слов информации из внутренней памяти;
- выполнение операций клеточной логики над слайсом памяти;
- копирование слайса памяти по адресу;
- транзит слайсов;
- операция перестановки слов информации путём копирования из ячейки с одним адресом в ячейку с другим адресом;
- канальная пропускная способность аналого-цифрового фотон-электронного импульсного интерфейса более 3,2 Гбит;
- пропускная способность матрицы более 409,6 Гбит;
- импульсный фотонный аналого-цифровой интерфейс – 28×200 МГц;
- электронный процессорный интерфейс, параллельная шина EMIF.

Состав и технические характеристики пикселя ЭП с функциями АЦ-преобразователей:

- формат матрицы – 8×8;
- количество фотонных каналов ввода – 64;
- количество фотонных каналов вывода – 64;
- электронный интерфейс – 64 бит;

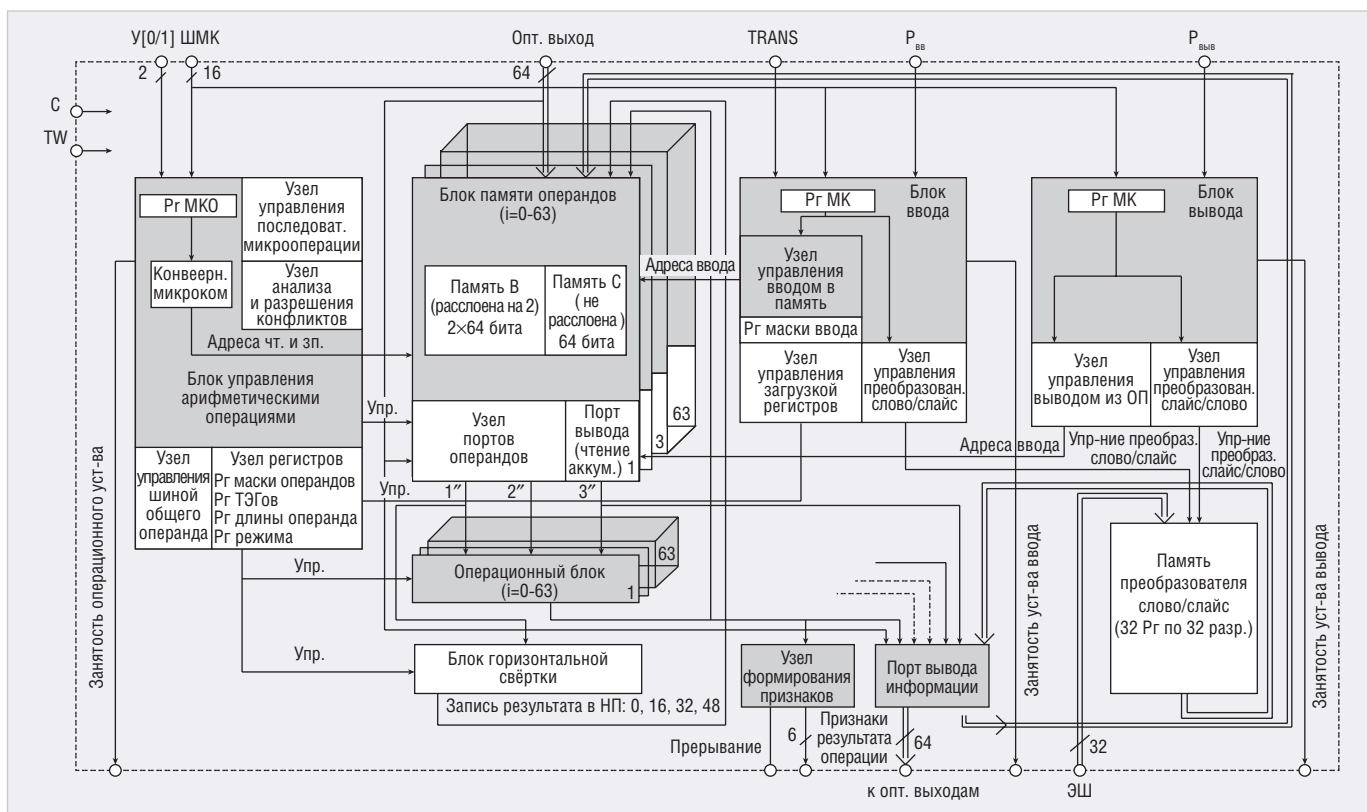


Рис. 15. Структурная схема 3D М ФЭ SBIS МП

- скорость электронного ввода/вывода – до 200 МГц;
- скорость фотонного ввода/вывода – до 200 МГц;
- виды многоканальной связи: фотон-фотонная (транзит), фотон-электронная, электронно-фотонная;
- модуляция – импульсно-кодовая с непосредственной демодуляцией мощности фотонного излучения;
- управление – слайсовое с последовательной выборкой цифровых данных матрицы.

Каждый пиксель фотонного канала ввода/вывода включает:

- ИК приёмный фотодиод;
- усилитель-преобразователь фототока в напряжение;
- 8-разрядный АЦП выходного напряжения усилителя-преобразователя;
- 8-разрядный ЦАП с токовым выходом на излучающие лазерные диоды;
- 8-разрядный регистр данных с интерфейсом ввода/вывода;
- контактные площадки токового выхода и общего катода для монтажа лазерных диодов.

Состав и технические характеристики пикселя ЭП с функциями ПФ:

- матрица из 64 8/16/32-битных пиксель-процессоров ЦОС с последовательным фотонным входом/выходом;
- контроллер 64-разрядной шины EMIFA для связи со скалярным процессором управления;
- контроллер внешней памяти;
- межпиксельный коммутатор;
- реализация разнообразных алгоритмов ЦОС, содержащих операции сложения, вычитания, умножения, сдвигов, логические операции;
- вычисления прямого и обратного БПФ до 1024 точек, разрядность – 8, 16, 32 бита;
- моделирование нейронных сетей, базовые нейрооперации умножения с аккумулярованием и вычитания нелинейной функции активации, разрядность – 8, 16, 32 бита;
- вычисление КИХ-фильтра 8бит/128 отсчётов, 16 бит / 64 отсчёта, 32 бита / 32 отсчёта, возможность каскадирования нескольких пикселей для увеличения числа отсчётов КИХ-фильтра;
- квадратурная модуляция 8-, 16- или 32-входного сигнала;
- получение и обработка выходных данных других пикселей;
- цифровой синтез сигналов.

Состав и технические характеристики пикселя ЭП с функциями НП:

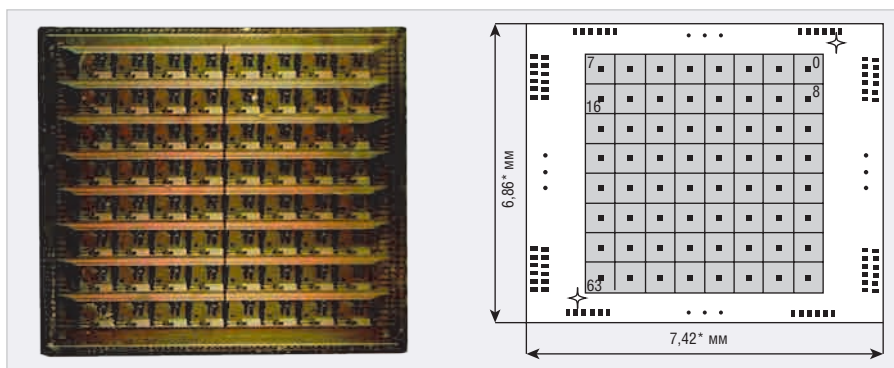


Рис. 16. Внешний вид 3D М ФЭ СБИС МП

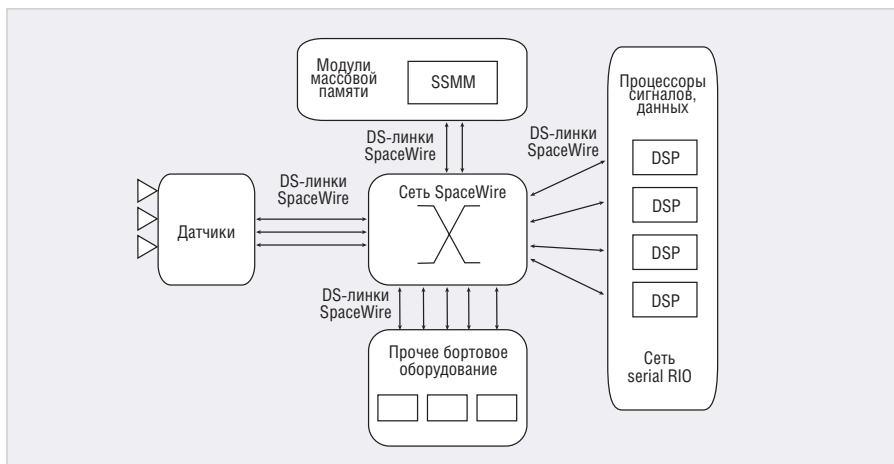


Рис. 17. Системная интеграция комплекса оборудования на основе SpaceWire

- осуществление обмена данными по двум интерфейсам;
 - реализация коммутации 64 процессоров, каждый из которых имеет внутреннюю память;
 - одновременная послайсовая обработка 64 процессорами 64 пар исходных операндов (целочисленная арифметика) под управлением общей микрокоманды (микрокоманда загружается из центрального устройства управления по разделяемой 16-разрядной шине микрокоманд три такта и совмещена с выполнением предыдущей микрокоманды);
 - введение в состав каждого пикселя акселератора умножения, частично реализующего матричное умножение, который позволяет умножить два числа за 2n тактов;
 - выполнение акселератором умножения также нейроопераций вычисления монжева и евклидова расстояния;
 - введение внутри каждого из подмассивов общего сумматора для быстрого сложения аккумуляторов.
- Состав и технические характеристики пикселя ЭП с функциями НП:
- запись, хранение и выдача слайсов и слов информации из внутренней памяти;

- выполнение операции клеточной логики по двум различным шаблонам над слайсом памяти в виде матрицы 8×8;
- выполнение ряда логических операций над слайсами памяти;
- копирование слайса памяти из одного адреса в другой;
- транзит слайсов;
- выполнение операции перестановки слов информации путём копирования из ячейки с одним адресом в ячейку с другим адресом;
- маскируемое копирование слов памяти, предназначенное для реализации команды сборки/разборки по маске;
- генерация нулевого или единого слайса.

Состав, технические характеристики и функции 3D М ФЭ СБИС НК:

- функционирование в соответствии с протоколом SpaceWire (см. рис. 17);
- формат матрицы интеллектуальных пикселей – 8×8;
- тип модуляции – DS-кодирование;
- количество фотонных каналов ввода – 64;
- количество электронных драйверов вывода для подключения лазерных диодов с поверхностным фотонным излучением – 64;

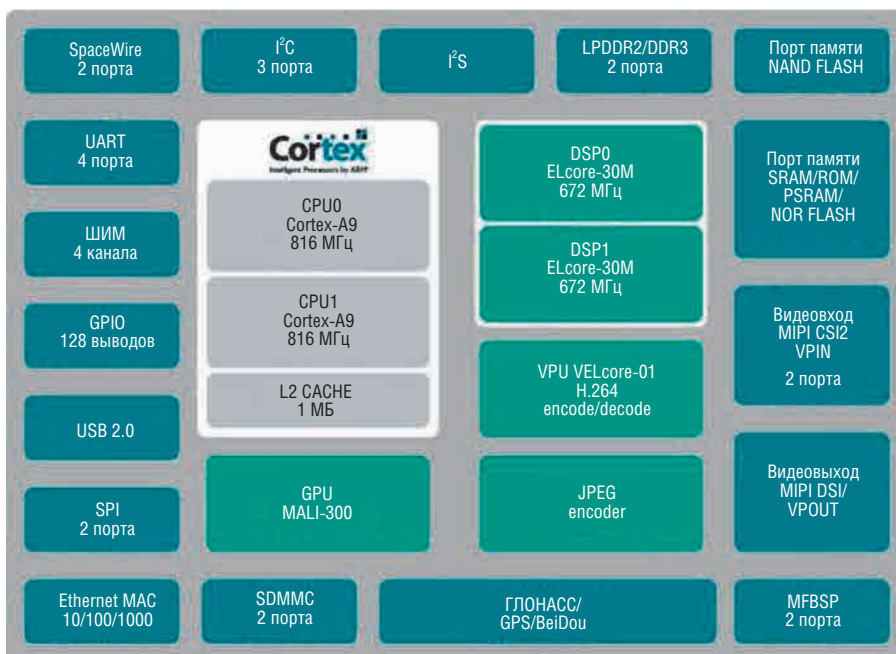
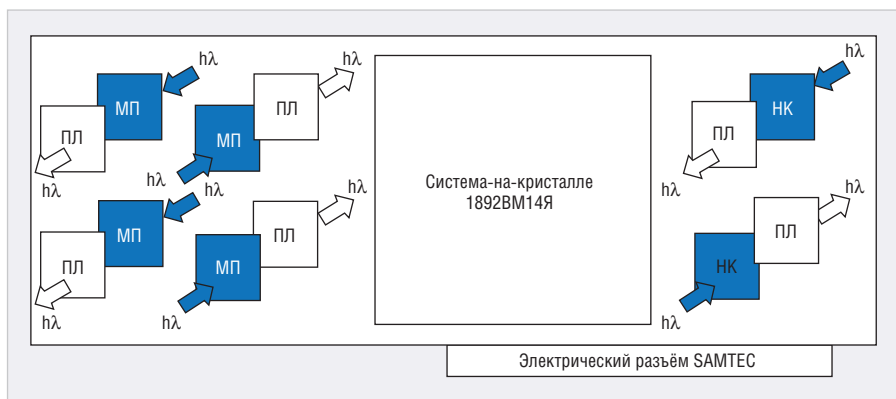


Рис. 18. Система-на-кристалле 1892BM14Я



Примечание: ПЛ – матрица параллельных лазеров (3D ФЭ СБИС ПЛ), МП – матрица матричных процессоров (3D М ФЭ СБИС МП), НК – матрица неблокирующих коммутаторов (3D М ФЭ СБИС НК)

Рис. 19. Конструкция базового 3D М ФЭ ПМ

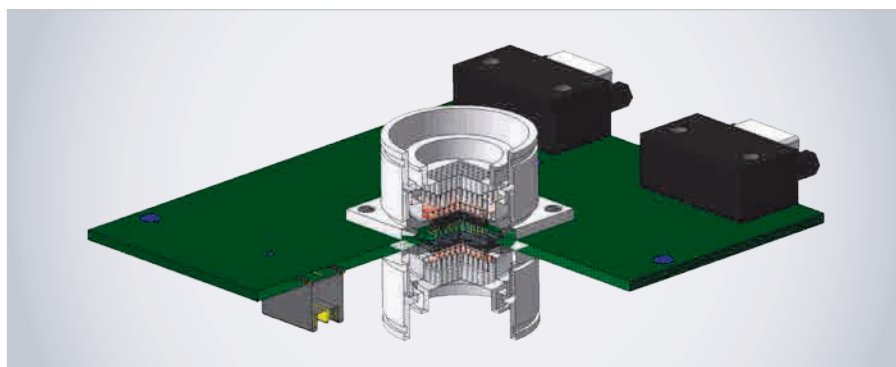


Рис. 20. Электрические и ВОЛС-разъёмы 3D М ФЭ ПМ

- количество фотонных коммутируемых SpiceWire-каналов – 32;
- количество электронных коммутируемых SpiceWire-каналов – 2;
- скорость фотонных SpiceWire-каналов ввода/вывода – до 400 МГц;
- скорость электронных SpiceWire-каналов ввода/вывода – до 400 МГц;
- электронная шина управления EMIFA. Состав, технические характеристики и функции системы-на-кристалле 1892BM14Я (см. рис. 18):
- процессор 1892BM14Я;
- CPU 2xARM Cortex-A9, до 816 МГц;
- DSP 2xELcore-30M, до 672 МГц;
- кодек H.264;

- GPU Mali-300;
- ОЗУ DDR3, 32 бит, 2 ГБ;
- NAND 4 ГБ;
- eMMC 32 ГБ;
- USB 2.0;
- Ethernet 10/100/1000;
- SpaceWire (2 порта);
- видеовходы: TTL 12 бит, MIPI CSI2 4 lanes (2 порта);
- видеовыходы: TTL RGB 24 бит, MIPI DSI 4 lanes;
- аудиовходы: для микрофона, линейный;
- аудиовыходы: для наушников, линейный;
- прочие интерфейсы: SDMMC, I²S, I²C (3 порта), UART (4 порта), SPI (2 порта), PWM (4 канала), MFBSP (LPORT, SPI, I²S, GPIO), GPIO (до 116 портов).

Конструктивные единицы базового 3D М ФЭ ПМ (см. рис. 19):

- мезонинная LTCC-плата для монтажа компонентов 3D М ФЭ ПМ;
- 3D М ФЭ СБИС МП – 4 кристалла;
- 3D ФЭ СБИС ПЛ – 4 кристалла;
- корпус 3D М ФЭ КП с линзовыми растрами – 1 шт.;
- 3D М ФЭ СБИС НК – 2 кристалла;
- 3D М ФЭ КЦ – корпус цилиндрический с линзовыми растрами – 2 шт.;
- 3D М ФЭ ОМ – оптический призмный мультиплексор – 2 шт.;
- система-на-кристалле 1892BM14Я – 1 шт.;
- многоканальный электрический разъём для электрического питания и функциональных электрических интерфейсов – 1шт.

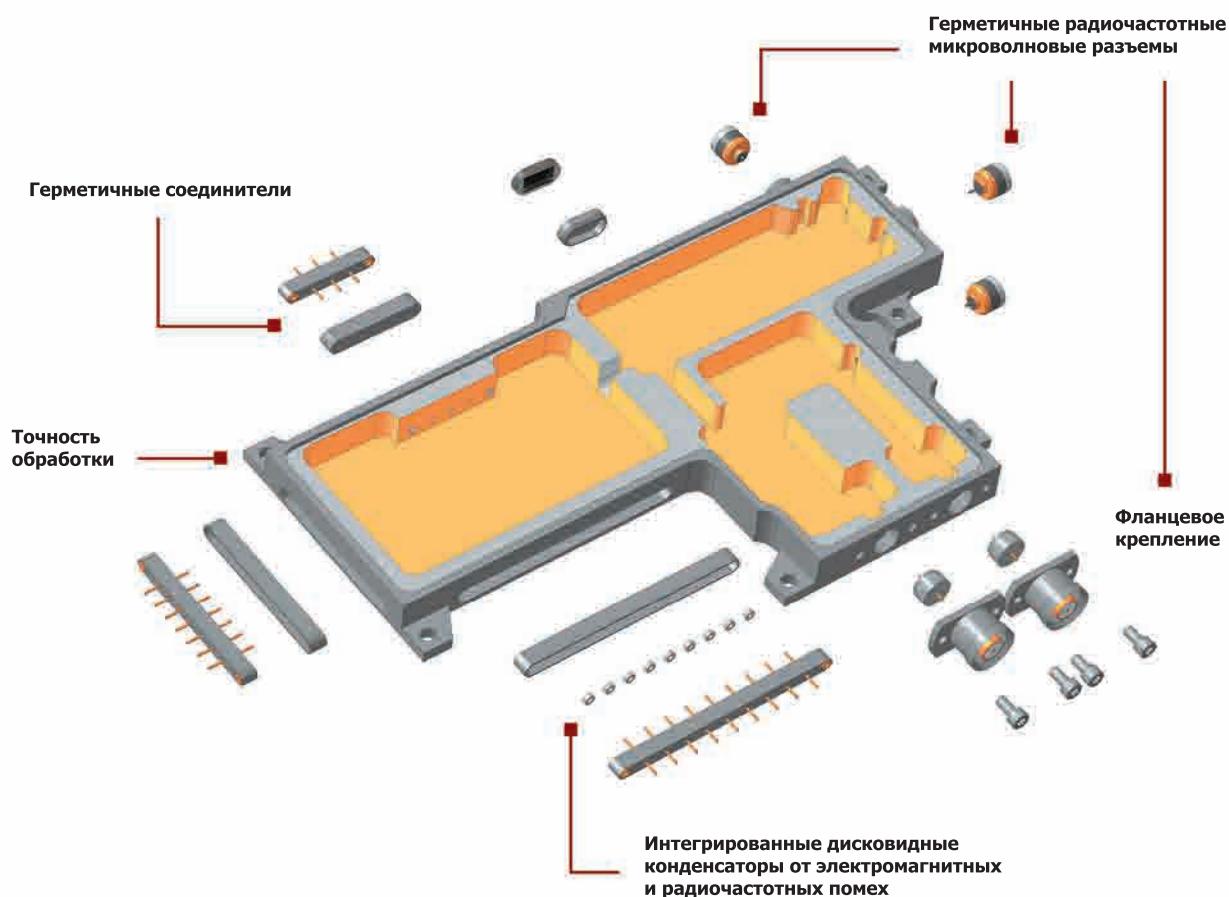
3D М ФЭ ПМ позволяет реализовать режим потоковой вертикальной обработки информации, поступающей по многоканальным фотонным каналам, «на проходе», без промежуточного её хранения.

Электронные интерфейсы 1892BM14Я позволяют 3D М ФЭ ПМ непосредственно сопрягаться с процессорными модулями и датчиками, а фотонные интерфейсы – связываться с удалёнными 3D М ФЭ ПМ через волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) (см. рис. 20).

Применение в самолёте ВОЛС вместо электрических кабелей для функциональной приборной связи позволяет облегчить его конструкцию почти на 6 тонн.

В третьей части статьи будут представлены высокопроизводительные информационно-вычислительные и радиофотонные системы на базе 3D М ФЭ ПМ с сетевой архитектурой.

КОРПУСА ДЛЯ ВЧ И СВЧ ПРИМЕНЕНИЯ



ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ЗАДАНИЮ ЗАКАЗЧИКА

ТЕСТПРИБОР

АО «ТЕСТПРИБОР»
125480, г. Москва,
ул. Планерная, д. 7А,
тел./факс: (495) 657-87-37,
tp@test-expert.ru,
www.test-expert.ru