

# Кремниевая и арсенид-галлий-алюминиевая технология

## Часть 8. Конструкторские и технологические разработки информационно-вычислительных устройств на базе 3D М ФЭФ М

Валерий Сведе-Швец (0000es@mail.ru), Владислав Сведе-Швец, Максим Зиновьев (Москва)

В восьмой части статьи описываются конструкторские и технологические решения, используемые при создании информационно-вычислительных, коммутационных и радиолокационных устройств и систем на базе уникальных трёхмерных матричных фотон-электрон-фотонных модулей (3D М ФЭФ М), разработанных на основе мезонинной платы с применением металлокерамических корпусов PGA с многоканальными электрическими контактами и металлическими корпусами-разъёмами для применения в многоканальных оптических линиях связи.

### ПОСТРОЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА БАЗЕ 3D М ФЭФ М

На сегодняшний день в hi-tech сообществе не существует окончательного видения направлений развития элементной базы и архитектуры построения вычислительных систем экзафлопного класса. Концепция универсальной многоядерности сталкивается с проблемой конфликтного доступа множества ядер к общей памяти. В связи с этим возникает необходимость в принципиально новых, революционных решениях.

Исходя из вышеизложенного, предлагаются две концепции продвижения

решений по созданию высокопроизводительных информационно-вычислительных, коммутационных и радиолокационных устройств, систем и комплексов на базе 3D М ФЭФ М.

Первая концепция создания изделий на базе 3D М ФЭФ М предполагает их использование для связи абонентских устройств с удалёнными изделиями, в том числе с помощью модулей с АЦП-ЦАП и коммутатора аэрокосмического стандарта SpaceWire.

Вторая концепция предусматривает создание информационно-вычислительных устройств с разветвлённой прямой многоканальной оптической связью.

Конфигурации встраиваемых информационно-вычислительных, коммутационных и радиолокационных устройств, систем и комплексов строятся на базе платформы MicroTCA OM открытого стандарта MicroTCA.

### КОНСТРУКТОРСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Базовой конструкцией трёхмерных матричных фотон-электрон-фотонных модулей (3D М ФЭФ М) является мезонинная плата, на которую монтируются металлокерамические корпуса PGA с многоканальными электрическими контактами и металлическими корпусами-разъёмами для многоканальных оптических линий связи, с распайкой необходимых электронных и коммутационных электронных компонентов.

На рисунке 59 показаны конструкции 3D М ФЭФ М в разработанных исполнениях с мезонинной платой.

Данная конструкция подразумевает использование в устройствах с разнесёнными элементами 3D М ФЭФ М при создании информационно-вычислительной среды, в том числе подразумевающей конечных пользователей-абонентов.

На рисунке 60 приведена конструкция 3D М ФЭФ М с одиночным кристаллом. Данное исполнение применимо для одиночного абонента при работе с многопоточной оптической информацией.

На рисунке 61 представлена конструкция 3D М ФЭФ М с мезонинной платой в виде изделия в составе металлокерамического PGA-корпуса с использованием матрицы вертикально излучающих лазеров (3D М ФЭФ М СБИС VCSEL), коммутационного кремниевого функционального кристалла с элементами аналого-цифрового преобразования оптического излучения (3D М ФЭФ М СБИС Si) и многоканального оптического металлического корпуса-разъёма с матричным линзовым растром и двумя внешними электрическими разъёмами.

Преимущества представленной конструкции перед другими решениями

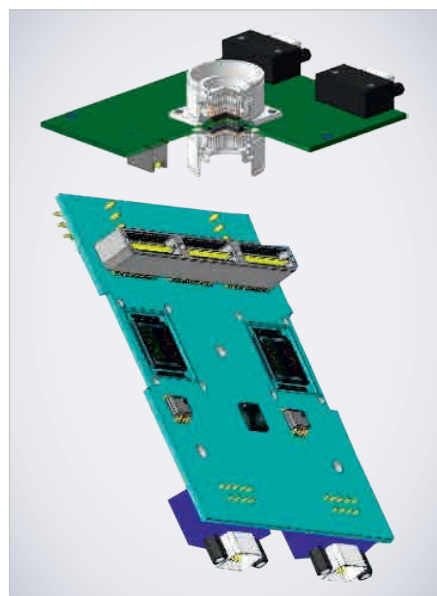


Рис. 59. Варианты конструкции мезонинной платы с 3D М ФЭФ М

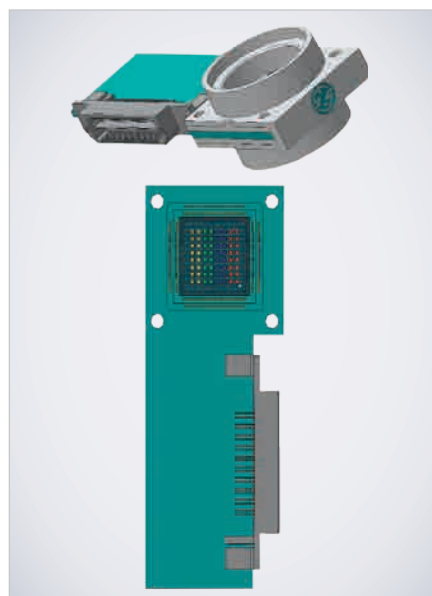


Рис. 60. Конструкция мезонинной платы с одиночным 3D М ФЭФ М

состоят в «горячей» замене основных элементов конструкции – функциональных кристаллов 3D МЭФ СБИС М.

На рисунке 62а представлена концепция вычислителя с 3D МЭФ М для многоканальной потоковой обработки информации с прямой оптической связью на базе механического интерфейса «планка Пикатинни».

Данная конструкция позволяет формировать произвольную длину конвейера потокового вычислителя. На рисунке 62б приведена фотография опытного образца данного вычислителя.

На рисунке 63 представлена реализация концепции формирования указанного вычислителя – конвейерный потоковый вычислитель.

На рисунке 64 приведена фотография опытного образца вычислителя с 3D МЭФ М для многоканальной потоковой обработки информации, используемыми при создании информационно-вычислительной среды, созданного для платформы  $\mu$ TCA (MicroTCA OM).

**Функционально ориентированная интегральная вычислительная среда перспективных бортовых вычислительных систем**

В комплексах бортового оборудования летательных аппаратов (КБО ЛА) нового поколения образуется интегрированная многодатчиковая информационная среда без подразделения на отдельные подсистемы. В общем случае данная среда может включать следующие информационные каналы:

- радиолокационный канал;
- канал радиотехнической разведки;
- индикационно-информационный канал;
- оптико-электронный прицельно-навигационный канал;
- канал информационного подавления.

В концепции организации бортовых вычислительных систем (БВС) перспективных летательных аппаратов принята открытость архитектуры бортовых средств вычислительной техники (СВТ), базирующаяся на основе использования ограниченного набора унифицированных функциональных модулей – средств обработки и передачи информации, что позволяет создавать масштабируемые БВС с широким спектром функциональных характеристик.

Для передачи, хранения и обработки всё возрастающих потоков передаваемых данных перспективных БВС архи-

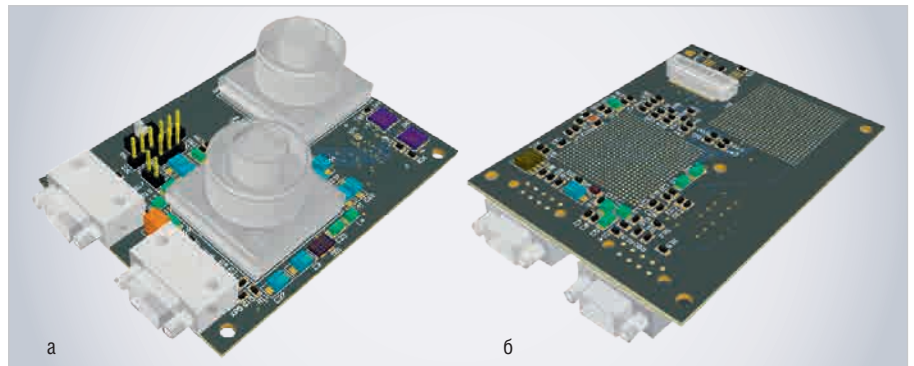


Рис. 61. Конструкция 3D МЭФ М с мезониной платой в виде изделия в составе металлокерамического PGB-корпуса с 3D МЭФ СБИС VCSL и 3D МЭФ СБИС Si: а) лицевая сторона; б) обратная сторона



Рис. 62. Вычислитель с 3D МЭФ М на базе механического интерфейса «планка Пикатинни»: а) концепция; б) фотография опытного образца

тектурная организация средств информационного обмена должна постоянно развиваться. Например, сигналы от аналоговых датчиков в настоящее время преобразуются в цифровые потоки уже на ранней стадии их обработки, при этом благодаря повышению частоты квантования удаётся повысить объём собираемой информации (более  $10^8$  выборок/с). Таким образом, комплексирование на уровне датчиков обуславливает концентрацию обрабатываемой информации в централизованных высокопроизводительных процессорах цифровой обработки сигналов. Кроме того, всё чаще требуется преобразование аналогового видеосигнала в цифровую форму.

Высокая пропускная способность также необходима для обеспечения межпроцессорных соединений. Процессоры с равнодоступной памятью предполагается применять при реализации параллельных процессорных систем и технологии коммерческих суперкомпьютеров, с помощью которых возможно интенсифицировать вычисления, критические для выполнения задач авионики.

Создание структуры перспективной БВС на основе открытой масштабируемой информационно-вычислительной системы (ИВС) с непрерывно перестраиваемой структурой, ресур-

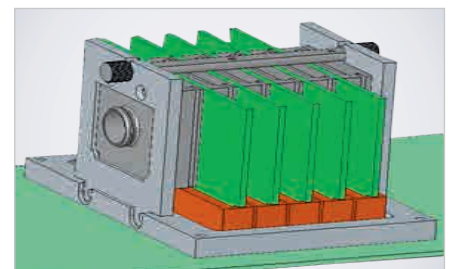


Рис. 63. Модель конвейерного потокового вычислителя

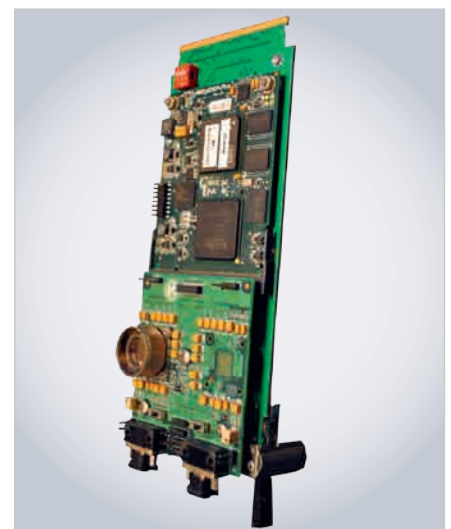


Рис. 64. Вычислитель с 3D МЭФ М для многоканальной потоковой обработки информации

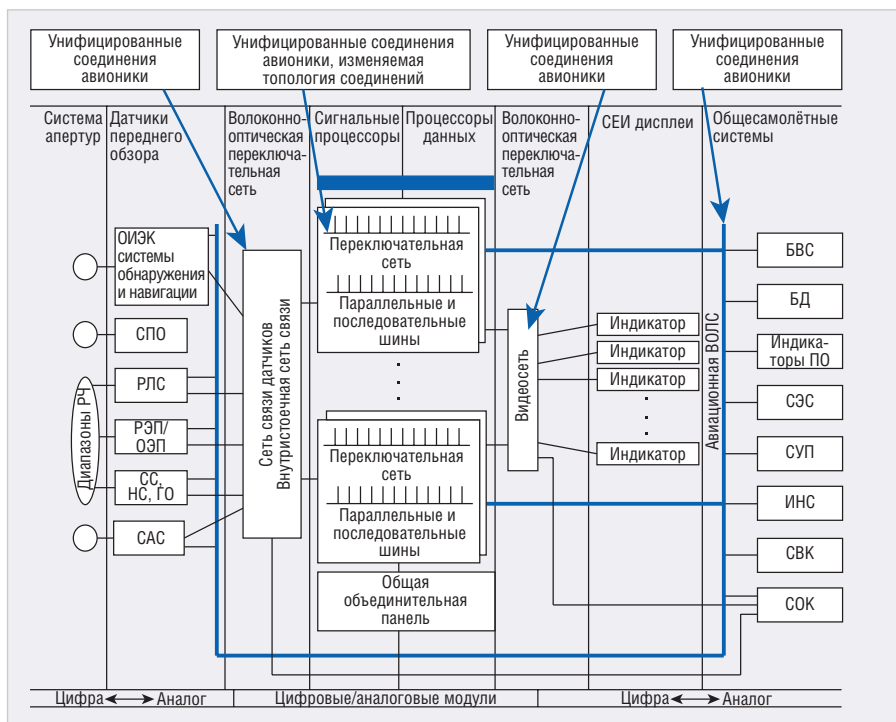


Рис. 65. Интегрированная БВС перспективных ЛА

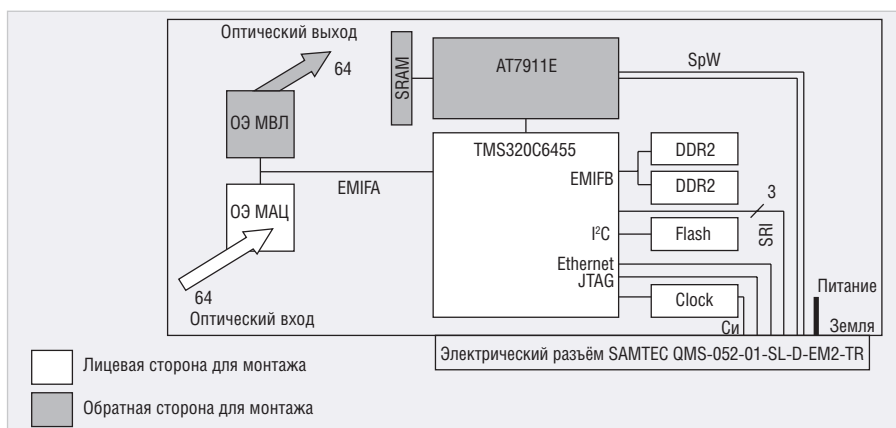


Рис. 66. Структурная схема 3D М ФЭФ М ИП

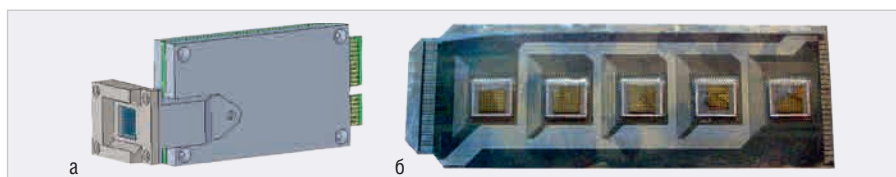


Рис. 67. Модель конструкции 3D М ФЭФ М ИП: а) макет; б) общий вид

сы которой могут перераспределяться произвольным образом, является сложной научно-технической проблемой. На рисунке 65 представлена интегрированная БВС перспективных ЛА.

Для того чтобы обеспечить построение ИВС, функциональные и надёжные характеристики которых будут отвечать требованиям перспективных КБО, необходима разработка бортовых СВТ следующего поколения высокоинтегрированных модульных бортовых средств обработки информации

на основе высокоскоростных сетевых интерфейсов, обеспечивающих совершенно новые качества и характеристики (масштабируемость, реконфигурируемость, повышенную производительность и пропускную способность) [1].

Для реализации интегрированных БВС перспективных ЛА предлагается использовать на базе 3D М ФЭФ М унифицированный интеллектуальный порт связи с электрическим стандартом SpaceWire и его реализацией с помощью волоконно-оптических многоканальных связей с

удалёнными портами – трёхмерный матричный фотон-электрон-фотонный модуль с интеллектуальными портами (3D М ФЭФ М ИП) для обработки и коммутации информации.

### 3D М ФЭФ М ИП С УНИФИЦИРОВАННЫМИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ ПОРТАМИ СВЯЗИ

3D М ФЭФ М ИП предназначен для подключения к конечным устройствам с помощью электрических и оптических связей, он реализует функции скоростного ввода/вывода, обработки и коммутации информации, обеспечивая интерфейсную связь с хост-ЭВМ, и при этом является электронной компонентной базой для разработки и серийного производства интегрированных комплексов бортового оборудования летательных аппаратов на основе концепции интегрируемой модульной электроники.

3D М ФЭФ М ИП реализует обмен информацией в сети по электрическим связям с топологией «точка – точка» (технология SpaceWire) и по многоканальным волоконно-оптическим линиям связи с топологиями «точка – точка», «точка – многоточие».

Таким образом, конечное устройство (датчик, микропроцессор, исполнительный механизм, подключенный к 3D М ФЭФ М ИП) образует интеллектуальный порт.

3D М ФЭФ М ИП – это гибридная сборка бескорпусных 3D М ФЭФ СВИС и корпусных полупроводниковых микросхем, смонтированных на металлокерамической подложке. Такой модуль имеет многоканальные оптические и электрические связи со следующими техническими характеристиками:

- число каналов с SpaceWire интерфейсом связи к конечным устройствам – 2;
- число оптических каналов ввода/вывода – 64;
- число оптических каналов интегральной матрицы коммутации – 64 (8×8);
- скорость приёма/передачи информации по оптическим линиям не менее 166 МГц;
- пропускная способность 3D М ФЭФ М ИП по оптическим каналам – 10 624 Гбит/с;
- набор периферийных интерфейсов – в соответствии с управляющим процессором TMS320C6455.

На рисунке 66 приведена структурная схема 3D М ФЭФ М ИП.

Конструкция 3D М ФЭФ М ИП представляет собой многослойную керамическую полосковую плату, изготовленную по технологии LTCC, с

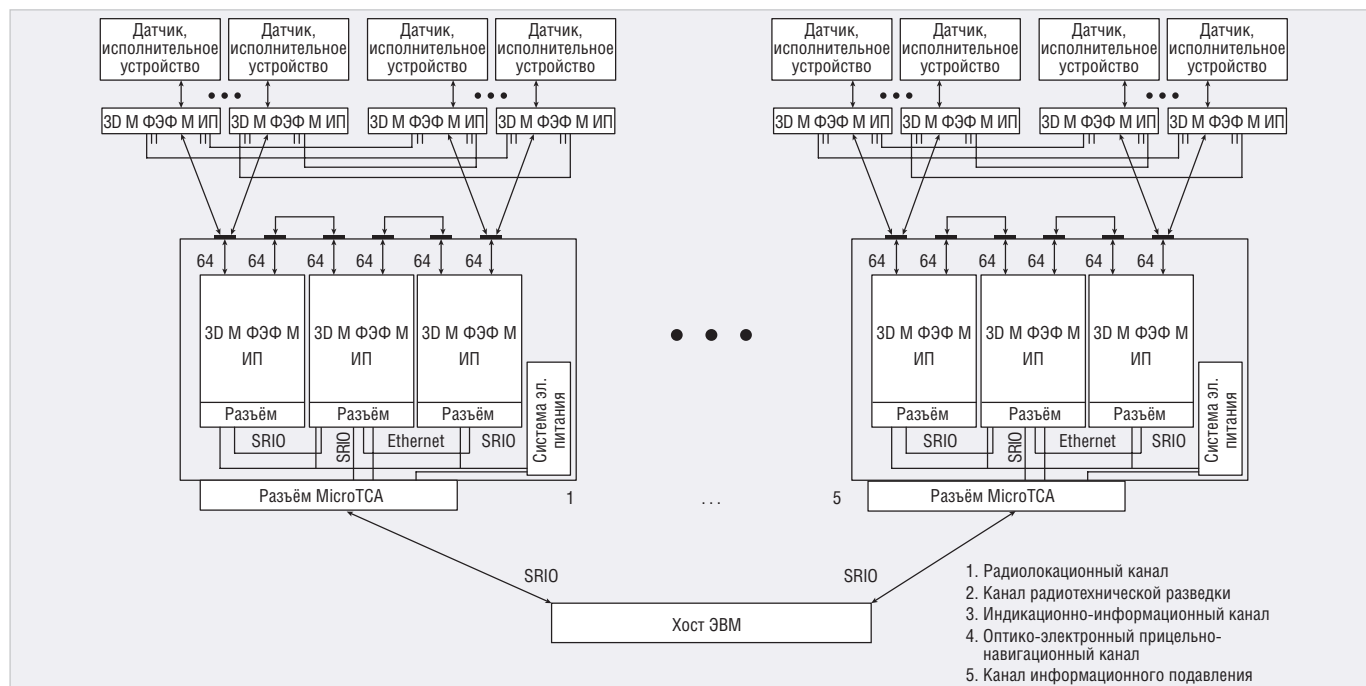


Рис. 68. Структурная схема интегрированной БВС перспективных ЛА на базе 3D М ФЭФ М ИП с резервированием

установленными на ней электронными и оптоэлектронными элементами, электрическими и оптическими разъёмами.

На рисунке 67 представлена модель конструкции 3D М ФЭФ М ИП.

3D М ФЭФ М ИП реализован на основе кристаллов 3D М ФЭ СБИС МА/Ц и 3D М ЭФ СБИС VCSSL фирмы ООО «ОЭС», процессора TMS320C6455BGTZA фирмы Texas Instruments, микросхемы AT7911E фирмы Atmel, кристаллов памяти DDR2-K4T1G164QE\*\*E7 фирмы Samsung (или Micron) и кристаллов памяти EEPROM – AT24C512BU2-UU фирмы Atmel.

3D М ФЭФ М ИП оснащён интерфейсами I<sup>2</sup>C, JTAG, ETHERNET, SRIO и предназначен для установки на мезонинной плате стандарта MicroTCA для высокопроизводительных информационно-вычислительных систем платформы MicroTCA OM.

Управление 3D М ФЭФ М ИП осуществляется с помощью одноплатной хост-ЭВМ платформы MicroTCA OM. Высокопроизводительная обработка информации осуществляется с помощью процессора TMS320C6455.

Производительность процессора TMS320C6455 в вычислениях с фиксированной точкой – 2,9 MIPS (млн инструкций в с) / мВт.

Пропускная способность разработанного 3D М ФЭФ М ИП по оптическим каналам теоретически составляет 10 624 Гбит/с. Пропускная способность 3D М ФЭФ М ИП по электрическому

интерфейсу SRIO – до 3,125 Гбит/с, по интерфейсу EMAC – до 1 Гбит/с.

3D М ФЭФ М ИП функционирует со штатным программным обеспечением одноплатной хост-ЭВМ платформы MicroTCA OM. На рисунке 68 представлена структурная схема интегрированной БВС перспективных ЛА на базе 3D М ФЭФ М ИП с резервированием.

Применение 3D М ФЭФ М ИП – унифицированных интеллектуальных портов с электрическими и оптическими связями на базе кристаллов 3D М ФЭ СБИС МА/Ц и 3D М ЭФ СБИС VCSSL – позволяет в значительной степени улучшить тактико-технические, надёжностные, энергетические и весовые характеристики при реализации интегрированной БВС на базе стандарта SpaceWire по сравнению с существующим набором электронных компонентов.

На разрабатываемых самолётах перспективного направления бортовые вычислительные системы в партнёрстве с экипажем должны решать новый класс задач. Решение таких задач требует использования новой структуры бортовой цифровой вычислительной машины и алгоритмов – структур с элементами искусственного интеллекта, реализованных в унифицированных 3D М ФЭФ М ИП в соответствии с концепцией создания электронной компонентной базы для разработки и серийного производства интегрированных комплексов бортового оборудования летательных аппаратов на основе концепции интегрированной модульной авионики.

В следующей части статьи речь пойдёт о преобразователях оптико-электрического интерфейса (3D ФЭФ М ПОЭИ), многоканальных 3D ФЭФ-модулях абонентского сопряжения (3D М ФЭФ М АС) и многоканальных 3D ФЭФ-модулях высокоскоростных вычислений (3D М ФЭФ М ВВ), представленных в концепте решений по созданию высокопроизводительных информационно-вычислительных, коммутационных и радиолокационных устройств, систем и комплексов, с описанием технических характеристик и способов кодирования при обработке и передаче информации.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Павлов А.М. Принципы организации бортовых вычислительных систем перспективных летательных аппаратов: <http://asutp.ru/?p=600338>
2. Сведе-Швец В., Сведе-Швец Вл., Зиновьев М. Кремниевая и арсенид-галлий-алюминиевая технология: создание М ЭФ СБИС VCSEL и М ФЭ СБИС Si. Часть 3. Современная электроника. 2017. № 5.
3. Сведе-Швец В., Сведе-Швец Вл., Зиновьев М. Кремниевая и арсенид-галлий-алюминиевая технология: конструктивные решения 3D М ФЭФ М. Часть 6. Современная электроника. 2018. № 1.
4. Сведе-Швец В., Сведе-Швец Вл., Зиновьев М. Кремниевая и арсенид-галлий-алюминиевая технология: конструкторские решения в области изготовления оптических трёхмерных матричных приёмо-передающих модулей 3D М ФЭФ М. Часть 7. Современная электроника. 2018. № 2.

НОВОСТИ МИРА

**Использовать все возможности INDUSTRIE 4.0**



Исследователи из трёх институтов Ахе-на совместно работают в Центре Фраунгофера «Сетевое адаптивное производство» (Fraunhofer High Performance Center “Networked, Adaptive Production”) над реализацией единой сети машин и датчиков. Сеть призвана оценивать все получаемые производственные данные с помощью интеллектуальных алгоритмов в режиме реального времени и адаптировать производственный цикл в соответствии с этими данными. Возможности сети будут продемонстрированы на выставке в Ганновере с 23 по 27 апреля 2018 года.

Конечная цель работы центра – создание единой и компьютеризированной среды производства.

Сегодня перед производством стоят две задачи, которые сложно или невозможно воплотить: индивидуальная обработка компонентов и оптимизация производства в режиме реального времени. Именно эту задачу и хотят решить исследователи. Они разрабатывают единую производственную среду, которая подходит для различных отраслей промышленности – от биомедицины до машиностроения. В Центре Фраунгофера хотят полностью использовать возможности Индустрии 4.0 для особо сложных производственных задач, примеры которых будут представлены на выставке в Ганновере.

Благодаря новому подходу удаётся «оцифровать» и связать в единую сеть реальную производственную среду. Чтобы это сделать, все производственные системы оснащаются многочисленными датчиками, которые непрерывно передают данные измерений с машин в центральную базу данных, причём делают это по беспроводной сети через мобильные сети 5-го поколения (5G). Собранные данные хранятся в специально разработанном облаке под названием Virtual Fort Knox, где обрабатываются и анализируются специально разработанными алгорит-

мами и программами. Этот анализ помогает выявить новые и неожиданные данные, которые можно соотнести с шаблонами процессов, например с вибрационными шаблонами, выявив, таким образом, что инструмент на станке изношен. Когда информация возвращается обратно в блок управления устройством, она вызывает предупреждение о необходимости замены инструмента.

Чтобы проиллюстрировать различные возможности оцифровки и подключения производственных мощностей, эксперты Института технологии производства объединились с коллегами из Института лазерной технологии и Института молекулярной биологии и прикладной экологии и создали шесть различных систем для обработки и демонстрации возможностей системы. В частности, были созданы производственные цепочки изготовления лопаток турбин, лекарств и аккумуляторов для электромобилей. При изготовлении компонентов турбин для авиационных двигателей первостепенное значение имеет точность и безопасность. В настоящее время лопасти турбин в основном фрезеруются из цельной титановой болванки с использова-

**ВАКУУМНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ДИСПЛЕИ  
ДЛЯ ЖЁСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

- Яркость 600 кд/м²
- Угол обзора 150° (конусный)
- Встроенные контроллеры управления
- Символы высотой 5 и 9 мм
- Вибрации от 10 до 500 Гц
- Удары до 20 g (по каждой оси)
- Ресурс от 40 000 до 100 000 часов
- Диапазон рабочих температур -40...+85°C

**IEE INDUSTRIAL ELECTRONIC ENGINEERS**

Впл с точечной матрицей  
серии Century —  
по-прежнему в строю!

**PROSOFT®**

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636  
INFO@PROSOFT.RU

[WWW.PROSOFT.RU](http://WWW.PROSOFT.RU)



Реклама

нием станков. При такой схеме не исключены вибрации, которые приводят к неточной обработке. Для решения этой проблемы в пилотной системе были установлены датчики, способные точно регистрировать отклонения до сотых долей миллиметра длительностью несколько миллисекунд. В будущем огромные объёмы данных, собранных в ходе этой процедуры, будут передаваться через сеть 5G в безопасное облако (Virtual Fort Knox). Только скорость 5G подходит для отправки команд управления станку в режиме реального времени и предотвращения вибраций до их возникновения.

Особенность нового высокопроизводительного центра в том, что данные о производстве и информация с датчиков хранятся отдельно для каждой единицы продукта в «цифровом двойнике», который содержит всю историю производства. Если в дальнейшем появляется брак, то можно проанализировать весь процесс и определить, где возникла ошибка. Анализ данных и отслеживание истории производства ценны не только для изготовления турбин, они пригодятся и для извлечения активных веществ из растений. В контролируемых условиях Инсти-

тута молекулярной биологии и прикладной экологии высаживают растения, выращивают их, биохимически изменяют для производства медицинских препаратов, а затем собирают. На последнем этапе активные ингредиенты экстрагируют из растения и выделяют.

Поскольку все растения развиваются по-своему и содержат разное количество активных ингредиентов, полезно проследить историю каждого из них, чтобы точно проанализировать условия роста и выработки активных веществ. В дальнейшем можно определить, при каких условиях растения особенно продуктивны, и постоянно адаптироваться под них. Сотрудники института проводят обширный анализ больших данных, чтобы выявлять и контролировать правильные параметры, влияющие на производство активных ингредиентов в растениях.

Сильной стороной центра высокопроизводительных вычислений в Ахене стала пригодность технологий оцифровки к различным областям применения. Например, в институте лазерной технологии исследователи адаптировали концепцию к производству ак-

кумуляторных модулей. Эти модули состоят из сотен или даже тысяч отдельных ячеек, которые необходимо сваривать и связывать друг с другом с помощью лазера. Это трудоёмкий процесс, который требует высокой надёжности, ведь если во время работы батареи из строя выйдет один шов, это может повлечь выход из строя всего модуля. Чтобы решить эту проблему, эксперты в Ахене решили использовать датчики для контроля сварки. В результате удалось контролировать качество лазерной сварки в реальном времени или отслеживать его в истории продукта. Кроме того, благодаря полной связности системы и непрерывному потоку данных в будущем можно будет сделать производство батарей более гибким. Сейчас производители обычно указывают место для установки и тип ячейки, однако при использовании новой системы для каждого приложения можно будет выбрать идеальный тип батареи с нужными характеристиками производительности и правильным размером, подходящими к спецификации автомобиля.

*Fraunhofer Institute for Production Technology IPT*



## Новые стандарты измерений сигналов

Портативные приборы TiePie engineering с USB-интерфейсом



**HANDYSCOPE HS6 DIFF**  
4-канальный USB-осциллограф с дифференциальными входами, высоким разрешением и частотой опроса:

- полоса частот входного сигнала 250 МГц
- частота дискретизации до 500 МГц
- разрешение 12, 14, 16 бит
- память 64 Мсэмпл
- встроенный генератор 30 МГц, разрешение 14 бит



**HANDYPROBE HP3**  
Профессиональный USB-прибор с функциями мультиметра, осциллографа, спектроанализатора, логического анализатора:

- диапазон входного сигнала 0,2–800 В
- разрешение 10 бит
- максимальная частота дискретизации 100 МГц



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636  
INFO@PROSOFT.RU

[WWW.PROSOFT.RU](http://WWW.PROSOFT.RU)

