

05 (18) сентябрь 2015

# ВЕКТОР

ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ  
Научно-практический журнал

## ОПТИМИЗАЦИЯ

Юрий Смирнов  
Станислав Гафт

**30** ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА  
УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ —  
ВНЕДРЯТЬ НЕЛЬЗЯ ОТЛОЖИТЬ!

## ПЕРСПЕКТИВЫ

Андрей Хохлун

**6** КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ В РОССИИ  
МИНИФАБРИК ПО ПРОИЗВОДСТВУ  
СОВРЕМЕННЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ  
МИКРОСХЕМ

## ТЕХНОЛОГИИ

Роман Лыско

**12** КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ  
«ПОТОК»: ИНТЕГРАЦИЯ  
ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РАЗРАБОТОК  
ДЛЯ ЗАДАЧ ЖГУТОВОГО  
ПРОИЗВОДСТВА



# Новый язык управления производством

## LOGOS

Цифровая  
система  
управления  
приборным  
производством

Система LOGOS разработана специально для управления приборным производством. Она дает новые возможности сбора и обработки информации, необходимой для принятия решений, от которых зависят качество, сроки и эффективность работы предприятия.

### Преимущества системы

- исчерпывающая и объективная картина производства для руководителя предприятия;
- прозрачность производственных процессов на всех уровнях;
- прослеживаемость продукции по всему технологическому циклу;
- оперативное и перспективное планирование на основе точных данных;
- диагностика и предупреждение отклонений по качеству, срокам и эффективности;
- сокращение издержек за счет оптимизации ресурсов и снижения доли незавершенного производства.



будущее  
создается

[www.logos-system.ru](http://www.logos-system.ru)  
(495) 788 44 44  
[info@ostec-group.ru](mailto:info@ostec-group.ru)



# В НОМЕРЕ

## ПЕРСПЕКТИВЫ

### ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ

#### ИЛИ КАК БОГУ ПОМОЛИТЬСЯ И ЛОБ НЕ РАЗБИТЬ ..... 2

Автор: Андрей Насонов

### КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ В РОССИИ МИНИФАБРИК ПО ПРОИЗВОДСТВУ СОВРЕМЕННЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ ..... 6

Автор: Андрей Хохлун

## ТЕХНОЛОГИИ

### КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ «ПОТОК»: ИНТЕГРАЦИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РАЗРАБОТОК ДЛЯ ЗАДАЧ ЖГУТОВОГО ПРОИЗВОДСТВА ..... 12

Автор: Роман Лыско

### СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ МИКРОСБОРОК И КРИСТАЛЛОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ, ХРАНЕНИИ И ОБРАЩЕНИИ С НИМИ ..... 18

Автор: Александр Вотинцев

## КАЧЕСТВО

### ТОЧНО В ЦЕЛЬ. ТОЧНО ЛИ? ..... 26

Автор: Василий Рыбалко

## ОПТИМИЗАЦИЯ

### ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ — ВНЕДРЯТЬ НЕЛЬЗЯ ОТЛОЖИТЬ! ..... 30

Авторы: Юрий Смирнов, Станислав Гафт

## ТЕХПОДДЕРЖКА

### АНОДНАЯ И НЕПОСРЕДСТВЕННАЯ СВАРКА ПЛАСТИН ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ. ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ И КЛЮЧЕВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ..... 36

Автор: Александр Скупов

## АВТОРЫ НОМЕРА

**Андрей Насонов**  
Технический директор ООО «Остек-Электро»  
nec@ostec-group.ru

**Андрей Хохлун**  
Генеральный директор ООО «Остек-ЭК»  
micro@ostec-group.ru

**Роман Лыско**  
Начальник отдела модернизации производств  
кабельных изделий ООО «Остек-ЭТК»  
cable@ostec-group.ru

**Александр Вотинцев**  
Начальник группы технического  
сопровождения Направления оснащения  
рабочих мест и контрольно-измерительных  
приборов ООО «Остек-АртТул»  
info@arttool.ru

**Василий Рыбалко**  
Начальник отдела аттестации и сервиса  
ООО «Остек-Тест»  
test@ostec-group.ru

**Юрий Смирнов**  
Технический директор ООО «Остек-  
Инжиниринг»  
okp1@ostec-group.ru

**Станислав Гафт**  
Генеральный директор  
ООО «Остек-Инжиниринг»  
okp1@ostec-group.ru

**Александр Скупов**  
Ведущий инженер отдела технического  
сопровождения ООО «Остек-Интегра»  
materials@ostec-group.ru

Научно-практический журнал «Вектор высоких технологий»,  
свидетельство регистрации: ПИ № ФС 77 — 60644 от 20.01.2015, учредитель ООО Предприятие Остек.

Редакционная группа: Большаков Антон, Волкова Ирина.

121467, Москва, Молдавская ул., д. 5, стр. 2.

E-mail: marketing@ostec-group.ru

тел.: 8 (495) 788-44-44

факс: 8 (495) 788-44-42

Оформить бесплатную подписку на журнал можно на сайте [www.ostec-press.ru](http://www.ostec-press.ru)



## ПЕРСПЕКТИВЫ

# Импорто- замещение или как богу помолиться и лоб не разбить



Текст: Андрей Насонов

”

Ответ на вопрос, почему назрела необходимость интенсивно заняться импортозамещением, хорошо это или плохо, не является темой данной статьи. Ситуация такая, как есть. Поэтому необходимо задуматься о том, какие действия будут наиболее разумны и как избежать некомпетентных шагов. Главная проблема — время. Необходимо быстро научиться обходиться без технологических благ недружелюбных цивилизаций. И тут на первый план выходит вопрос о наличии подготовленных и опытных инженерных кадров. Вопрос по определению не быстрый. Кадры выращиваются годами, опыт приобретается десятилетиями. И этот путь придется пройти. А вот какие ошибки можно сделать, пытаясь сократить время — это весьма интересная тема.

Попробую проиллюстрировать возможные беды на примере технологического оборудования для электрического тестирования в процессе производства различных изделий электронной техники. Отставание в этой сфере существовало еще во времена Советского Союза. В годы, когда происходило разрушение промышленного потенциала, оно только усугублялось. Нельзя сказать, что ничего не делалось, но, тем не менее, отставание только возрастало. Речь идет о разработке и производстве именно отечественного оборудования. Импортное в эти годы успешно поставлялось на наши предприятия. Его достаточно много и именно оно позволяет промышленности успешно развиваться в настоящее время. Ситуация достаточно типичная для всех видов технологического оборудования. Сегодня остро встала необходимость научиться делать свое. И тут возникает ряд соблазнов для облегчения задачи и ускорения процесса.

Соблазн первый. Попытаться слепо копировать иностранные образцы. Нельзя сказать, что это полностью неверный путь: для того чтобы сэкономить время и не изобретать велосипед, это не плохо. Ключевое слово здесь «слепо». Разобраться в решениях, понять преимущества и недостатки — это хорошо. А слепо копировать, лишь бы получить результат — это путь в никуда. При таком подходе не будут развиваться специалисты, а ведь это важнейшая задача. Понятно, что в данном случае основной кадровый резерв это те инженеры, которые имеют опыт работы с импортным оборудованием, что в некоторых случаях позволяет создать устройства в принципе не имеющие иностранных аналогов. Например, портативный с автономным питанием многоканальный высоковольтный кабельный тестер, представленный на рис 1. Это действительно изделие с принципиально новыми потребительскими свойствами, а не маркетинговая игра с характеристиками.

Соблазн второй. Воспользоваться так называемыми модульными системами с открытой архитектурой PXI, VXI и прочее. Тут просматривается одно очевидное преимущество, а именно — возможность создать нечто при небольших затратах времени и сил. Это обусловлено тем, что разработчик собирает систему как бы из конструктора, не вникая и часто не понимая, как работают отдельные кубики. Соответственно, квалификация разработчиков не растет. Можно возразить: а если разработчик научится делать кубики самостоятельно? Ну что ж, поиграться, конечно, можно, но только поиграться. Хотя архитектура называется открытой в том числе и потому, что возможно подключение модулей различных производителей, это вовсе не означает, что таковым может быть кто угодно. Да и не для того



1 Портативный тестер с автономным питанием и сменными панелями пользовательского интерфейса

почтенные американские корпорации деньги тратили, чтобы подарить всему миру свои разработки. Например, корпорация Intel разработала VXI и, чтобы не терять контроль над процессом, создала «VXI-консорциум, который поставил своей целью координацию всех производителей и развитие стандарта. Сейчас в консорциуме состоят около 200 компаний не только производителей (основные: National Instruments, Agilent Technologies, Racal, Tektronix), но и системных интеграторов, проектировщиков систем. В 2004 году консорциумом была подготовлена и опубликована спецификация стандарта VXI третьей версии, зафиксировавшая увеличение скорости передачи данных и адресного пространства».

Тут, пожалуй, вместо снижения уровня технологической зависимости получается все с точностью наоборот.

Это не значит, что модульные системы не нужны. Для ряда локальных задач они удобны. Только необходимо создавать полностью отечественные системы, а не питаться объедками с технологического стола транснациональных корпораций. И если уж тратить на это средства, то отдавать себе отчет во всех недостатках, а может и найти пути их преодоления.



2  
Контактирующее устройство тестовой системы адаптерного типа SPEA 3030



3  
Контактирующее устройство тестовой системы с летающими пробниками SPEA 4060

«Недостатки открытых систем видны не сразу. И все же они имеются:

- при создании автоматизированной системы на базе открытых решений ответственность за работоспособность системы в целом ложится на системного интегратора, а не на производителя системы. Поэтому при появлении в системе невоспроизводимых отказов некому предъявить претензии, поскольку поставщиков много, а системный интегратор отвечает только за монтаж и пусконаладку системы;
- универсальность всегда находится в противоречии с простотой. Универсальные протоколы, интерфейсы, сети и программное обеспечение, чтобы быть универсальными, должны быть достаточно сложными, следовательно, дорогими и ненадежными. Хотя снижение надежности, вызванное сложностью, компенсируется повышением надежности благодаря большому тиражу и, следовательно, продолжением отладки после начала продаж;
- эффект снижения надежности программного обеспечения, части которого пишутся разными производителями. Когда ПО пишется внутри одной фирмы, можно предвидеть почти все ситуации, которые могут возникнуть на границе между ПО и пользователем или аппаратурой. Если же в этом участвуют несколько разных команд в разных фирмах, между которыми нет взаимодействия, то становится непонятно, кто отвечает за надежность всего комплекса. Кроме того,

с ростом числа программистов, участвующих в создании ПО, по законам статистики увеличивается вероятность того, что появится хотя бы один программист, не умеющий писать надежные программы. А этого достаточно, чтобы сделать всю систему ненадежной. Надежность и безопасность открытых систем остаются темами, требующими решения;

- иногда к признакам открытости относят открытость исходных кодов. Однако наличие открытых кодов снижает надежность программной системы, поскольку нарушается принцип инкапсуляции, необходимость которого обоснована в идеологии объектно-ориентированного программирования;
- как и любая стандартизация, открытость накладывает ограничения на диапазон возможных технических решений, затрудняя творчество и снижая вероятность появления новых и плодотворных технических решений»<sup>1</sup>.

Именно по этим причинам тестовое оборудование для производства, как правило — это системы с закрытой архитектурой и специализированным программным обеспечением. Потому что тут главное — надежность, простота управления и «дружелюбие» программного обеспечения. Универсальность не нужна и часто вредна.

Соблазн третий. Занять ортодоксальную позицию. Все только отечественное, вся комплектация только отечественная и все конструкторские решения не имеют аналогов. Рассмотрим вопрос о комплектации подробнее. Она ведь бывает разная. В любом изделии присутствует большое количество совсем не уникальных

элементов. Это пассивные компоненты, простейшие транзисторы, диоды, микросхемы. Как правило, их выпускает большое количество различных производителей. Понятно, что стремиться производить их на отечественных предприятиях, наверное, нужно, но критической необходимости в этом нет. Прервать каналы поставок таких компонентов просто невозможно, потому что их в буквальном смысле слова делает весь мир. Совсем другое дело — специализированные компоненты. Например, если самостоятельно делать модули для модульных систем, то никак не обойтись без микросхем. А их производство полностью подконтрольно соответствующим корпорациям, и эта зависимость критическая. Копировать такие микросхемы не стоит. Пожалуй, разумнее будет внимательно посмотреть на недостатки существующих систем и разработать свои, принципиально новые. Это, конечно, намного сложнее и требует наличия специалистов весьма высокой квалификации, но делать это надо, иначе будет не импортозамещение, а налаживание производства банального контрафакта. Так что некоторая ортодоксальность, наверное, разумна. Идеология систем должна быть отечественная и отечественные ключевые компоненты, а не резисторы и конденсаторы. Не надо стремиться к непохожести ради элемента новизны. В конце концов, во всем мире колеса круглые и делать иные просто глупо. Также и в различных тестевых системах много похожего — это материализация многолетнего опыта различных разработчиков. И его заимствовать разумно.

Соблазн четвертый. Правда, это скорее просто ошибочный подход к выбору технологий. Речь идет об ошибках, обусловленных непониманием влияния масштабного фактора на выбор оборудования. Такого рода ошибки чаще всего встречаются при приобретении оборудования, но возможны и при формировании требований на его разработку. Что имеется в виду? Например, совершенно очевидно, что невозможно использовать одинаковые технологии и оборудование для электрического тестирования при производстве массовой продукции (телевизоры, мобильные телефоны) и для изделий

мелкосерийных с большой номенклатурой (спецтехника и прочее). Например, выбор способа контактирования при внутрисхемном тестировании собранных печатных плат. Для массовых изделий — это использование адаптерных систем типа «ложе гвоздей» рис 2, для меньшей серийности при большой номенклатуре — тестеры с летающими пробниками рис 3.

В плане импортозамещения более соблазнительно взяться за разработку адаптерных систем. Они проще и не содержат прецизионных высокоскоростных приводов, которые отечественных аналогов пока не имеют. Только на отечественных предприятиях, во всяком случае, на стратегически важных, преобладает мелкосерийное и многономенклатурное производство. И таковым оно останется, потому что изделия спецтехники по определению не предназначены для массового потребления. Можно ли тестировать единичные изделия на адаптерном тестере? В принципе можно, только трудоёмкость разработки и изготовления адаптера может превысить трудоёмкость разработки самого изделия. Да и конструкция изделия должна быть изначально разработана под адаптер. В случае адаптерного тестирования изделие разрабатывается под оборудование, а не оборудование выбирается под изделие. В результате получается дорого и долго, а это уже стратегический проигрыш.

Таким образом, чтобы избежать стратегических прочетов при определении направления развития технологий, необходим внимательный анализ целесообразности выбора путей. Ни в коем случае нельзя руководствоваться принципом «что проще». Нельзя бездумно стремиться к копированию иностранных образцов. Тем более, что даже у ведущих мировых разработчиков ошибок хватает, а иногда встречается и злой коммерческий умысел. Это длинный и трудоемкий путь. Если же в каких-то случаях необходимо быстрое решение и без использования импортных компонентов пока не обойтись, следует хотя бы выбирать наиболее неустойчивые варианты. Например, если нужно использовать модульные системы, то выбирать те, которые наиболее распространены и производятся на многих предприятиях в разных странах. ▣



Концепция создания в России

# МИНИФАБРИК

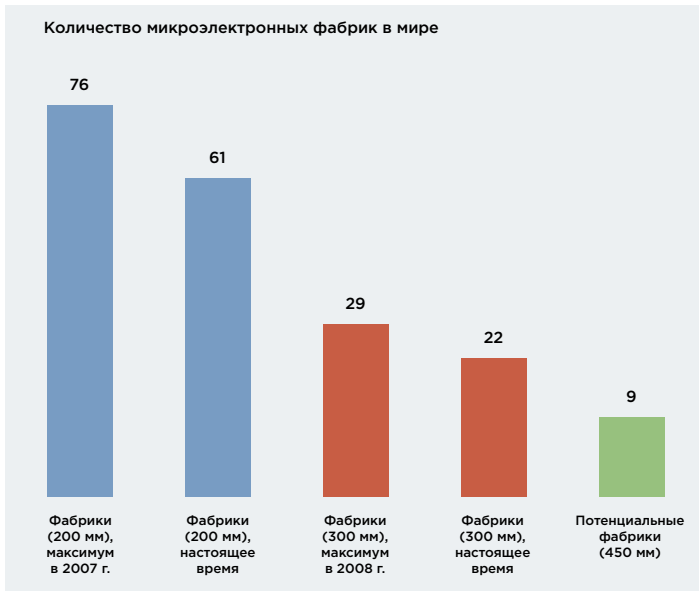
по производству  
современных  
интегральных  
микросхем



Текст: **Андрей Хохлун**

**В** современном мире экономическое и политическое положение любой страны определяется уровнем развития её электроники. Даже очень богатая природными ресурсами страна не может игнорировать этот факт, основываясь на собственной безопасности, так как влияние электронной составляющей в системах, обеспечивающих эту безопасность, растёт экспоненциально. Интересно, что за последние 30-40 лет развитие электронной отрасли опередило по качественным и количественным характеристикам общее развитие техники на несколько порядков. Интересная, на мой взгляд, иллюстрация этого факта приведена в **Т 1**.



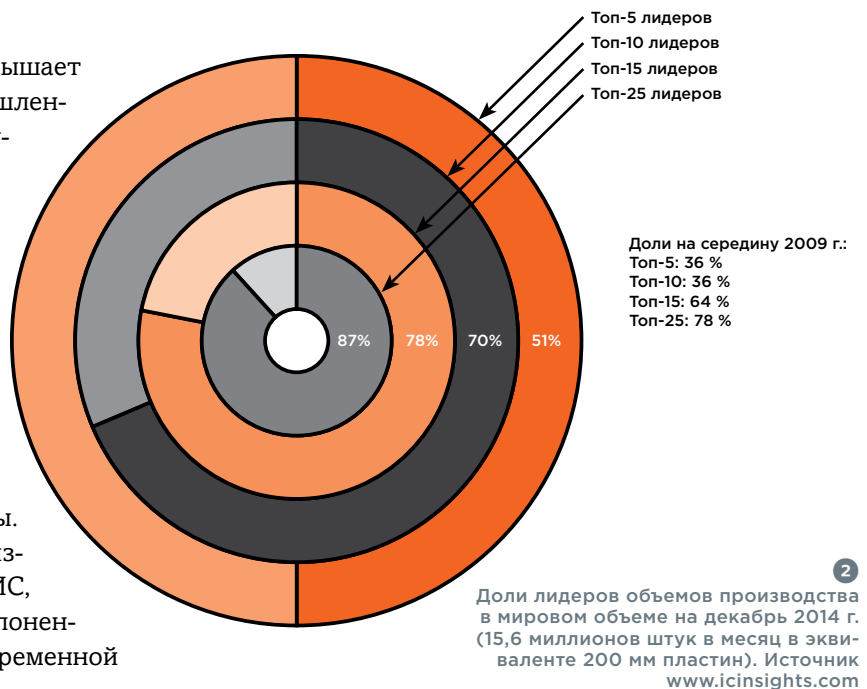


1 Количество микроэлектронных фабрик в мире по состоянию на декабрь 2014 г. Источник www.icinsights.com

То есть рост эффективности электроники превышает рост эффективности в других отраслях промышленности на несколько порядков! Такой рост на рубеже XX–XXI веков по целому ряду критериев можно определить как последнюю научно-технологическую революцию, существенно изменившую качество жизни большей части населения Земли.

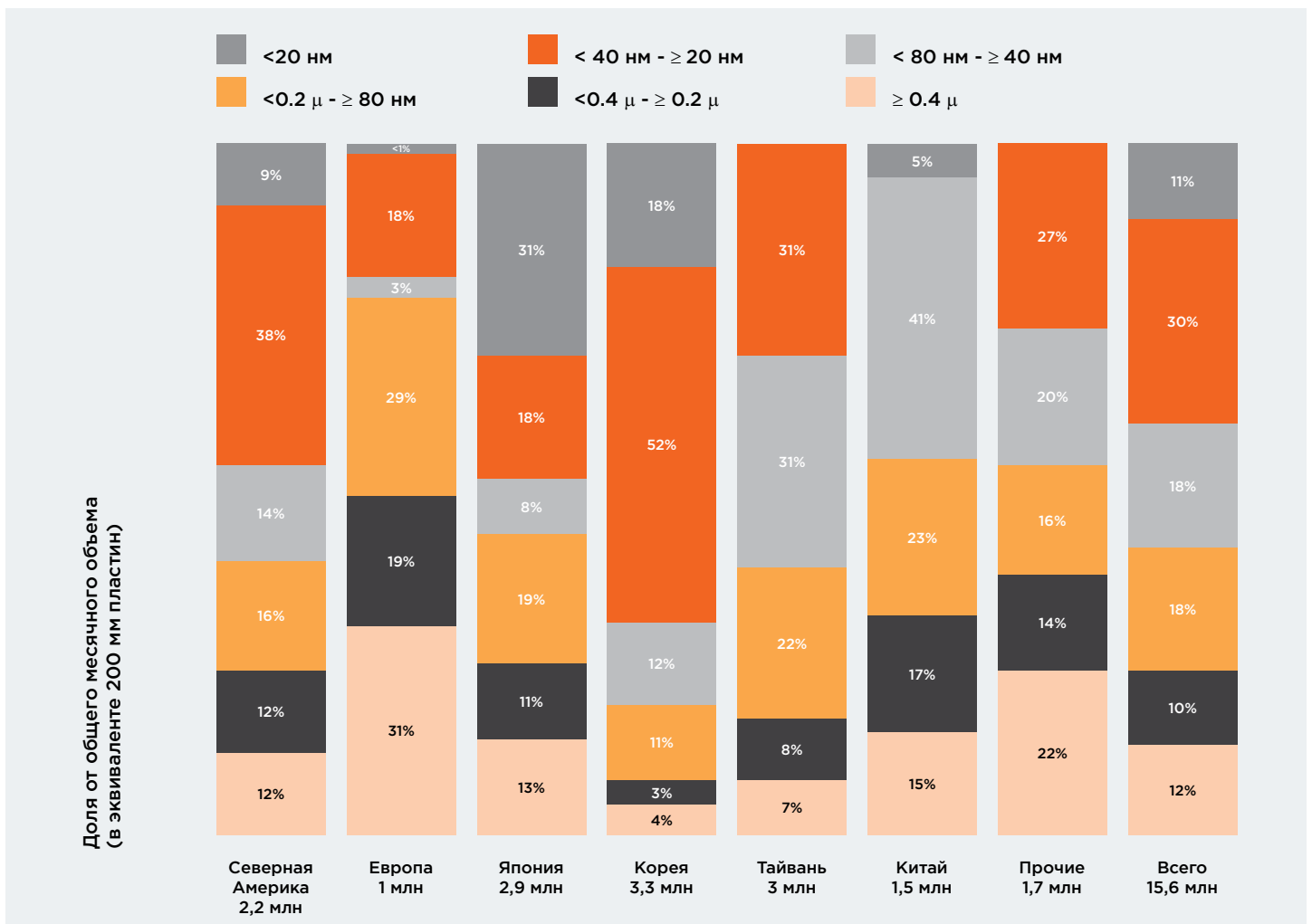
Технологические знания (ресурсы, необходимые для разработки и внедрения новых продуктов и управления их качеством) для производства электронных компонентов составляют львиную долю в технологической цепочке производства электронной аппаратуры. Значит владение базовыми технологиями производства современной компонентной базы (СБИС, МЭМС, СВЧ МИС, дисплеев и дискретных компонентов) определяет уровень развития и статус современной постиндустриальной державы.

На мой взгляд, наблюдаемое в последнее время обострение международной обстановки и недоброжелательность ведущих мировых держав по отношению к России вызвано не какими-то субъективными краткосрочными и среднесрочными причинами, а целенаправленной борьбой за природные ресурсы. Наша страна является самой богатой по природным ресурсам (по их совокупности), борьба за эти ресурсы обостряется и будет обостряться и в дальнейшем в соответствии с англосаксонской философско-идеологической доктриной. То есть, у нас есть объективные потребности в укреплении обороноспособности и владении современным оружием. А ведь по имеющимся данным удельный вес (стоимость) электроники в современных вооружениях превышает в среднем 70 %, а в некоторых видах вооружений (высокоточное оружие, беспилотные летательные аппараты) достигает 90 % и более.



Т 1 Уровень роста энергоэффективности по различным отраслям промышленности за последние 30 лет

	1985	2015	Процент роста энергоэффективности
<b>Автотранспорт</b>	8,2 километра на 1 литр	40 километров на 1 литр	488 %
<b>Пассажирские авиаперевозки</b>	12,0 пассажирокилометров на литр	30,0 пассажирокилометров на литр	250 %
<b>Освещение</b>	Люминесцентная лампа — 70 Люменов на Ватт	Светодиодная лампа — 160 Люменов на Ватт	230 %
<b>Компьютеры</b>	2 500 операций в секунду на Ватт	60 000 000 операций в секунду на Ватт	2 400 000 %



3 Установленный месячный объем производства по регионам в зависимости от минимального критического размера топологии на декабрь 2014 г. Источник [www.icinsights.com](http://www.icinsights.com)

Характеристика состояния мировой микроэлектроники приведена на рисунках рис 1, 2, 3 и Т 2, где видно, что объем производства МОП-структур с проектными нормами менее 80 нм составляет уже около 60 %.

Таким образом, в мировой микроэлектронике продолжается укрупнение основных производителей и концентрация ресурсов, стоимость «входного билета» продолжает увеличиваться (например, последняя

новость о том, что SK Hynix планирует потратить около 26 миллиардов долларов на строительство двух новых заводов). Вместе с тем, в последние годы наблюдается устойчивая тенденция ускоренного развития направлений микроэлектроники, которые получили устойчивое название «больше чем Мур». Позвольте сделать вывод: классическое копирование мировых подходов по созданию микроэлектронных производств (а ля Intel,

Т 2

Объем производства пластин в месяц по регионам и группам (эквивалентно пластинам диаметром 200 мм)

Продукт	Северная Америка	Европа	Япония	Корея	Тайвань	Китай	Прочие	Всего
Аналоговые устройства	402	350	327	75	13	167	134	1 467
Память	277	155	609	385	1	76	66	1 570
Логика	469	13	1 468	2 424	838	406	421	6 039
МЭМС	640	79	271	23	3	11	132	1 158
Контрактное производство (фаундри)	419	271	78	285	2 163	774	60	4 599
Прочие	39	138	139	100	6	33	341	796
<b>Всего</b>	<b>2 246</b>	<b>1 006</b>	<b>2 892</b>	<b>3 292</b>	<b>3 024</b>	<b>1 467</b>	<b>1 154</b>	<b>15 629</b>

AMD, ST Microelectronics, Samsung, TSMC и так далее) в России невозможно. Причем, не потому, что нет денег, а потому, что не нужно, не эффективно и не отражает современного состояния и достижений мировой науки и промышленности.

Существуют конкретные объективные причины отставания российской микроэлектроники (мы не говорим сейчас о частных ошибках):

- Отсутствие чёткого понимания номенклатуры востребованной продукции внутреннего рынка, понимания специфики мелкосерийного многономенклатурного производства.
- Отсутствие комплексного подхода к переоснащению предприятий и постановке новой продукции на производство. Недостаточно уделяемое внимание всему комплексу вопросов, связанных с поставкой технологии, обслуживанием оборудования и обеспечением материалами и средами.
- Прямое копирование западных производств без учёта внутренних особенностей.
- Недостаточная поддержка государства в части создания режима наибольшего благоприятствования для бизнеса.

Вышеперечисленные факты (в комплексе или даже один из них) приводят к недостаточной эффективности реализованных (в различной степени) проектов создания или модернизации микроэлектронных производств в России.

Что же является основным тормозом в развитии (или воссоздании, если хотите) российской микроэлектроники? На мой взгляд, два очевидных для всех постулата (то есть утверждения, которые не требуют доказательств, или не имеют доказательства, или неверны — это как посмотреть), а именно:

- в России нет рынка микроэлектроники, все потребности внутреннего рынка могут быть тем или иным способом удовлетворены ведущими мировыми производителями; мизерность российского рынка в мировом масштабе делает неконкурентоспособным любое внутреннее производство;
- создание современного микроэлектронного производства стоит огромных денег; строительство фабрики по производству СБИС стоит несколько миллиардов долларов, которых у страны нет и которые не могут окупиться.

На основании постоянного общения со многими специалистами различного уровня микроэлектронной отрасли России могу сказать, что эти постулаты очень крепко вросли в сознание и заразительны, но в последнее время ситуация меняется. Чем больше разработчики ИС выполняют реальных ОКР, тем больше понимания, что заказывать пилотные партии специализированных ИС (ASIC) с проектными нормами 45 нм и меньше дорого, долго или просто невозможно. Принятая в России оценка рынка микроэлектроники и его сегментация, по

которой доля России составляет менее 1 % от мирового рынка, при определенном анализе показывают наличие скрытых резервов и белых пятен в расчётах.

Если посмотреть на сегмент специальной микроэлектроники и вспомнить, что доля электронных компонентов составляет более 70 % в цене, то цифра российского экспорта вооружений «не бьётся». Очевидно, что ёмкость закрытых рынков ИС (спецтехника, цифровое телевидение, навигационные системы, РЧИД, телекоммуникации и др.) может составлять несколько миллионов ИС в год. Это очень мало. Очень мало для стандартного микроэлектронного фаба стоимостью в несколько миллиардов долларов. Кроме того, производить такого рода продукцию (достаточно широкой номенклатуры и недостаточно большой серийности) очень часто невыгодно или просто невозможно при серийном производстве.

Так действительно ли мы отстали в области производств микроэлектронных приборов «навсегда» от развитых стран, как нас многие пытаются уверить? По моему глубокому убеждению ответ на этот вопрос отрицательный, то есть абсолютно положительный для России.

Факты, вселяющие такой оптимизм:

- Достижения в области технологии и оборудования наноимпринтной литографии позволяют на порядок снизить стоимость проекта для критических размеров 45 нм и менее по сравнению с решениями на основе оптических степперов. Развитие наноимпринтной технологии позволяет создавать высокорентабельные мелкосерийные многономенклатурные микроэлектронные производства, уйдя от классической компоновки серийной фабрики.
- Развитие кластерного технологического оборудования и систем автоматизации производства как на уровне отдельного кластера, так и на уровне участка, цеха, предприятия позволяет создавать высокотехнологичные эффективные минифабрики с полной прослеживаемостью изделий и параметров технологического процесса в каждый момент времени.
- Развитие электронного машиностроения в Юго-Восточной Азии (Южная Корея, Тайвань, Китай) позволяет избежать санкций, которые в области высокотехнологичной микроэлектроники никогда и не прекращались в отношении России со стороны Запада.
- В России за последние годы накоплен существенный опыт в комплексном подходе к созданию современного микроэлектронного производства. Критическая масса знаний и навыков специалистов в этой области позволяет сделать качественный скачок и реализовать серию успешных и высокоэффективных микроэлектронных проектов в России.



4  
Технологический кластер производства Южной Кореи

На рис 4 показан пример комплексного технологического кластера Южно-Корейского производства для ионно-плазменной очистки и напыления структур, приспособленного для многономенклатурного мелкосерийного производства.

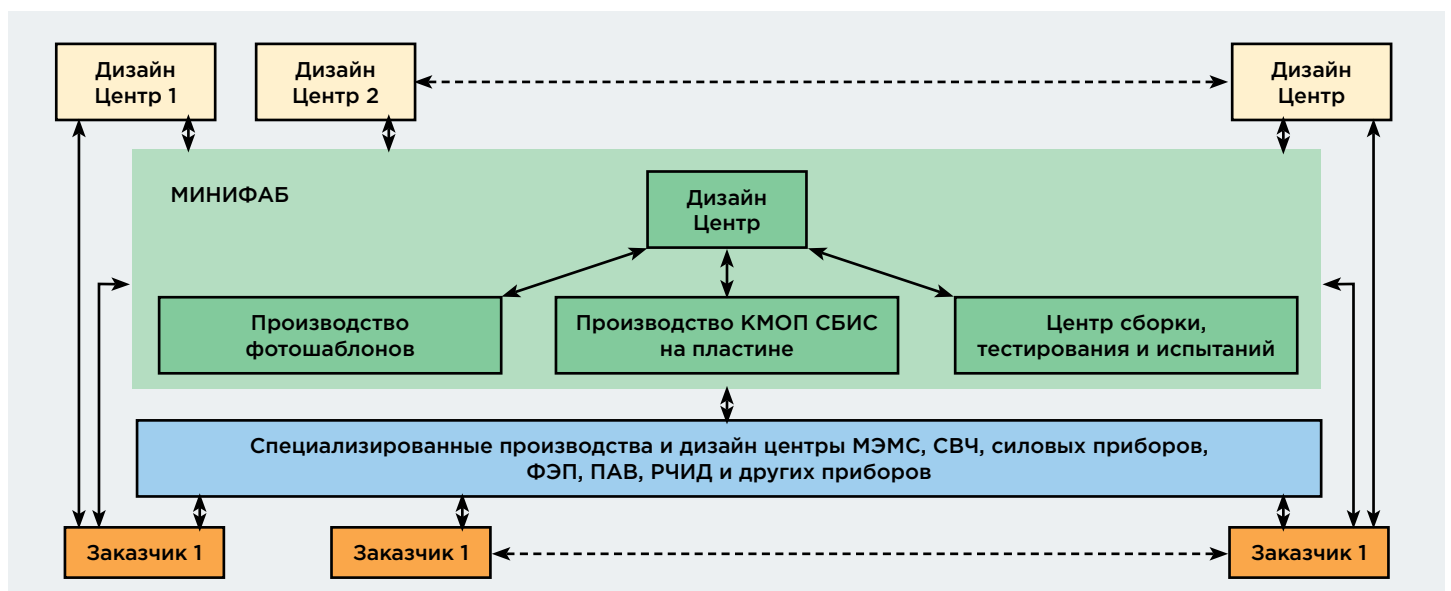
Как решается задача? Как и везде в мире — созданием минифабов, нацеленных на производство заказных специализированных ИС широкой номенклатуры и малой серийности. С развитием технологии наноимпринтной литографии, технологий SMIF и FOUP, кластерного оборудования появилась возможность существенно снизить эксплуатационные затраты такого производства, повысить гибкость и эффективность. Такой минифаб может либо взаимодействовать, либо частично или полностью включать в себя специализированные производства МЭМС, СВЧ, силовых приборов, фото-

электронных приборов и других устройств, которые требуют современной интеграции с КМОП процессором и памятью в системе на кристалле (SOC) или в системе в корпусе (SIP).

Этот минифаб позволяет производить КМОП СБИС с проектными нормами 90 нм и менее на общей пластине по замкнутому циклу, включая изготовление наноимпринтных фотошаблонов. При дооснащении минифаба участками электрического и оптического контроля, тестирования и испытаний, а также при интеграции специализированных технологических цепочек (МЭМС, МИС СВЧ, ФЭП и т. д.) такой комплекс сможет решить практически все задачи, стоящие перед специальной российской электронной компонентной базой.

Производительность современного минифаба составляет не десятки и сотни тысяч пластин в месяц, как у фабрики массового производства узкой номенклатуры продукции (независимо от того, является ли такой фаб по принадлежности ODM или Foundry), а порядка 500 пластин в месяц. По имеющимся оценкам потребности российского рынка микроэлектроники в его протекционистской части могут быть обеспечены 3-4 минифабами. При этом их продукция будет конкурентоспособна по сравнению с мировыми контрактными производствами. Кроме того, продукция будет (при соблюдении некоторых условий) востребована космическим приборостроением, авионикой, атомной промышленностью и другими применениями электроники высокой надёжности.

Ещё одной нишей использования универсальных минифабов могут стать нанотехнологические центры коллективного пользования, обеспечивая таким образом современную производственную базу для инновационных разработок и обучения и переподготовки высококлассных научных и производственных кадров.



5  
Блок-схема функционирования универсальной минифабрики с проектными нормами менее 45 нм

В **ТЭ** приведены основные технические характеристики универсального минифаба с проектными нормами 45 нм и менее.

Группы основных технологических операций остаются для минифаба такими же, как и для стандартной фабрики:

- фотолитография;
- химобработка;
- процессы нанесения/травления;
- имплантация;
- термические процессы;
- измерения и контроль.

При реализации современной минифабрики в России основная цель в том, что создаваемое уникальное производство с малой серийностью и высокой номенклатурой должно обладать и экстремальной гибкостью, и экстремально малыми эксплуатационными расходами.

Для этого необходимо выполнить определенные условия.

Использование наноимпринтной литографии вместо традиционной фотолитографии с экстремальным ультрафиолетом (EUV) позволит существенно снизить затраты на оборудование и эксплуатационные затраты (в разы), сделав проект рентабельным. Кроме того, в России уже существуют межотраслевые центры изготовления фотошаблонов, которые при небольшой модернизации обеспечат оперативное снабжение шаблонами для наноимпринтной литографии.

Технологический маршрут кристалльного производства или производства СБИС на общей пластине с использованием наноимпринтной литографии позволяет получать размеры топологии 45 нм и ниже с высоким коэффициентом выхода годных. В лабораторных условиях критический размер элемента, полученного методом наноимпринтной литографии, уже сейчас достигает 7-8 нм и менее.

Все остальное оборудование (кроме имплантера) должно быть объединено в технологические кластеры индивидуальной обработки пластин с целью минимизации стоимости, занимаемых площадей и обеспечения резервирования. Такое оборудование может собираться в России методом крупноузловой сборки из стандартных комплектующих для снижения импортозависимости и обеспечения безопасности. Большинство узлов — корейского, тайваньского и китайского производства.

Программное обеспечение при этом должно быть российского производства в обязательном порядке до машинных кодов.

Чистые помещения и инфраструктура — «под ключ», модульного типа. Межоперационная передача пластин должна осуществляться в FOUP контейнерах. Такая конфигурация обеспечивает снижение занимаемых площадей, капитальных затрат и стоимости эксплуатации.


Необходимо привлечь иностранных специалистов с опытом работы на производствах такого уровня интеграции для постановки технологии. Договоренности с командой из Юго-Восточной Азии имеются.

**ТЭ**

Основные технические характеристики универсального минифаба с проектными нормами 45 нм и менее

Характеристика	Значение
Технологический уровень, нм	28-45
Производительность, пластин в час	5
Диаметр обрабатываемых пластин, мм	200/300
Занимаемая площадь, кв.м	2 500
Площадь чистых производственных помещений, кв.м	750
Численность производственного персонала, человек	120
Энергопотребление, МВт	3

А что же насчёт стоимости современного минифаба и нашего второго постулата о том, что микроэлектроника — это очень дорого и что Россия таких денег не имеет?

**Стоимость минифаба «под ключ», включая чистые комнаты и инженерные системы обеспечения энергоносителями, составляет, в зависимости от состава и степени универсальности, от 350 до 500 миллионов долларов. Срок реализации проекта — 30-36 месяцев «с нуля» (если делать медленнее, то проект морально устареет до того, как начнёт приносить отдачу). Ещё одним важным (если не определяющим) фактором в пользу реализации подобных проектов считаю тот факт, что на настоящий момент в России накоплен достаточный уровень квалификации специалистов в данной области. Момент самый что ни на есть подходящий, важно его не упустить, так что за работу и удачи нам всем! **

# ТЕХНОЛОГИИ

## Комплексное решение «ПОТОК»: интеграция отечественных разработок для задач жгутового производства



Текст: Роман Лыско

»

Термин «импортозамещение» прочно вошел в наш лексикон. Потребность интенсивной замены импортных товаров отечественными обусловлена рядом внешних и внутренних факторов, таких как:

- введение санкционных мер против ряда российских компаний и концернов;
- понимание на государственном уровне необходимости снижения зависимости от иностранных поставок;
- падения курса рубля к основным мировым валютам и удорожание импортных товаров.



1  
Автоматические линии по обработке проводов на предприятии, выпускающем жгуты для автомобильной промышленности

Всем очевидна важность усиления роли отечественных производителей, поэтому программа импортозамещения — необходимая комплексная и системная задача. И сегодня уже есть успешный опыт ее решения в ряде отраслей.

Российское комплексное решение «Поток» — уникальный пример отечественных разработок, успешно внедренных на предприятиях, где есть жгутовые производства.

О комплексе «Поток» мы уже подробно рассказывали на страницах журнала «Вектор высоких технологий» №2 (15) март 2015. Комплекс был разработан специалистами ГК Остек специально для решения задач производства жгутовых изделий для спецтехники и на сегодняшний день является уникальным и не имеющим аналогов в данной области.

Существуют образцы похожего зарубежного оборудования (автоматические производственные линии), но их применение на отечественных жгутовых производствах проблематично, а в большинстве случаев — невозможно. Особенно это касается производств спецтехники. Многие зарубежные автоматические линии изначально спроектированы для работы на массовых серийных производствах, например, производство жгутовой продукции для нужд автомобильной промышленности рис 1, для производителей «белой» техники. Другими словами, для тех отраслей, где требования к качеству обработки провода значительно ниже, чем в спецотраслях.

Существенным ограничением применения подобного рода оборудования на российских предприятиях ОПК и других спецотраслей является использование устаревших проводных материалов. Большинство из них было разработано еще в 50-е годы прошлого столетия, когда еще не стояла задача автоматизации процесса обработки проводов, а большее внимание уделялось функциональным характеристикам провода. Такие материалы применяются и сегодня.

Одни из проблем автоматизации обработки отечественных проводов — несимметричность расположения токопроводящей жилы по длине провода и неравномерность толщины изоляции. Эти особенности отечественных проводных материалов ограничивают применение обычных модулей контроля касания жилы провода, так как большая часть материала будет уходить в брак.

При разработке комплексного решения «Поток» стояла задача найти оптимальное решение для обработки отечественных проводов марок МГТФ, МС, МГШВ с дальнейшей распайкой и заливкой разъемов, а при необходимости — оплетения и экранирования жгута.

Самым важным требованием к оборудованию было обеспечение 100 % гарантии неповреждения жилы провода. На момент проработки решения готового оборудования с таким функционалом на рынке не было. Благодаря целенаправленным усилиям инженеров и технологов такое решение было разработано и реализова-



2 Модули лазерной зачистки, подкрутки жилы, флюсования и лужения в составе РКОП

но. Идеи нашли свое воплощение в Роботизированном комплексе обработки проводов (РКОП) рис 2. В автоматическую линию были интегрированы модули лазерной зачистки, которые позволили обеспечить 100 % гарантию неповреждения токопроводящей жилы провода.

РКОП — это удачный пример, когда для задач наших отечественных производителей специальной техники было разработано уникальное решение. Помимо модуля лазерной зачистки были интегрированы модули подкрутки жилы, флюсования и лужения. В российских изделиях специальной техники большая часть контактов и разъемов идет именно под распайку.

После выполнения на РКОП резки, зачистки, подкрутки жилы, флюсования и лужения провода полностью готовы к распайке, что в дальнейшем значительно снижает трудозатраты. Зачистка выполняется с помощью лазерных модулей, гарантируя 100 % неповреждение жилы провода. По результатам ввода в эксплуатацию оборудования на ряде российских предприятий

можно с уверенностью сказать, что РКОП — это принципиально новое оборудование, которое на практике показало свою эффективность в обработке проводов для изделий спецтехники. В этой разработке основная доля интеллектуального труда принадлежит российским инженерам.

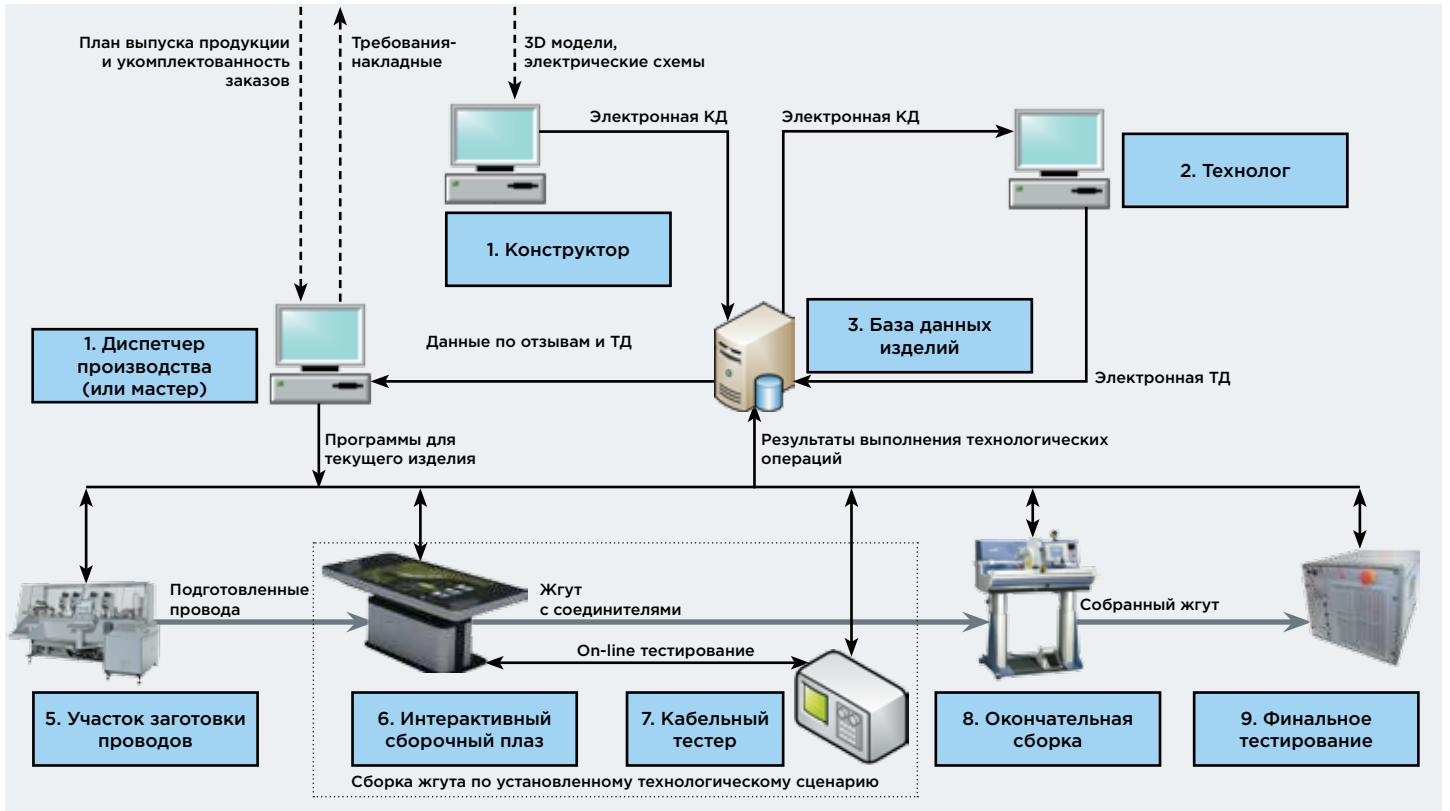
Ключевая составляющая комплекса «Поток» — Интеллектуальная система управления технологическими процессами (ИСУТП) рис 3. Именно ИСУТП интегрирует комплект оборудования в единую производственную систему. Сквозная система идентификации проводов и жгутовых заготовок дает возможность выполнять безошибочную сборку жгутовых изделий. Существенно снижается трудоемкость производства. ИСУТП также позволяет создать единую систему для анализа и планирования производственного процесса. Пример внедрения отечественного программного продукта в комплексное решение «Поток» наглядно показывает, что наши разработки в этой области не имеют зарубежных аналогов.

Отдельно стоит рассказать об Интеллектуальном сборочном плазе (ИСП), входящем в комплекс «Поток» рис 4. Данный продукт запатентован и является интеллектуальной собственностью ГК Остек.

Сборочный плаз визуализирует и контролирует технологический процесс сборки жгута — одно из наиболее узких мест в жгутовом производстве. Решение позволяет обеспечить безошибочность процесса сборки и свести к минимуму влияние человеческого фактора. ИСП — это полностью российский продукт, включая программное обеспечение.

**Существуют образцы похожего зарубежного оборудования (автоматические производственные линии), но их применение на отечественных жгутовых производствах проблематично, а в большинстве случаев — невозможно**

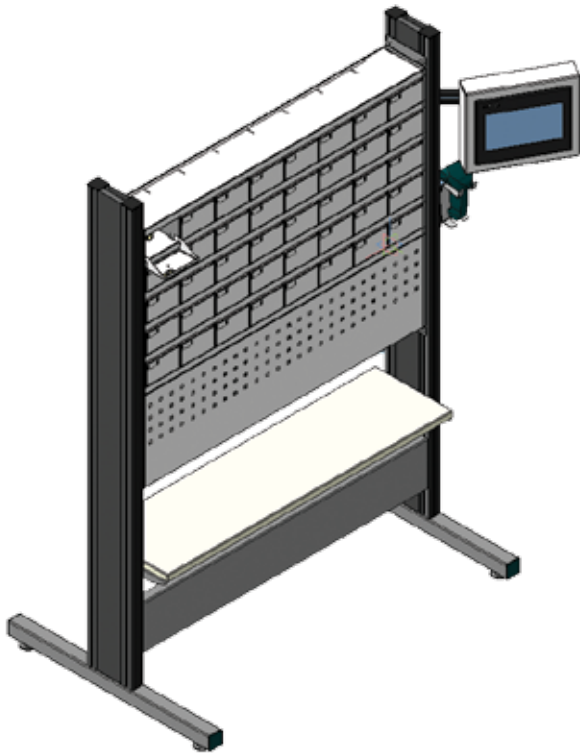




3 Интеллектуальная система управления технологическими процессами (ИСУТП)



4 Интеллектуальный сборочный плаз



5  
Интеллектуальная система хранения ИСХ

Следующий элемент комплекса «Поток» — Интеллектуальная система хранения (ИСХ) рис 5. Как и ИСП, данный продукт спроектирован, произведен и запрограммирован специалистами Остека.

Система позволяет оптимизировать пространство для хранения жгутовых заготовок; снизить трудозатраты на идентификацию проводов, комплектующих и других изделий, используемых в жгутовом производстве.

Но главное ее назначение — интеллектуальная выдача обработанных проводов для сборки жгута в специальной последовательности. Это позволяет максимально оптимизировать процесс сборки жгута, в том числе

**РКОП — это удачный пример, когда для задач наших отечественных производителей специальной техники было разработано уникальное решение**

распайку разъемов. При этом влияние человеческого фактора практически сведено к нулю. В настоящий момент ИСХ проходит процедуру защиты интеллектуальных прав — получение патента.

Еще одна разработка Остека, входящая в комплексное решение «Поток» — тестовая система рис 6.

Для предприятий, выпускающих специальную технику, характерны большая номенклатура изделий и сложные электрические, технические характеристики, требующие проверки. Тестовая система позволяет тестировать на одном рабочем месте ВСЮ номенклатуру кабельно-жгутовой продукции предприятия.

Благодаря модульности системы можно изменять/наращивать номенклатуру соединителей и разъемов. Помимо этого, в тестовой системе реализована функция световой индикации, что упрощает работу оператора или тестового инженера по идентификации ответных разъемов при тестировании. Система полностью русифицирована, создание тестовых программ происходит в автоматическом режиме. Тестер включен в Государственный реестр средств измерений.


Помимо перечисленного выше оборудования, в том числе собственного производства, в другие составляющие комплекса «Поток» наши инженеры совместно со специалистами российских предприятий ОПК и других спецотраслей внесли существенные изменения. Например, в систему заливки и подготовки материала для герметизации разъемов; в систему экранирования и систему бандажирования жгута и т. д.

Разработка оборудования, представленного в комплексном решении «Поток», началась до введения экономических санкций и резких колебаний на валютном рынке. Ко многим единицам оборудования не совсем применим термин «импортозамещение». Во многих случаях это совершенно новый продукт и по многим позициям просто не существует импортных аналогов. Наши разработки направлены, в первую очередь, на решение задач и удовлетворение потребностей отечественных заказчиков. Программа «импортозамещения» в области оборудования и технологических решений должна быть направлена на решение специфических задач наших предприятий, а не просто на копирование зарубежных аналогов.

Россия всегда была и остается сильной в области нишевых продуктов. Это касается техники специального назначения, ряда областей промышленной электроники. Решения, разработанные Остеком, тоже в какой-то мере узкоспециализированные и заточены под особенности российского жгутового производства. Интерес к нашим разработкам есть и со стороны иностранных компаний. ГК Остек представит ИСП на собственном стенде в рамках крупнейшей выставки в области решений для электроники и электротехники Productronica-2015.



6 Система тестирования жгутов

**Комплексное решение «Поток» — это удачный пример разработки и внедрения уникального решения для специальных производств российских предприятий. Собственное программное обеспечение и российская производственная база делают «Поток» гибким, динамически развивающимся и соответствующим жестким требованиям заказчика продуктом. **

# Современные технологии защиты микросборок и кристаллов при транспортировке, хранении и обращении с ними



Текст: Александр Вотинцев

В статье рассматриваются вопросы, связанные с выбором надежной упаковки для обращения, хранения и транспортировки хрупких и дорогостоящих изделий, таких как микросборки, кристаллы, кремниевые пластины и т.д. Многие предприятия микроэлектроники, полупроводниковой и электронной промышленности используют множество различных типов упаковок, которые не обеспечивают надлежащего сохранения изделий при операциях с ними и не отвечают требованиям антистатической защиты. А ведь более 50 % всех дефектов возникают от таких явлений как электростатический разряд (ESD) и/или электрическое перенапряжение (EOS). Поэтому при обращении с чувствительными элементами требуется применять специальную антистатическую тару. К операциям с изделиями можно отнести: обращение с ними, транспортировку, хранение, защиту поверхности, визуальный осмотр, сборку, механическое утонение, финишную обработку и многие другие действия. Широкая номенклатура продукции, используемой на предприятиях, требует значительных инвестиций как на приобретение различной упаковки, так и на затраты по её хранению.

Американская компания Gel-Pak начала выпуск уникальной упаковочной продукции в 1980 году прошлого столетия и сегодня, применяя передовые технологии для создания своих продуктов, является одним из ведущих производителей в области обеспечения безопасной перевозки и хранения компонентов. Разработка специализированной упаковки была обусловлена новыми требованиями полупроводниковой и электронной промышленности, т.к. потребовалась упаковка для транспортировки без риска повреждения небольших и хрупких элементов — диодов с балочными выводами.

Специалисты компании Gel-Pak успешно используют уникальную технологию производства собственных эластомеров для изготовления инновационных продуктов для безопасной доставки и обращения с чувствительными устройствами. Сердцем уникальной линейки продуктов Gel-Pak является эластомер гель (гель-плёнка), который надёжно удерживает на месте хрупкие детали во время их перемещения. Такая упаковка обеспечивает более высокий уровень защиты устройств от повреждений, чем традиционные контейнеры типа Waffle Pack и Waffle Tray, имеющие ячейки или полости для размещения изделий.

Более 10 000 компаний во всём мире — от небольших начинающих производителей, университетов и лабораторий до крупных промышленных предприятий — оценили надёжность контейнеров Gel-Pak, используя их для защиты своих изделий от повреждений. Основные потребители такой упаковки, кроме компаний полупроводниковой и электронной промышленности, это производители и заказчики медицинских изделий, автомобилестроительные компании, производители устройств для хранения данных и СВЧ устройств, предприятия аэрокосмической промышленности, производители оптоэлектроники и телекоммуникаций.

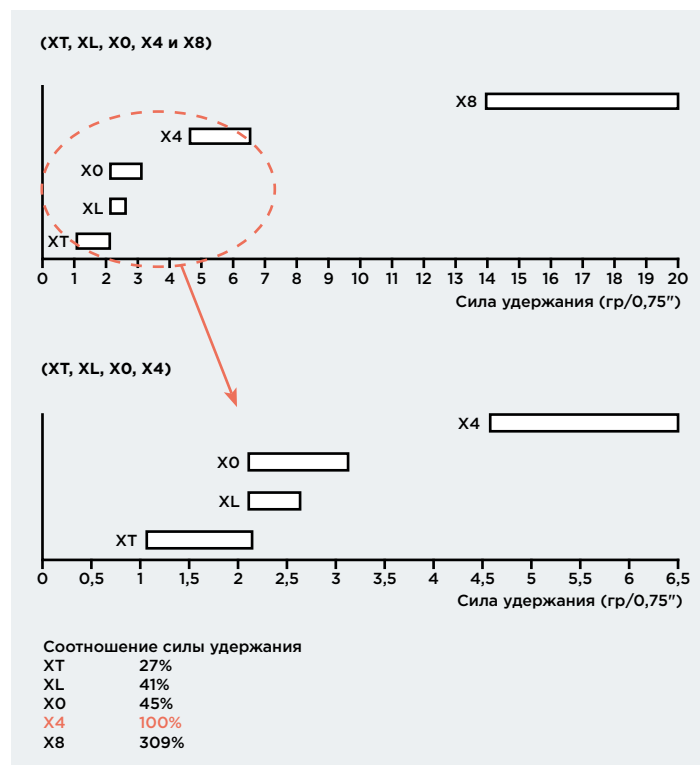
## Гелевая технология

Изделия Gel-Pak изготовлены из запатентованного сильно сшитого полимерного материала — геля. Этот материал фиксирует изделие во время контакта за счет силы поверхностного натяжения материала. Величина удерживающей силы зависит от клейкости материала геля — его удерживающей способности. Гель прочно держит компонент как в вертикальном направлении, так и в направлении сдвига, однако в направлении отрыва сила невелика, что позволяет легко снять изделие с поверхности. Материал пригоден для многократного использования и имеет гарантированный срок хранения 2 года, что позволяет хранить изделия в упаковке Gel-Pak в течение длительного времени, также это чрезвычайно прочный и практичный материал, сохраняющий свои свойства при температурах от -40 °С до 220 °С.

**Многие предприятия микроэлектроники, полупроводниковой и электронной промышленности используют множество различных типов упаковок, которые не обеспечивают надлежащего сохранения изделий при операциях с ними и не отвечают требованиям антистатической защиты**

## Удерживающая способность

Компания Gel-Pak проводит постоянные усовершенствования химического состава геля, чтобы обеспечивать широкий диапазон удерживающей способности (клейкости). Такой гель применим для удержания как небольших оптических изделий, так и больших керамических подложек. Существует несколько уровней удерживающей способности по возрастанию: XT, XL, X0, X4, X5, X8 РИС 1.



1 Уровни и сила удерживающей способности

Оптимальная удерживающая способность подбирается в зависимости от типа материала, шероховатости поверхности, размера изделия, его толщины и веса. Точной формулы для определения рекомендуемой удерживающей способности для компонента нет, однако существуют общие рекомендации:

- XT — сверхнизкая удерживающая способность, предназначена для специальных применений;
- XL и X0 — низкая удерживающая способность, подходит для полированных поверхностей;
- X4 и X5 — средняя удерживающая способность, подходит для травлёных поверхностей;
- X8 — высокая удерживающая способность, подходит для шероховатых поверхностей, например, керамики.

Компания Gel-Pak производит два вида геля: стандартный и сверхчистый. Сверхчистый гель рекомендуется для использования с высокочувствительными компонентами.

### Типы контейнеров и пластин Gel-Pak и области их применения

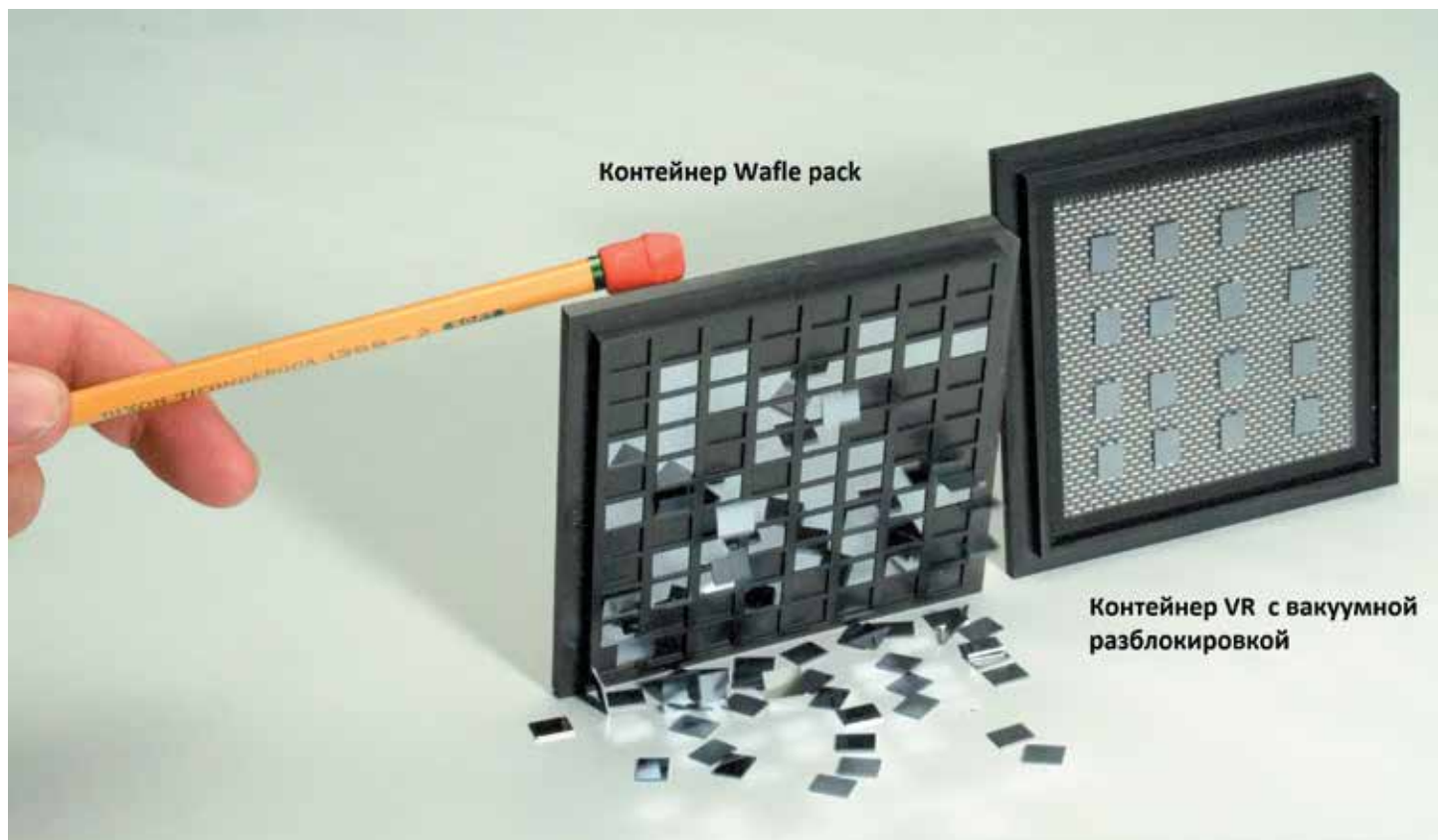
Модельный ряд контейнеров Gel-Pak включает контейнеры серии Gel-Box, Gel-Tray™, Gel-Slide, VR, NTD, MB, а также форматные гель-плёнки. Продукция, разработанная компанией Gel-Pak, предназначена для безопас-

ного удержания и фиксации устройств только по задней контактирующей поверхности, что предотвращает потенциально опасный контакт по боковой и верхней поверхностям, характерный для традиционных контейнеров Waffle Pack или Waffle Tray. Устройства надежно удерживаются в упаковке, оставаясь на месте, даже если контейнер перевернуть или уронить **рис 2**.

Контейнеры изготавливают из прозрачных, проводящих или антистатических пластиков, на них можно нанести логотип компании заказчика и/или маркировку поверхности, помогающую при идентификации устройств. Универсальность продукции Gel-Pak в том, что в одном и том же контейнере можно разместить устройства с разными габаритными размерами. Это позволяет сократить номенклатуру упаковки и, соответственно, расходы на её приобретение и хранение. Вся продукция может использоваться в чистых комнатах.

Серия продуктов Gel-Box и Gel-Tray™ идеально подходит для ручных применений, когда изделие загружается в контейнер обычным пинцетом или вручную. Контейнеры Vacuum Release™ (VR) с вакуумной разблокировкой изделий предназначены для автоматического оборудования, в котором выгрузку изделий выполняют вручную или автоматическим вакуумным пинцетом.

Рассмотрим контейнеры Gel-Box™ (серия AD), Gel-Tray™ (серия BD) и Gel-Slide™ (серия CD) для ручной загрузки и выгрузки изделий более подробно **рис 3**.





Контейнер AD-23T



Контейнер BD-22CC



Контейнер CD-22T

3 Контейнеры Gel-Box™, Gel-Tray™ и Gel-Slide™ для ручной загрузки и выгрузки изделий

**Серия AD** — это оригинальные «клеякие» контейнеры с откидной крышкой, в которых гель-пленка нанесена непосредственно на основание. Они идеальны для обращения, хранения и транспортировки медицинских, оптических и других небольших микроэлектронных изделий. Стандартные размеры контейнеров Gel-Box лежат в пределах от 1” x 1” до 5” x 7”. Извлекают изделия из таких контейнеров вручную или пинцетом. Контейнеры Gel-Box могут быть изготовлены из проводящего полипропилена или поликарбоната (С), прозрачного стирола (Т) или прозрачного антистатического АБС пластика (АС). Эти безъячейчатые контейнеры также идеальны для сборочных узлов, гибридных модулей и упакованных устройств.

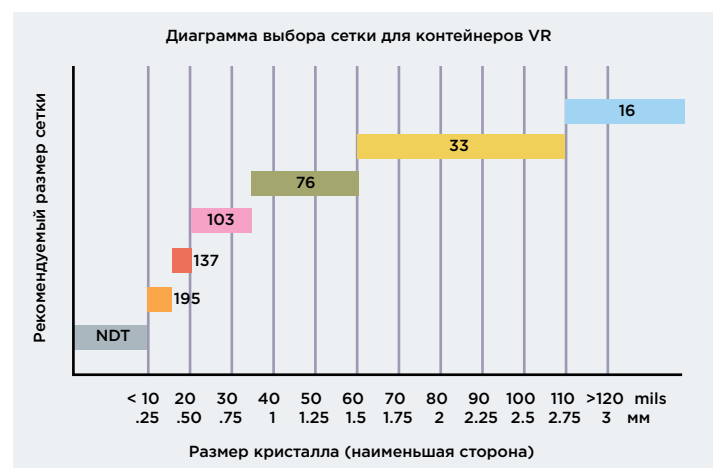
**Серии BD и CD** — это безъячейчатые контейнеры размером 2” x 2”, изделия выгружаются пинцетом. Гель-пленка в таких контейнерах нанесена непосредственно на пластиковую (BD) или стеклянную (CD) пластину, устанавливаемую в пластиковую коробку с откидной крышкой. Эти изделия имеют те же функциональные возможности, что и Gel-Box, однако в них, благодаря конструкции, поддон легко извлекается, обеспечивая простоту использования. Пластиковые пластины могут быть изготовлены из токопроводящего поликарбоната (С) или прозрачного стирола (Т). Серия BD рекомендуется для обработки и транспортировки GaAs полевых транзисторов, лазерных диодов, диодов с балочными выводами, малогабаритных тонкопленочных пассивных устройств, дорогостоящих медицинских устройств и компонентов оптических фильтров.

В отличие от пластиковых пластин, которые могут использоваться только при температурах 70-80 °С, стеклянные пластины спроектированы для термических процессов, таких как склеивание и оплавление при температурах до 220 °С. Пластины CD могут широко использоваться в областях, где необходима визуальная инспекция материалов под микроскопом.

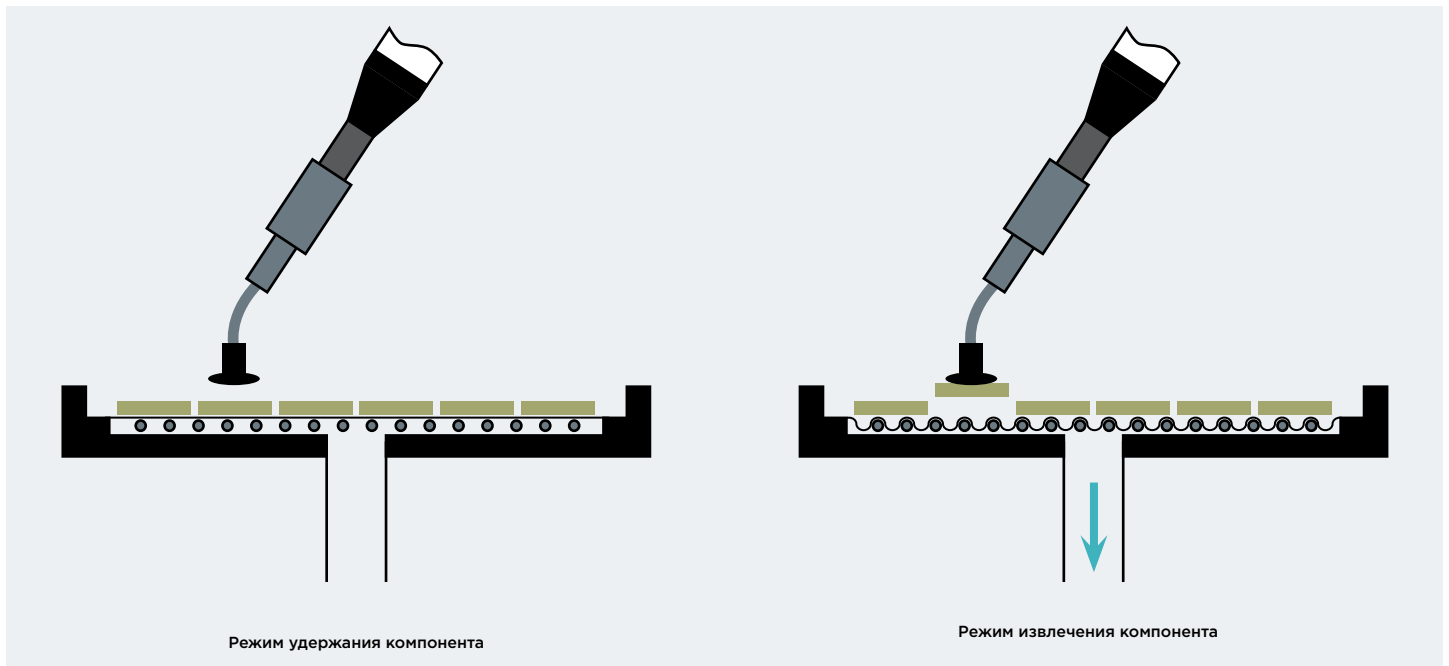
Материалы, из которых изготовлены контейнеры Gel-Trays и Gel-Slide, аналогичны изделиям серии Gel-Box. Контейнеры Gel-Box, Gel-Tray и Gel-Slide поставляются со стандартным гелем.

**Серия VR** — это контейнеры, предназначенные для автоматической выгрузки изделий. Запатентованная компанией Gel-Pak технология вакуумной разблокировки (US Patent # 4,667,944 4,711,014 4,778,326) позволяет безопасно обращаться с устройствами любого размера: от небольших транзисторов и диодов размером 0,25 мм до больших интегральных схем и пластин размером 300 мм.

Гель-пленка в таких контейнерах располагается на сетке. Размер ячейки сетки определяется размером изделия рис 4. Благодаря созданному под контейнером вакууму происходит просадка гель-пленки на нитях сетки. При этом площадь контакта между гель-пленкой и нижней поверхностью изделия сокращается, уменьшая силу извлечения объекта из контейнера, что немаловажно для автоматического оборудования рис 5. Снятие вакуума обладает обратным эффектом: гель-пленка возвращается в нормальное состояние, площадь контакта снова становится максимальной, обеспечивая надежное удержание изделий.



4 Тип сетки в зависимости от размера изделия



5

Технология Gel-Pak вакуумной разблокировки изделий

Контейнеры не имеют ячеек и полостей, что дает возможность размещать в них изделия различных размеров. Размер контейнера серии VR — 2" x 2" или 4" x 4" — позволяет разместить на основании большое количество кристаллов. Возможна установка этих контейнеров на автоматическом оборудовании, например, на оборудовании Datacon, ESEC, Dr.Tresky, Palomar, F&K Delvotec, BESI, Newport и Royce.

**VR-пластины с вакуумной разблокировкой** подходят для кремниевых подложек или крупноформатных изделий размером от 75 мм до 450 мм, нарезанных пластин на пленочных рамках и высокообъемных тонких подложек, например, пластин InP, AFM и МЭМС рис 6. Эти пластины позволяют исключить механический контакт с верхней и боковой поверхностями, обеспечивая безопасную транспортировку, хранение или обращение с изделиями. Для пластин используются те же гель-пленки, что и в контейнерах серии VR с вакуумной разблокировкой. Разница только в том, что поверхность с вакуумной разблокировкой встроена в большую пластину вместо внутреннего литого поддона. VR-пластины поставляются как отдельно, так и вместе с защитным контейнером. Также доступны специальные версии крупногабаритных контейнеров для транспортировки 200 мм и 300 мм подложек, смонтированных на пленочных рамках. VR-пластины сделаны из фенюплата (С) коричневого цвета или прозрачного акрила (Т). Маркировка (разлиновка, наименование компании, логотип и т.д.) наносится по запросу. В контейнерах



Контейнер VR-R927CC  
Ø 150 мм



Контейнер VR-R300T  
Ø 300 мм



Контейнер VR-R927TT  
Ø 150 мм

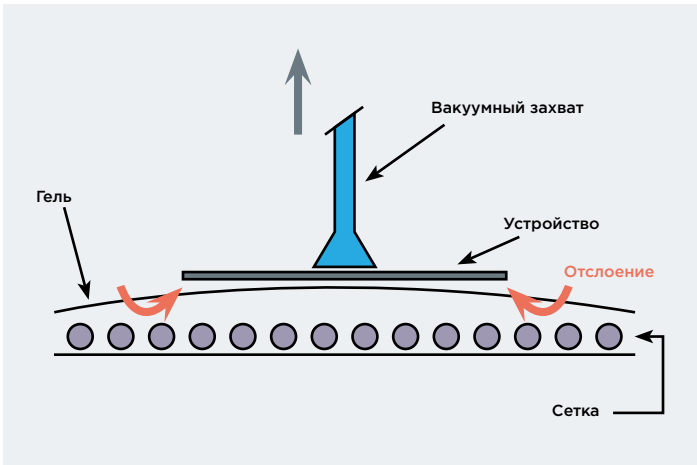
6

Контейнеры с вакуумной разблокировкой для пластин

и пластинах с вакуумной разблокировкой серии VR используется сверхчистый гель.

**Контейнеры серии NTD (Nano Device Tray)** спроектированы специально для транспортировки, хранения и обращения с особенно мелкими устройствами, их рекомендуется использовать вместо контейнеров серии VR. Размер таких устройств может составлять 250 x 250 мкм и менее, в них используется наименьшая из сеток с плот-

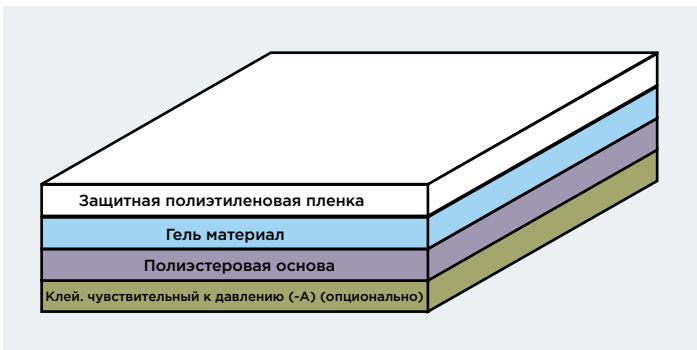




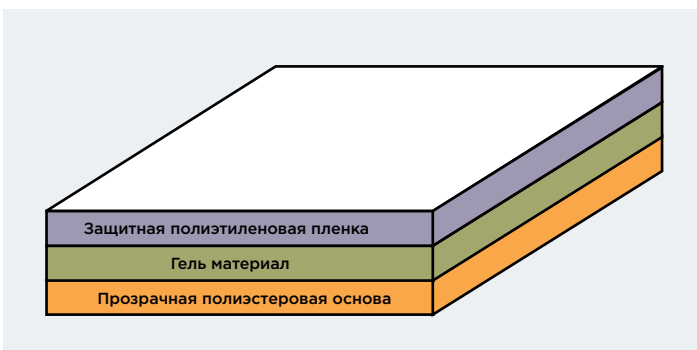
7 Извлечение микроустройств из контейнера

ностью 195 нитей на дюйм, но вакуум под контейнером не создаётся, т.к. можно повредить изделия. Извлекают микроустройства из контейнера ручным вакуумным пинцетом или вакуумным пинцетом автоматического оборудования рис 7.

Хотя контейнеры серии NDT и имеют схожую с контейнерами серии VR конструкцию, для выгрузки изделий не требуется вакуум. Упругая гелевая мембрана может выгибаться, что позволяет без затруднений



10 Структура гелевой плёнки серии WF



11 Структура гелевой плёнки серии PF



8 Гель-плёнка серии WF

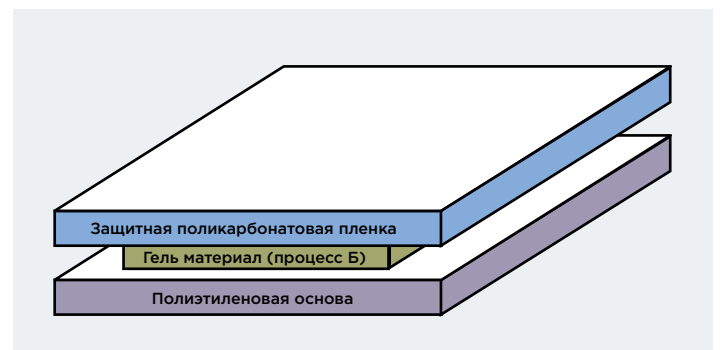


9 Гель-плёнки серии PF и DGL

отделить устройство от геля. При извлечении скорость выгрузки должна быть уменьшена. Для данного типа контейнеров используется гелевая плёнка только с наименьшей удерживающей способностью XT, а для совместимости с видеосистемой оборудования фон сетки может быть белым или чёрным.

**Форматные гелевые плёнки** изготавливаются из такого же запатентованного геля, обычно имеют стандартную форму: квадрат, прямоугольник или круг, но по требованию заказчика возможно изготовление плёнок любой формы и размеров. Доступны три модификации: WF, PF и DGL рис 8, 9.

Наиболее широко применяется гелевая плёнка серии WF рис 9, которая выпускается с самоклеющейся основой или без неё. Основные области применения гелевой плёнки серии WF с клеящей основой: притирка пластин, фикс-



12 Структура гелевой плёнки серии DGL

сация и обращение с объектами, лазерная подрезка гибких схем, комплектация мелких компонентов, термическая обработка объектов при температуре до 150 °С. Плёнки серии WF без клеящей основы применяются для защиты поверхности, полировки оптики, защиты при скрайбировании и разламывании пластин, покрытия экранов плоских дисплеев, утонения обратной стороны пластин, а также для процессов термической обработки при температуре до 150 °С.

Структура гель-плёнки серии WF представляет собой гель, прикреплённый к металлизированной полиэфировой подложке рис 10. Уровни удерживающей способности: X0, X4, X8.

Пленки серии PF и DGL обычно используются для удержания объектов, требующих прозрачности плёнки, например при распознавании отпечатков пальцев или проведении процессов термической обработки.

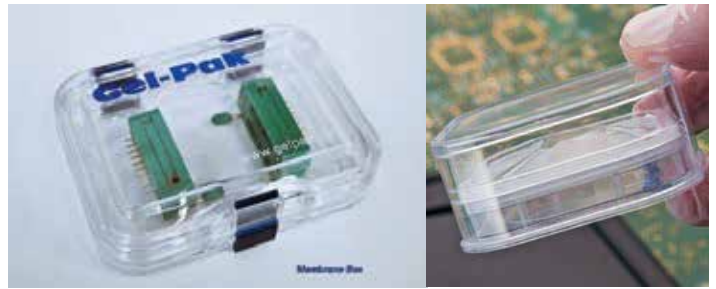
Структура плёнок PF и DGL аналогична продукту WF. Различие в том, что гель не закреплен на полиэфировой подложке, обеспечивая лёгкое извлечение рис 11. Такие продукты иначе называют «свободным гелем». Доступны уровни удерживающей способности: XT, X0, X4, X8.

Наиболее часто гель-плёнки серии DGL используют для двухстороннего применения при скрайбировании и разламывании пластин, притирке дисков, процессах вакуумного нанесения покрытий, а также для продолжительных процессов термической обработки при температуре до 225 °С.

Пленка серии DGL — это «свободный гель», имеющий высокую степень очистки и оптическую прозрачность. В ее структуре полиэтиленовая основа и легко удаляемая защитная поликарбонатная плёнка рис 12.

**Мембранные контейнеры серии MB** рекомендуются для устройств или больших объектов неправильной формы или имеющих неплоскую контактирующую поверхность (что затрудняет контакт с гель-пленкой). Такие контейнеры идеальны для транспортировки трехмерных изделий, например разъемов, оптических элементов, призм, линз, кристаллов и т.д.

В конструкции мембранной упаковки использована тонкая высокоэластичная прозрачная мембрана, смонтированная на верхней и нижней частях прозрачного полистиролового контейнера рис 13. Когда контейнер закрыт, изделие надежно закреплено между двумя прозрачными мембранами. Хорошие оптические свойства материала контейнера позволяют провести визуальный осмотр изделия без его извлечения из контейнера. Мембранные контейнеры пригодны для многократного использования и разработаны для объектов различной формы и размеров.



13

Использование мембранного контейнера для переноски изделий

## Оснастка и аксессуары

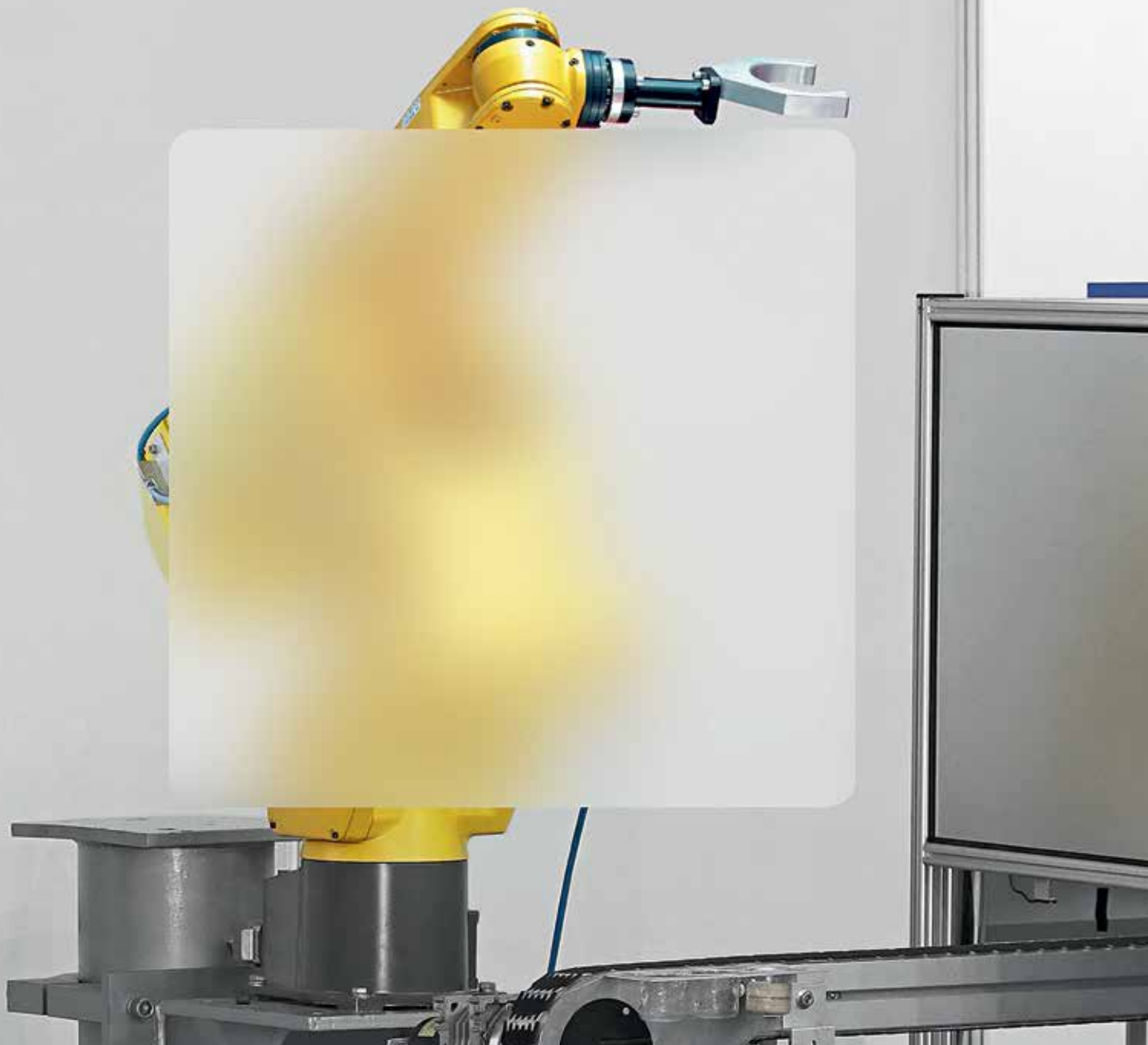
Широкая номенклатура сопутствующей оснастки и инструментов рис 14 позволяет легко и просто извлекать изделия из контейнеров Gel-Pak. К оснастке можно отнести: ручные вакуумные пинцеты с вакуумными присосками и иглами, вакуумные столики различных типоразмеров с ручными или аккумуляторными вакуумными насосами или без них, а также вакуумную станцию, объединяющую все перечисленные элементы.

Благодаря современным типам упаковки и материалам компании Gel-Pak, созданным по новейшим технологиям, можно надежно хранить, транспортировать и выполнять различные операции с хрупкими и дорогостоящими изделиями в различных областях деятельности. Широкая номенклатура и возможности контейнеров Gel-Pak позволяют значительно снизить затраты на их приобретение и хранение. ▣



14

Аксессуары Gel-Pak



Видеть сегодня промышленное оборудование будущего невозможно, **но технологии производства электроники для него — необходимо**

Гибкость, точность и надежность, что будут присущи промышленному оборудованию завтра, зависят от технологий его производства, которые необходимо внедрять сегодня. У нас уже есть решения для такого развития, разработанные в сотрудничестве с мировыми поставщиками новейшего оборудования и технологий. Эти решения позволяют найти оптимальный путь к успеху производства промышленной электроники.



будущее  
создается

[www.ostec-group.ru](http://www.ostec-group.ru)  
(495) 788 44 44  
[info@ostec-group.ru](mailto:info@ostec-group.ru)



# КАЧЕСТВО ТОЧНО В ЦЕЛЬ. ТОЧНО ЛИ?



Текст: **Василий Рыбалко**

«Знаете, в чем принципиальная разница между системами навигации GPS и ГЛОНАСС? GPS предназначена для того, чтобы человек всегда знал, где он находится, а ГЛОНАСС — для того, чтобы всегда знать, где находится человек»

**Н** и одна сфера жизни не обходится без систем навигации, определения координат, скоростей. И если в мобильных телефонах пользователь, обнаружив ошибку в своём местоположении или скорости, улыбнётся и спишет это на размеры устройства или его стоимость, то для изделий ответственного применения такая ошибка может закончиться аварией или даже катастрофой.

Что же именно во всех устройствах — от телефона, наземного транспорта, различных летательных объектов до специальных изделий, улетающих в заоблачные дали — отвечает за определение собственного положения в пространстве? Это — инерциальные системы отсчёта. Инерциальная навигация — определение координат и параметров движения различных объектов: судов, самолетов, ракет и управления их движением, которое основано на свойствах инерции тел, являющихся автономными, т. е. не требующими внешних ориентиров или поступающих извне сигналов. Неавтономные методы решения задач навигации основаны на использовании внешних ориентиров или сигналов, например, звезд,



1  
Примеры систем  
пространственного  
позиционирования

маяков, радиосигналов. Эти методы, в принципе, просты, но в ряде случаев не могут применяться из-за отсутствия видимости или наличия помех для радиосигналов.

Необходимость создания автономных навигационных систем и стала причиной возникновения инерциальной навигации. И не важно, каков принцип их действия, имеют ли они гиросtabilизированную платформу (ПИНС) или являются бесплатформенными (БИНС) — все они требуют настройки и проверки при выпуске. От их точности зависит точность определения собственных координат, что позволяет самолёту выполнить посадку в автоматическом режиме, беспилотному летательному аппарату облететь назначенный район, а боевой части поразить цель.

Так как же в современной промышленности решается задача обеспечения точности таких систем?

С точки зрения теории и разработки подобных систем всё уже придумано более 100 лет назад, например, применяются волоконно-оптические гироскопы при построении БИНС, принцип действия которых основан на эффекте Саньяка, описанном в 1913 году, и останется лишь воплотить в жизнь алгоритмы и наработки, используя современную элементную базу и технологии.

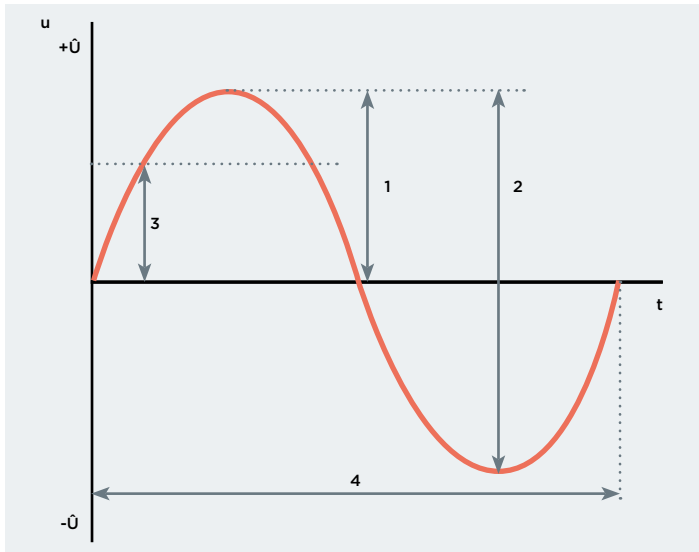
Вопросы производства и технологии стоят на первом месте. При производстве высокоточной механики применяются компьютеризированные обрабатывающие центры, электронные части проходят многоступенчатую проверку, начиная от электротермотренировки

некорпусированных кристаллов и заканчивая термоциклированием готовых блоков. Технология позволяет осуществить сборку и настройку готовых систем на соответствующем оборудовании. И наконец, после настройки провести приемо-сдаточные испытания (ПСИ). На этом последнем этапе используется специальное оборудование — системы пространственного позиционирования (моделирования движения): одноосные, двухосные, трехосные рис 1. От их качества и точности зависит итоговый результат испытаний.

Для современных БИНС и датчиков точность вчерашнего дня в одну-две угловых минуты считается приговором — такие приборы не найдут покупателя на рынке. Требуемая точность готовых изделий не должна превышать 10 угловых секунд. Здесь нужно вспомнить о такой науке как метрология, которая говорит, что для получения 10 угловых секунд точности для готового изделия необходимо проводить его настройку и ПСИ на оборудовании, точность которого не менее трех угловых секунд или в три раза точнее.

Где их взять? Как проверить? Давайте разберемся.

Производителей систем пространственного позиционирования по всему миру менее 10. Но ведь система системы разнь. Все производители, и это относится к любой технике, преувеличивают достоинства и молчат о недостатках, готовы заявить то, что нельзя проверить. Основными характеристиками систем пространственного позиционирования являются точность позицио-

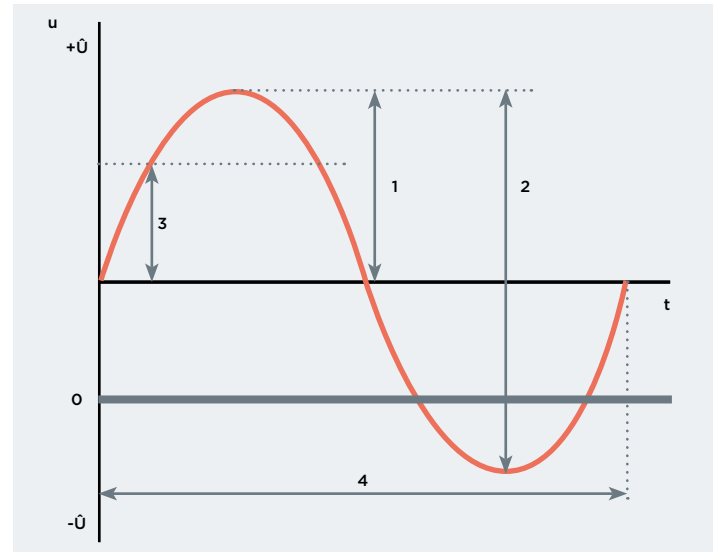


2  
1 — амплитудное значение, 2 — размах (peak to peak), 3 — средне-квадратическое значение, 4 — 360 градусов

нирования (точность угла поворота), повторяемость, стабильность, точность угловой скорости, для многосменных систем еще и ортогональность осей и, конечно, плоскостность рабочего стола.

Проверка характеристик оборудования, применяемого для технологических операций, должна быть проведена в соответствии с ГОСТ РВ 0015-002-2012 в процессе проверки на технологическую точность. А проверка характеристик оборудования, применяемого при испытаниях (в том числе при ПСИ), должна быть подтверждена при аттестации по ГОСТ 0008-002-2013. Что происходит на практике: оборудование, производимое за рубежом, проверяется на заводах-изготовителей по своим внутренним регламентам. Конечно, они близки к тем методам и подходам, которые применяются и у нас, физические процессы обойти невозможно. Но в последнее время уверенность в том, что «иностранцы» цифры, записанные в протоколах заводской калибровки, соответствуют реальности — значительно уменьшилась.

Выход есть. В нашей стране имеются не только поставщики, но и экспертные организации, которые могут проверить любой стенд на соответствие заявленным параметрам. К сожалению, значительная часть предприятий, занимающихся выпуском инерциальных систем, использует европейские системы пространственного позиционирования, не убедившись в их точности. Настройку и сдачу продукции проводят, ориентируясь на точности, указанные производителем в паспорте. Причина этого в отсутствии необходимых средств измерений и желания провести всестороннюю проверку. На практике ни один стенд пространственного позиционирования не выдает заявленных точностей без соответствующей настройки на месте эксплуатации и проверки. Дело здесь в разнице подходов. Простой пример:



3  
Отклонение от среднего, не превышающее одной угловой секунды

в документации указана точность позиционирования  $\pm 1$  угловая секунда, мы сразу же представляем себе идеальную картину рис 2, что это амплитудное значение отклонения угла от заданного «нулевого отклонения». Но это не так: у европейских производителей этот параметр показывает относительное смещение угла. Важно лишь, что отклонение от среднего не превысит одной угловой секунды рис 3.

Есть ещё более популярный способ ввести потребителя в заблуждение — указать специфические параметры точности позиционирования в виде RSS (root of sum of square, корень квадратный из суммы квадратов СКЗ двух измерений), что по сути в несколько раз отличается от амплитудного значения отклонения. Это очень «удобный» для производителя показатель, за которым может скрываться большая величина реального отклонения, показанная на рис 1 как амплитудное (или размах), что является важным при настройке БИНСов. Это всего лишь пример того, как разница в подходах указания параметров стендов имитации движения (систем пространственного позиционирования) без проверки и подтверждения на месте установки может повлиять на результат.

Конечно, никому не нужно объяснять, к чему приведет слепое доверие этим цифрам при настройке и сдаче реальных БИНС. Точность окажется не нашим преимуществом, и её недостаток нельзя компенсировать ни одним другим техническим способом, что обернется невозможностью выполнить поставленную задачу в автоматическом режиме. Выход один — никогда не верить на слово и всегда подтверждать заявленные точности при аттестации или проверке на технологическую точность аттестованными методами и с применением внесенных в единый информационный фонд средств из-

мерений (СИ): многогранной призмы, автоколлиматора, уровней и других вспомогательных СИ. Но и здесь нас ожидают открытия, например, настройки всех иностранных систем пространственного позиционирования (стендов имитации движения) производятся с применением 8- и 12-гранных призм, потому что других у них не существует. А отечественными методиками для получения достоверных подтвержденных результатов предусмотрено применение 36-гранных призм рис 4. Но и это еще не всё. При аттестации реальных образцов таких систем не все они могут быть аттестованы. Проблема в том, что лишь у единичных производителей есть возможность установки призмы на среднюю и внешнюю ось на месте эксплуатации для проверки погрешности позиционирования. В подавляющем большинстве производители предусматривают возможность проверки точностей средней и внешней оси многоосевых стендов только при производстве, а у потребителя её провести никак нельзя и опять приходится «верить на слово», что является недопустимым. Как уже говорилось, ряд предприятий принимает за истину данные калибровки заводов-изготовителей, или не желает проводить должную аттестацию в соответствии с требованиями ГОСТ, или проводит её «для галочки». И здесь должен проявить бдительность институт военных представителей на предприятиях, призванный контролировать и эту сторону процесса производства. Недаром

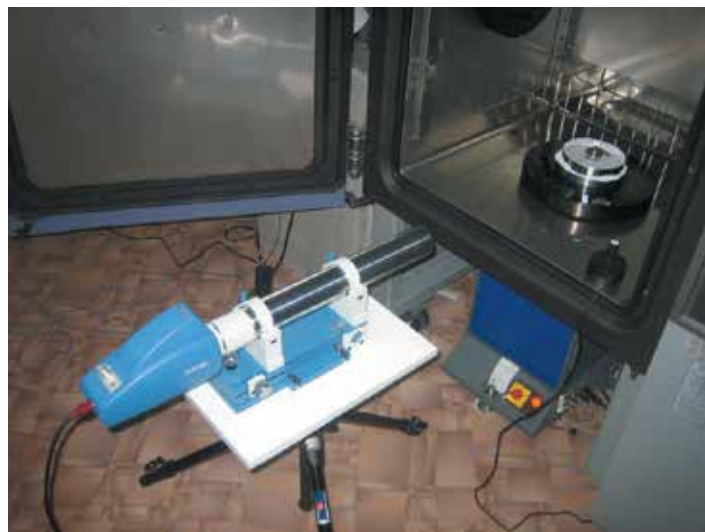
в 2013 году принят и с 1 июля 2014 года начал действовать ГОСТ РВ 0008-002-2013, который должны знать все: от специалистов до начальников «приемки».

Применение современных технологий наряду с использованием современного высокоточного аттестованного оборудования является неотъемлемым условием создания образцов передовой техники.

Проблема обеспечения точности решается двумя путями. Первый — подтверждение точности уже находящихся в эксплуатации систем пространственного позиционирования путем их аттестации с наличием аттестованной методики, прошедшей метрологическую экспертизу программой и методикой аттестации и, самое главное, применением поверенных средств измерения специалистами с необходимой квалификацией. Второй — приобретая новое оборудование, обращать внимание на возможность проверки заявленных параметров оборудования на месте, обращаться в организации, имеющие положительное экспертное заключение по ГОСТ РВ 0008-002-2013 и способные не только поставить оборудование, но и компетентно провести его настройку и аттестацию на месте установки. Иначе для выпускаемой продукции будут подходить слова академика Лихачева: «Точность очень часто оборачивается неточностью. Точность невозможна там, где материал не может быть точен по самой своей природе». ▢



4 36-гранная призма, установленная на среднюю ось, для проведения первичной аттестации трехосевого стенда



5 Размещение призмы и автоколлиматора при проведении первичной аттестации динамического стенда комплексных воздействий (поворотный стол, совмещенный с термокамерой)

# ОПТИМИЗАЦИЯ

## Цифровая система управления производством — Внедрять Нельзя Отложить!

Текст: Юрий Смирнов  
Станислав Гафт

»

Современное приборное производство изделий электронной техники — это сложный организм, управление которым невозможно без Цифровой системы управления (ЦСУ). Использование системы позволяет сократить цикл освоения выпуска новых изделий до нескольких месяцев и быстро проводить обновление модельного ряда, обеспечивая высокое качество продукции и соблюдение требуемых объемов и сроков производства, т. е. серьезное конкурентное преимущество. Это возможно, если в ЦСУ автоматизированы функции технологической подготовки производства и контроля проведения изменений конструкторской и технологической документации; контролируется движение ТМЦ, реализована функция прослеживаемости и контроля производства; присутствуют модули планирования и управления производством и закупками. Применение иностранных программных продуктов и до настоящего времени было затруднительно из-за отсутствия готовых решений, не требующих длительной доработки и адаптации под российское производство. А сейчас, принимая во внимание актуальный вектор на применение отечественного программного обеспечения (в том числе ОС и СУБД), использование иностранных программных продуктов становится и не всегда возможным. Речь идет о повышении информационной безопасности предприятий и снижении возможных рисков от использования программных продуктов с закрытым кодом и возможными «закладками».



Невозможно создать хороший продукт, основываясь на опросах людей или пользуясь фокус-группами. Люди сами не знают, чего они хотят, пока им это не покажешь.

**Стив Джобс**

**Интервью BusinessWeek, 1998 год**

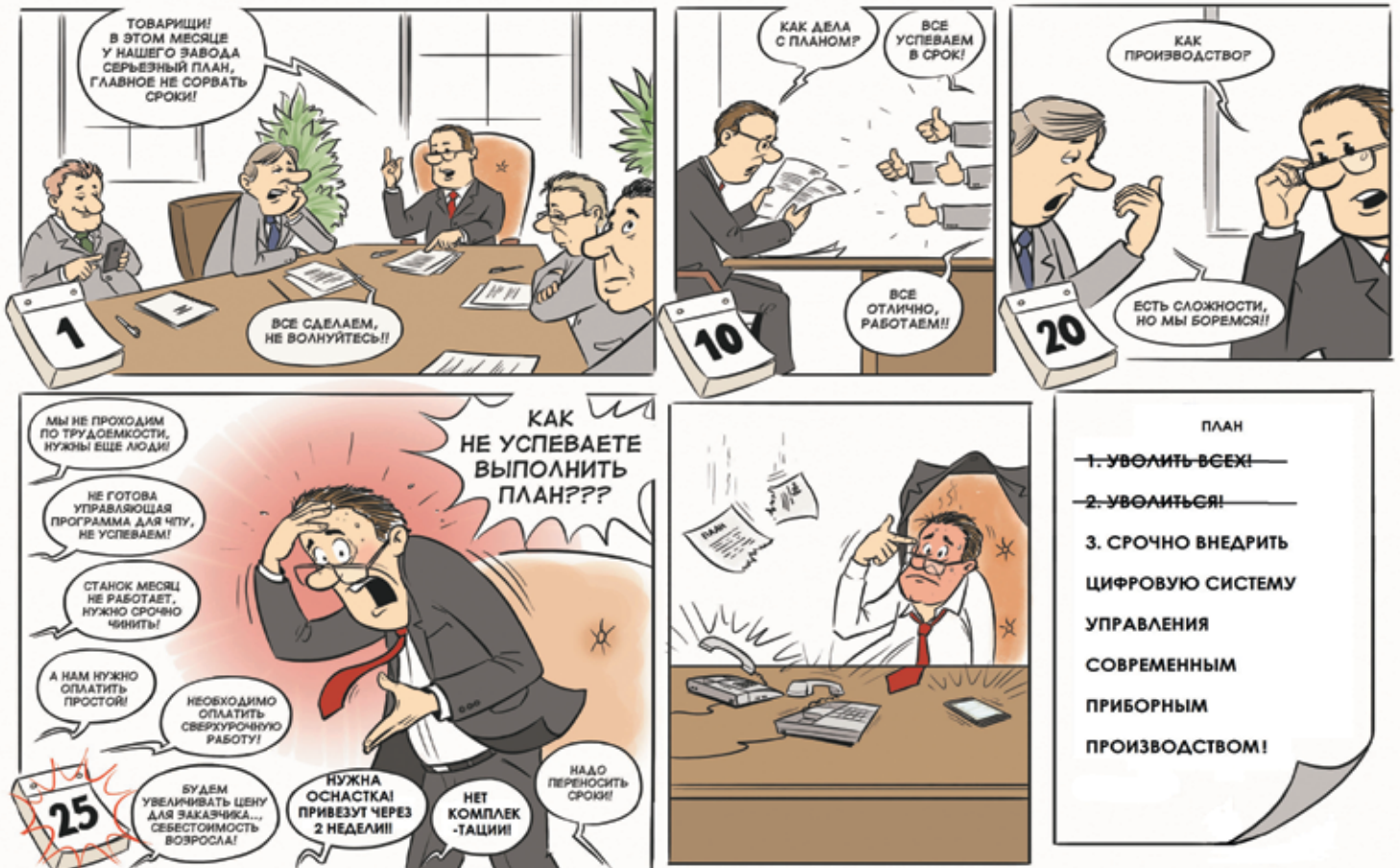
**Внедрение Цифровой системы управления: панацея или дополнительные проблемы в сложное время?**

Учитывая экономическую и политическую ситуацию в стране и мире, многие предприятия испытывают трудности с приобретением технологического оборудования для технического перевооружения и повышения производительности и эффективности производства. Существуют ли еще способы увеличить отдачу от производства, кроме обновления парка оборудования? Ведь современное оборудование есть у многих, но далеко не все предприятия работают эффективно.

Наряду с этим в период экономического кризиса остро встают вопросы экономической эффективности

производства и оптимизации затрат, в первую очередь, на ФОТ и комплектующие:

- Как изыскать ресурсы для увеличения выпуска продукции?
- Как оптимизировать загрузку производственных мощностей и персонала?
- Как сократить время простоев, увеличить выработку на одного сотрудника и снизить ФОТ?
- Как персонифицировать ответственность и повысить уровень качества выпускаемой продукции?
- Как контролировать производственную и технологическую дисциплину и обеспечить высокий уровень надёжности выпускаемой продукции?
- Как контролировать использование только разрешённых к применению компонентов, комплектующих и материалов и снизить затраты на ремонт?
- Как снизить уровень складских запасов и не морозить финансовые ресурсы? И как при этом не сорвать сроки выпуска готовой продукции?
- Как руководитель может получить точную и оперативную информацию о ходе производства для повышения качества управленческих решений?



Можно ли считать, что внедрение цифровой системы управления производством — это эффективный способ решить самые критичные для предприятия проблемы? Давайте разберемся.

Опыт разработки и внедрения программных продуктов ООО «Остек-Инжиниринг» позволяет положительно ответить на этот вопрос и утверждать, что можно получить первые результаты уже через 2-3 месяца после начала работы над проектом внедрения цифровой системы. Конечно, если это не глобальный проект по внедрению информационной системы масштаба предприятия «с нуля» длительностью 1-2 года, а готовый проверенный программный продукт, разработанный специально для предприятий отрасли, с помощью которого можно оперативно решить самые актуальные для конкретного производства проблемы.

Необходимость проведения автоматизации производства должна созреть в сознании каждого руководителя. Он должен понять, что автоматизация управления — жизненная необходимость, без внедрения которой невозможно дальнейшее развитие. При этом руководитель должен возглавить этот процесс.

Действительно, для профессионалов, связанных с управлением производством, совершенно очевидно, что управлять современным приборным заводом, имеющим в своем составе до 30 различных технологических переделов и участвующих в выпуске подавляющего большинства выпускаемой продукции, без современной системы управления не просто неэффективно, но и невозможно. Физически невозможно. Давайте представим стандартную ситуацию перед запуском очередного наряд-заказа, при которой нужно только проверить, что изделие будет выпускаться в соответствии с последними изменениями конструкторской документации. Если в выпуске прибора задействованы 4...5 цехов (сборочно-монтажный цех, участок производства жгутов, механообрабатывающий участок, участок покраски и цех финишной сборки), такая операция не является сложной, особенно при ограниченной номенклатуре выпускаемой продукции. Совсем другое дело, если в производственных цепочках задействованы 10...15 производственных переделов (например, в дополнение к упомянутым: цех производства печатных плат, участок изготовления подложек по тонкоплёночной технологии, участок сборки гибридных схем, участок производства пластмассовых деталей, участок производства резиновых деталей, участок изготовления моточных изделий). Нужно учитывать, что кроме процесса проверки проведения изменений в соответствии с извещениями, необходимо проконтролировать также и корректировку технологической документации, технологической оснастки и управляющих

программ. Так, например, при изменении только размера одного чип-резистора изменения коснутся:

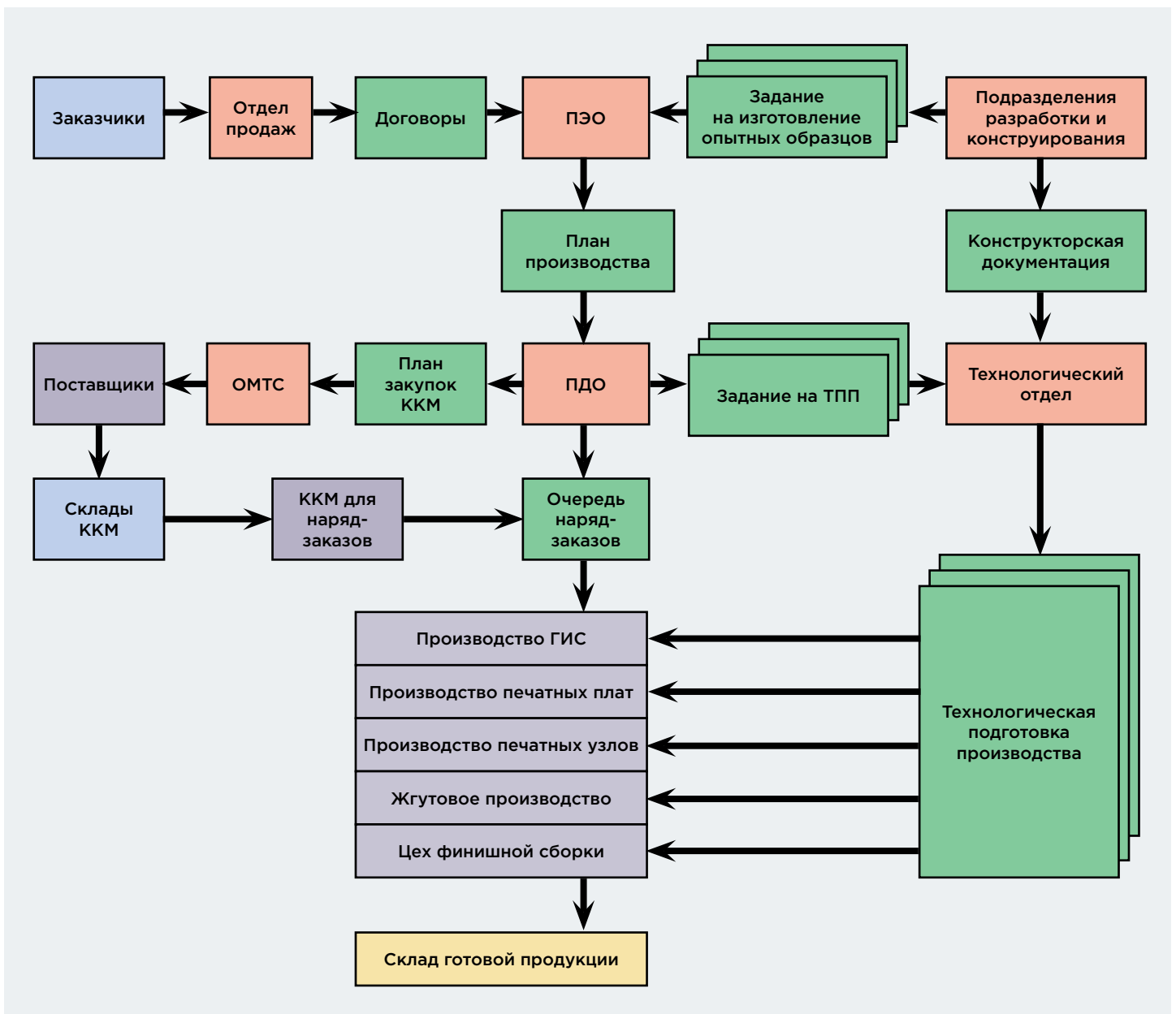
- схемы электрической принципиальной;
- перечня элементов;
- сборочного чертежа (схемы расположения компонентов на печатной плате);
- ведомости покупных изделий;
- фотошаблонов (изменение размеров контактных площадок и окон защитной маски);
- трафарета для нанесения паяльной пасты;
- программы для сборочного автомата (позиция установки питателя, координата забора компонента, тип насадки);
- программы автоматической оптической инспекции (изменение размера компонента, форм и объёмов паяных соединений);
- программы внутрисхемного электрического контроля (координаты точек контактирования).

При этом упустить что-либо и забыть откорректировать по одной из перечисленных выше статей — ничего не стоит.

## ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ LOGOS

Система Logos — это отечественный программно-аппаратный комплекс для приборостроения, который позволяет:

- Повысить конкурентоспособность выпускаемой продукции за счёт:
  - оптимальной себестоимости при изготовлении;
  - достижения запланированных уровней качества и надёжности;
  - снижения затрат на проведение гарантийных ремонтов;
  - повышения производительности труда благодаря ритмичной работе предприятия и снижению непроизводительных простоев.
- Обеспечить кратчайшие сроки вывода новых изделий на рынок за счёт:
  - минимальных сроков постановки их на серийное производство;
  - автоматизации процесса технологической подготовки производства;
  - автоматизации процесса планирования производства;
  - автоматизации процесса закупок компонентов, комплектующих и материалов.



1 Блок-схема функционирования приборного производства непрофильной продукции (как правило, для обеспечения загрузки производства, например, контрактной сборкой).

## Вечный вопрос: «курица или яйцо» или как правильно внедрять Цифровую систему управления производством

Можно выделить два диаметрально противоположных подхода к автоматизации производственных предприятий.

Первый и наиболее часто встречающийся — адаптация или создание программного продукта под конкретное предприятие. Данный вариант приемлем для компаний с четко выстроенными последовательными и логичными бизнес-процессами и документооборотом: наличием актуальных действующих регламентов или стандартов (например, СМК). Как правило, работа на-

чинается с аудита и описания бизнес-процессов и документооборота для формирования Технического задания на разработку или адаптацию ПО.

Однако, если на предприятии нет целостного, четко сформулированного и зафиксированного, видения бизнес-процессов, а информационные потоки и документооборот имеют признаки хаотичности или избыточного дублирования, то все проблемы будут зафиксированы и воспроизведены в создаваемой информационной системе.

Подобного рода ситуации свойственны предприятиям, находящимся, например, в ситуации перманентной реорганизации, имеющим богатую историю внедрения различных схем документооборота и преобразований

или последствия неоконченного внедрения различных регламентов, частично использующим формы документации из различных стандартов.

Разработчику программных продуктов невыгодно инициировать на предприятии процесс переосмысления и структурирования бизнес-процессов, так как это затягивает проект. К тому же немногие разработчики имеют необходимый опыт и сильную экспертизу в автоматизируемой области, чтобы перед началом работы по созданию ПО выявить указанные проблемы и дать заключение о необходимых корректировках в организации процессов на предприятии. Поэтому представители компаний-разработчиков или штатные программисты часто занимают позицию: «Пожалуйста, опишите, что вы хотите, и мы это реализуем на самом высоком техническом уровне».

При данном подходе написание грамотного полноценного ТЗ — это основная задача и проблема. Именно качество разработки ТЗ для разработчика ПО на 70 % определяет успех внедрения программных продуктов для автоматизации производства.

Лучше всех в проблемах предприятия и их критичности должен ориентироваться топ-менеджмент. Но трудно представить, что руководитель крупного предприятия сможет на несколько дней или недель погрузиться в разработку ТЗ. Поэтому этот ответственный этап поручается, например, IT-директору, главному технологу, директору по производству, начальнику цеха, рабочей группе, состоящей из очень ответственных сотрудников, или даже финансовому директору или главному бухгалтеру.

И, как показывает опыт, это не последний уровень, на который делегируется задача по написанию ТЗ. Зачастую при внедрении ПО и согласовании ТЗ приходится работать с сотрудниками 3-5 уровней подчиненности, из различных подразделений (ИТ, ОГТ, ОГК, ПДО, ПРБ бухгалтерии или производства), каждый из которых имеет свое представление о том, как все работает сейчас и как должно работать в идеале. Эти мнения могут настолько не совпадать или даже противоречить друг другу, что процесс создания ТЗ вызывает внутренние споры и жаркие дискуссии. И сотрудники с удивлением понимают, что различные службы и подразделения вкладывают разный смысл и по-своему понимают и трактуют назначение и смысл документов, содержащих огромное количество незаполняемых граф и разделов, смысл и значение которых далеко не все знают.

Конечно, в этом случае рядовой сотрудник не способен сформулировать целостные требования к системе управления производством. И ожидать положительного эффекта от внедрения системы по ТЗ, созданному таким образом, не приходится, так как проблемы не устраняются, а сохраняются при автоматизации в создаваемой системе управления.

Суть второго подхода заключается в корректировке бизнес-процессов предприятия под программный продукт, который содержит проверенные временем правила и философию организации приборного производства.

Конечно, разработчик программного продукта должен быть признанным экспертом в автоматизируемой области и иметь подтвержденный успешный опыт построения современных эффективных производств.



2 Алгоритм взаимодействия функциональных модулей цифровой системы управления приборным производством

В этом случае нет необходимости «изобретать велосипед» и формулировать требования к программе «с нуля» или погружаться в процесс анализа и реорганизации бизнес-процессов и документооборота. Вы экономите время, внедряя готовый отработанный программный продукт.

Очевидно, что участие руководителя в данном случае требуется в значительно меньшей степени. Необходимо принять проверенную методику организации производства и провести мероприятия для приведения ситуации в соответствие с рекомендациями эксперта. А вместо ТЗ на создание программного продукта достаточно совместно со специалистами сформулировать задание на адаптацию ЦСУ под задачи вашего предприятия.

Функционирование классического приборного производства **рис 1** можно описать следующей последовательностью:

1. Изготовление опытных образцов профильной продукции, разрабатываемой собственными подразделениями разработки и конструирования, вносится через планово-экономический отдел (ПЭО) в план производства, который согласовывается всеми заинтересованными лицами и утверждается генеральным директором.

2. Утверждённая конструкторская документация передаётся в отдел главного технолога. После утверждения плана производства в технологический отдел (отдел главного технолога ТО) через планово-диспетчерский отдел (ПДО) поступает задание на проведение технологической подготовки производства на новую профильную продукцию.

3. На основании утверждённого плана производства планово-диспетчерский отдел совместно с отделом материально-технического снабжения (службой закупок) разрабатывают план закупок компонентов, комплектующих и материалов (ККМ).

4. ОМТС (служба закупок) в соответствии с перспективным планом (план-графиком) закупок заключает рамочные договоры с поставщиками ККМ.

5. ПДО в соответствии с утверждённым планом (перспективным планом) производства готовит очередь наряд-заказов.

6. В процессе оперативного планирования (от утверждения перспективного плана до подтверждения заказа) в случае изменения заказчиком объёмов и/или ассортимента заказываемой продукции проводится корректировка (модификация) плана производства и, соответственно, плана закупок.

7. Модификация плана производства также проводится при получении дополнительных заказов на изготовление

8. При подтверждении заказа (подписание договора с заказчиком, получение очередного заказа при предва-


рительном подписании рамочного договора) готовятся заказы на закупку ККМ и, при подтверждении сроков поставки ККМ, корректируется очередь наряд-заказов.

9. Запуск наряд-заказа в производство происходит при следующих условиях:

- наличии полного комплекта конструкторской документации, откорректированной в соответствии с последними извещениями;
- наличии отметки о полном завершении технологической подготовки производства, включающей:
  - подготовку технологической документации;
  - изготовление всей необходимой для производства изделия технологической оснастки (например, трафареты для нанесения пасты, адаптеры внутрисхемного контроля и т.д.);
  - готовность управляющих программ (например, программ автоматического контроля качества нанесения паяльной пасты, автоматического монтажа, автоматического внутрисхемного электрического контроля и т.д.);
  - готовность нестандартного оборудования (например, стенды для наладки/регулировки и/или функционального контроля).
- наличии всех ККМ для обработки данного наряд-заказа на центральном заводском складе.

Алгоритм взаимодействия функциональных модулей в Цифровой системе управления производством **рис 2** наглядно демонстрирует, что:

- Модуль технологической подготовки производства обеспечивает ввод, хранение и модификацию конструкторской документации на изделия, технологической документации и подготовку и сопровождение справочников.
- Модуль перспективного планирования позволяет разрабатывать и модифицировать перспективные планы на основании данных, получаемых от модуля технологической подготовки производства (или вносимых заказчиком вручную).
- Модуль оперативного планирования производства позволяет модифицировать план производства в соответствии с динамикой изменения ситуации с заказами.
- Модуль планирования закупок обеспечивает подготовку планов закупок и их модификацию в соответствии с изменениями плана производства в процессе оперативного планирования и оперативного управления.

**Цифровая система управления LOGOS — это больше чем просто программный продукт. Это квинтэссенция опыта, проверенной идеологии и логики организации приборного производства, реализованная в программном продукте.** 

## ТЕХПОДДЕРЖКА

# АНОДНАЯ И НЕПОСРЕД- СТВЕННАЯ

сварка пластин  
для микроэлектроники.

## Выбор материалов и ключевые параметры



Текст: Александр Скупов

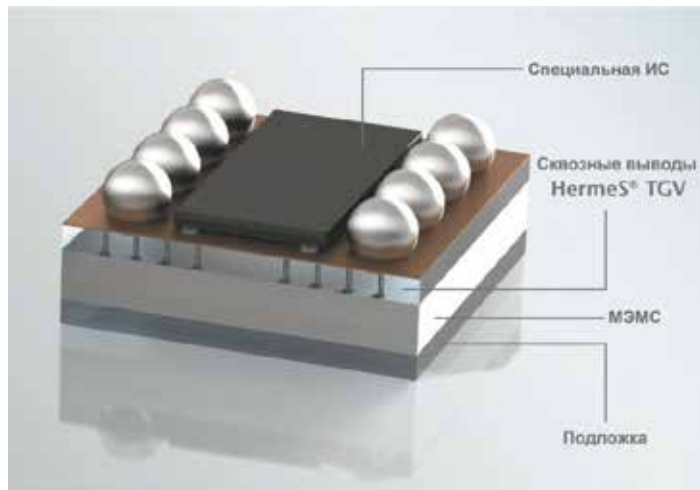


В статье представлен обзор двух методов сварки пластин для микроэлектроники без использования промежуточного материала. Каждый метод рассматривается с точки зрения технологичности, области применения и возможности расширения на смежные отрасли, также обозначены основные требования к материалам, используемым в данном процессе.

## Введение

Традиционными способами создания различных функциональных слоёв на поверхности полупроводниковых пластин долгое время являлись процессы эпитаксии, парофазного осаждения, напыления, а также химической модификации (например, окисление). Обычно толщина слоёв, созданных таким образом, сверху ограничивается единицами микрон. Однако развитие микроэлектроники и смежных индустрий потребовало найти способы, позволяющие создавать толстые слои (десятки и сотни микрон) материалов с различными свойствами, в т.ч. слоёв с кристаллической структурой на аморфных плёнках. Примерами задач, где требуется использование подобных методов, являются производство структур «полупроводник на диэлектрике» (кремний на сапфире — КНС, кремний на изоляторе — КНИ), а также создание резких р-п переходов для дискретных транзисторов и диодов.

Также появилась необходимость трёхмерной интеграции различных устройств, созданных в рамках совершенно различных и часто несовместимых друг с другом технологических процессов. Примером такой интеграции может являться соединение МЭМС (микроэлектромеханические системы) и схемы электрической обработки сигнала, которая дополнительно служит крышкой, защищающей МЭМС от воздействия внешней среды рис 1. Весьма интересными являются технологии трёхмерной интеграции памяти и процессора либо нескольких слоёв памяти. При этом наиболее перспективный способ интеграции — соединение на уровне пластин, что позволяет минимизировать длину про-

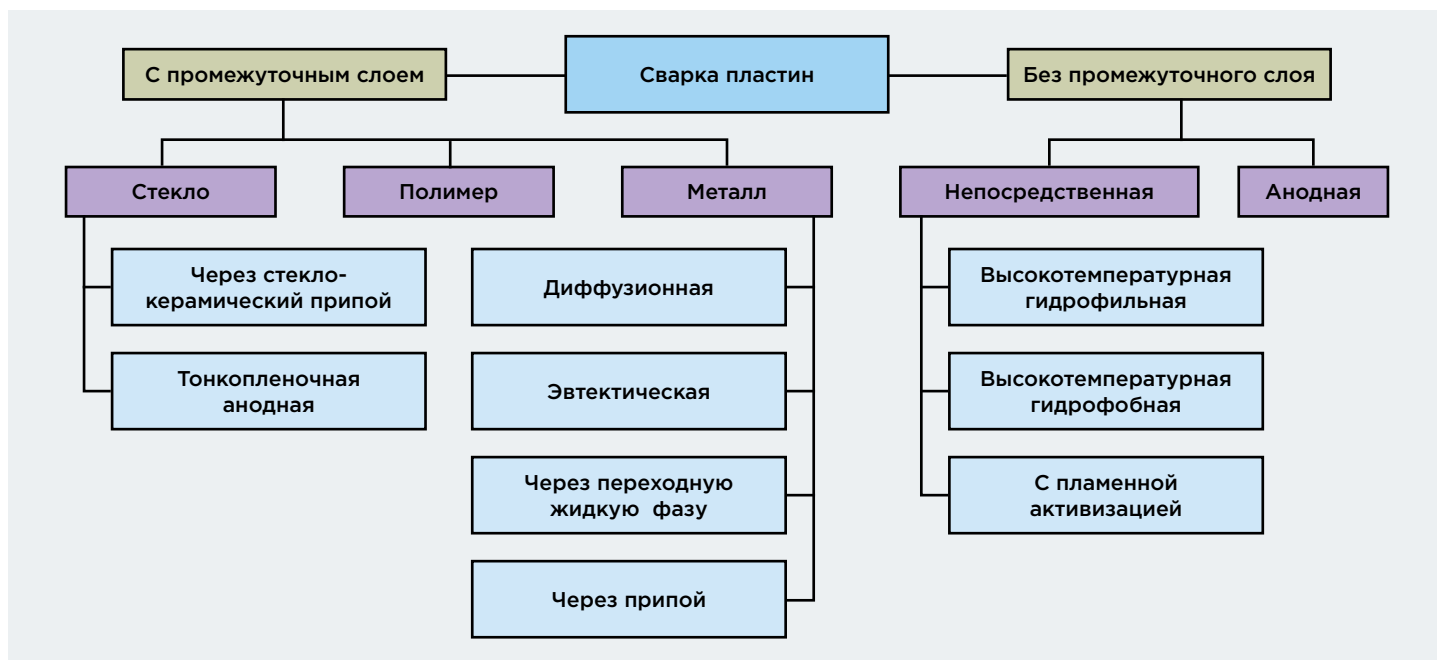


1 Пример интеграции МЭМС и микросхемы на уровне пластины [1]

дников, переходные ёмкости и сопротивления, а также максимально удешевить и ускорить производство.

Все эти задачи позволяет решить сварка пластин, когда с помощью промежуточного слоя или без него создаётся неразрывное соединение между двумя и более полупроводниковыми пластинами.

За всё время своего развития полупроводниковая индустрия разработала множество способов соединения пластин друг с другом, включая соединение через полимеры, стеклокерамические припои, металлы и сплавы, а также непосредственно без промежуточных материалов рис 2. В настоящем обзоре будут рассмотрены только те способы, которые не предполагают использо-



2 Общая классификация методов сварки пластин в микроэлектронике

вание промежуточных слоёв. К таковым относятся непосредственная сварка кремниевых пластин друг с другом, а также анодная сварка пластин кремния и стекла.

Оба метода сварки могут быть использованы для производства МЭМС, для данной индустрии выбор метода определяется требованиями, предъявляемыми к стоимости и эксплуатационным характеристикам конечных устройств. Непосредственная сварка используется для производства структур КНИ, а также является перспективной для трёхмерной интеграции с очень большой плотностью выводов. Анодная сварка широко используется в тех применениях, где требуется оптическая прозрачность и доступ света к внутренним частям конечного изделия — МОЭМС (микрооптоэлектромеханические системы), оптические приборы, устройства микрофлюидики.

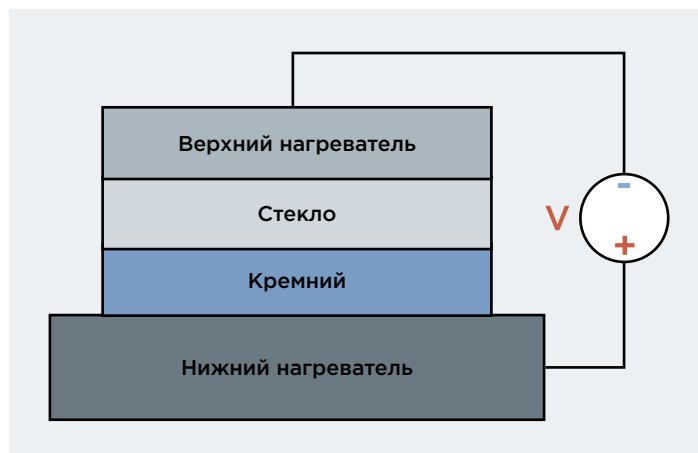
От того, какие способы сварки пластин и материалы будут выбраны для создания конечных приборов, будут зависеть эксплуатационные характеристики, надёжность и стоимость данных устройств.

## Анодная сварка

Процесс заключается в соединении друг с другом пластин кремния и стекла. Широко используется для производства МЭМС (например, акселерометр СМА300 от VTI Technologies) и устройств микрофлюидики (различные медицинские химические анализаторы, лаборатории на кристалле, рис 3). Её применение в области создания гетероструктур и трёхмерной интеграции ограничено физическими и химическими свойствами используемых стёкол.



3 Микрофлюидное устройство, изготовленное с помощью анодной сварки стекла и кремния



4 Схема процесса анодной сварки пластин стекла и кремния

## Параметры процесса

Анодная сварка пластин кремния и стекла происходит, когда на пластины, приведённые в контакт и предварительно нагретые, подаётся постоянное электрическое напряжение. Схема процесса показана на рис 4. Температура процесса обычно поддерживается в диапазоне 200-400 °С, а электрическое напряжение — 200-2000 В. Для проведения данной операции существует множество коммерчески доступных машин, в числе которых наиболее привлекательными являются установки фирмы EVG. Иногда для сварки использовалась собственноручно разработанная оснастка, пример в публикации [6].

Механизм сварки основан на химических реакциях, происходящих между поверхностями стекла и кремния при повышенной температуре и воздействии электрического поля. Основная часть этих реакций носит электрохимический характер и вызвана окислением кремния ионами кислорода  $O^{2-}$ , отделёнными от ионов щелочных металлов  $Na^+$ ,  $K^+$  внешним электрическим полем. Процесс известен с 1969 года, для подробного ознакомления с ним можно обратиться к источникам на русском [7] и английском [2-5] языках.

Процесс можно проводить как в атмосферных условиях, так и в вакууме либо инертной среде. Характерное время процесса составляет несколько минут и определяется температурой процесса, электрическим напряжением и площадью контакта поверхностей. Каждая пара пластин обрабатывается индивидуально в камере установки для сварки. Температура процесса, главным образом, определяется величиной различия коэффициентов температурного расширения (КТР) стекла и кремния, позволяя минимизировать термомеханические напряжения, вызванные разницей этих величин [3, 8].



## Требования к материалам

Класс устройств, создание которых возможно с использованием анодной сварки, а также эксплуатационные характеристики данных устройств, в первую очередь, определяются физико-химическими свойствами стёкол, используемых в процессе. В меньшей степени процесс зависит от параметров кремниевых пластин.

Шероховатость поверхностей стекла и кремния не должна превышать 2 нм, а вариации толщины (Total Thickness Variation — TTV) должны находиться в пределах 10 мкм [9]. Ширина нерабочей области у обоих типов пластин должна быть как можно меньше. Поскольку стекло является хрупким материалом, крайне важна качественная обработка кромки пластины с отсутствием каких-либо сколов и зубцов.

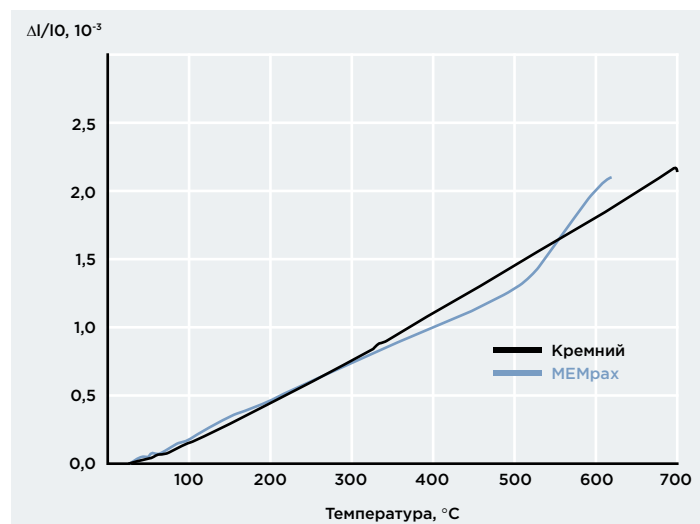
Для получения неразрывного однородного механического соединения между кремнием и стеклом в составе стекла должно быть 2-4 % Na либо K. Меньшие количества данных элементов приведут к увеличению времени процесса, что отрицательно скажется на производительности. Большие концентрации будут негативно отражаться на физических и химических свойствах стекла.

Вторым важнейшим критерием при выборе стекла для анодной сварки является КТР стекла в сравнении с кремнием. Поскольку процесс проводится при относительно высоких температурах, а конечные устройства эксплуатируются в широком диапазоне температур, наличие механических напряжений, вызванных разницей КТР, может плохо сказаться на эксплуатационных характеристиках устройств. При больших различиях КТР могут наблюдаться сбои, связанные с механическим разрушением структур, а также недопустимые деформации особенно чувствительных элементов устройств. По этим причинам КТР используемого стекла должен быть максимально близок к КТР кремния (рис 5).

Химический состав стекла также крайне важен, если требуется формировать в нём какую-либо топологию с помощью травления. Именно сложности, связанные с травлением стекла, препятствуют его широкому использованию в трёхмерной интеграции, поскольку требуется создание сквозных выводов в стекле.

затруднительно формировать плотные сквозные выводы, поскольку скорость травления в плазме мала (0,5-1 мкм/мин.), а жидкостное травление даёт слишком большой уход размеров в планарном направлении [10]. Минимальная ширина сквозного вывода в стекле составляет сотни микрон, и для их формирования часто используют пескоструйную обработку либо лазер [11].

Однако формирование неглубокой топологии (несколько десятков микрон) в стекле всё же возможно. Для плазменного травления стекла в нём должно содержаться минимальное количество стойких инертных оксидов ( $Al_2O_3$ ), поскольку они существенно замедляют травление или же значительно снижают селективность по отношению к материалу маски (как правило, металл либо кремний после анодной сварки). То же требование равным образом относится и к жидкостному травлению в растворах на основе HF. При жидкостном травлении также важно, чтобы содержание Ca в стекле было максимально низким, поскольку данный элемент крайне негативно влияет на адгезию маски (как правило, металл с фоторезистом) [10]. Также стеклянные пласти-



5 Сравнение КТР стекла Borofloat 33 (MEMrax) и кремния при различных температурах [1]

Т 1 Свойства стеклянных пластин Borofloat 33, рекомендуемых для анодной сварки с кремнием

Параметр	Значение			
Диаметр, мм	100	150	200	300
Толщина, мкм	100-1000	100-1000	500-1000	775-1000
TTV, мкм	<10			
Шероховатость, нм	<1,5			
КТР, 10 <sup>-6</sup> К <sup>-1</sup>	3,25			
Коэффициент преломления	1,4713			
Химический состав	SiO <sub>2</sub> : 81 %, B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 13 %, Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O: 4 %, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 2 %			

ны не должны содержать в своём составе посторонних макроскопических включений (пузырьки воздуха), т.к. данные дефекты могут стать центрами разрушения пластины.

Перечисленным критериям удовлетворяет стекло Vогоfloat 33, которое доступно в виде пластин различного диаметра. Свойства данного материала перечислены в **Т 1**.

Таким образом, анодная сварка пластин кремния и боросиликатного стекла активно применяется для производства МЭМС, устройств микрофлюидики, а также в приложениях, где требуется интеграция разнородных устройств на одном кристалле.

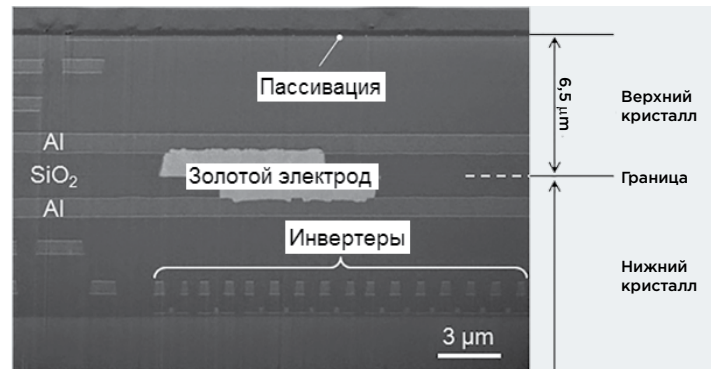
К используемым в анодной сварке пластинам предъявляются требования низких геометрических допусков, низкой дефектности, согласования КТР с кремнием, оптимального химического состава.

К преимуществам данного процесса относятся его простота и совместимость с Al металлизацией. К недостаткам — плохая совместимость с КМОП-производством из-за риска перекрёстного загрязнения оборудования щелочными металлами, ограниченная производительность, термомеханические напряжения, связанные с разнородностью соединяемых материалов.

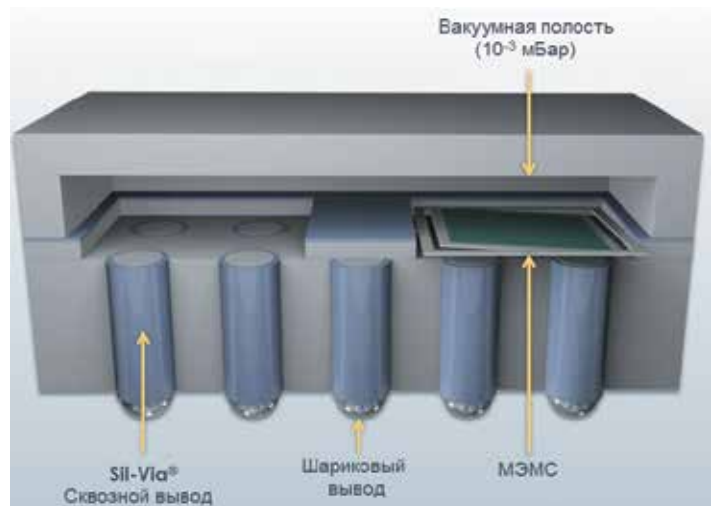
## Непосредственная сварка

Непосредственная сварка используется для создания прочного неразрывного соединения между двумя кремниевыми пластинами. Существуют два вида непосредственной сварки кремниевых пластин: гидрофильная и гидрофобная. В первом случае кремниевые пластины соединяются друг с другом за счёт слоёв оксида кремния (гидрофильные поверхности), во втором — после удаления слоёв естественного оксида с каждой пластины (гидрофобные поверхности).

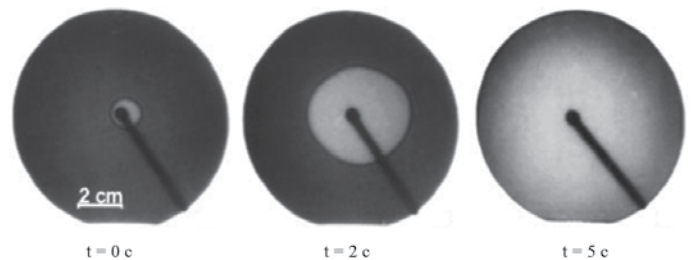
Гидрофильная сварка применяется для создания структур КНИ [12] и МЭМС (устройства с вертикальными ограничителями движения, датчики на основе толстослойных КНИ) [9]. Существенные успехи в развитии методов активации поверхностей делают возможным её применение в области трёхмерной интеграции **рис 6**, а также для соединения разнородных веществ: КНС, Si/кварц, Si/GaAs, Si/Ge и т. п. [14]. Непосредственная гидрофобная сварка используется в производстве МЭМС, например, для создания герметичных проводящих выводов из высоколегированного кремния **рис 7**. Также можно использовать данную технологию вместо эпитаксиального наращивания толстых слоёв, поскольку этот метод существенно дешевле [9, 14].



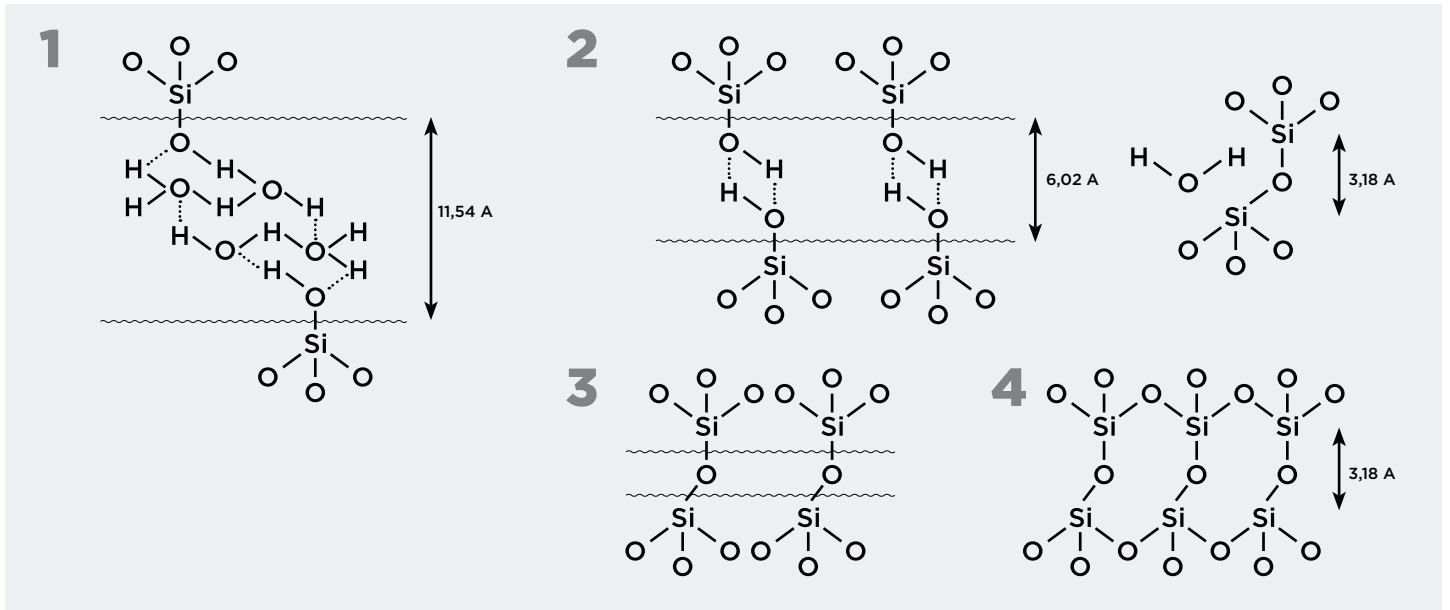
**6** Гибридная низкотемпературная сварка двух пластин по технологии DBI (Direct Bond Interconnect – межсоединения с непосредственной сваркой), реализованная с помощью непосредственной гидрофильной сварки [13]



**7** Поперечное сечение устройства, изготовленного по технологии SiI-Via с использованием гидрофобной и гидрофильной сварки кремниевых пластин [15]



**8** Процесс соединения 100 мм кремниевых пластин, наблюдаемый в проходящем ИК свете [16]

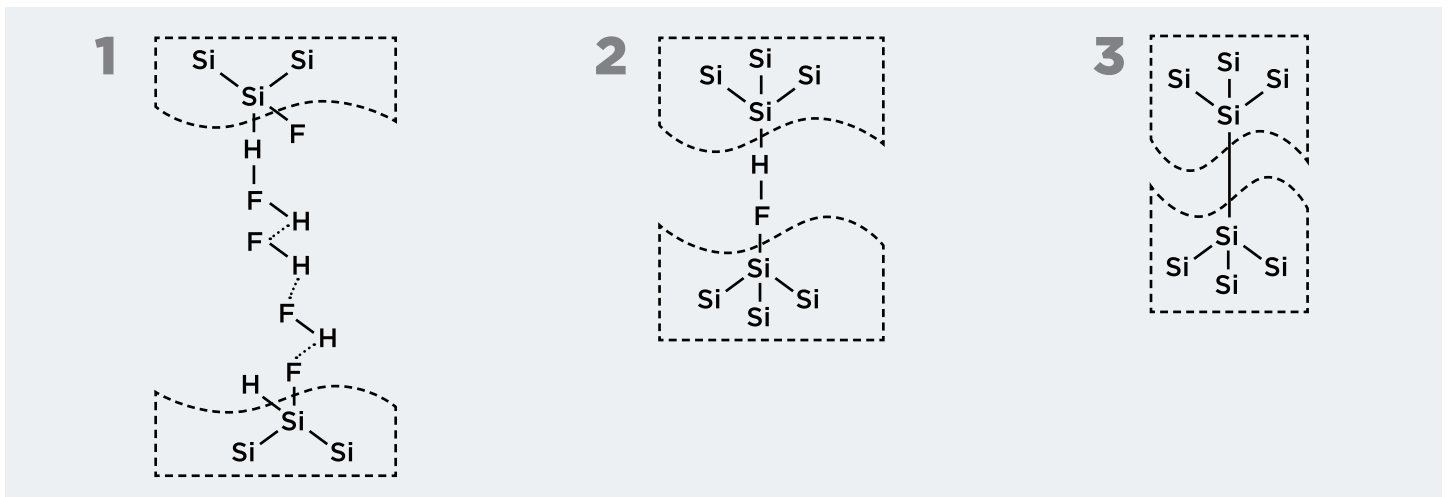


9 Взаимодействия между поверхностями пластин, происходящие при непосредственной гидрофильной сварке

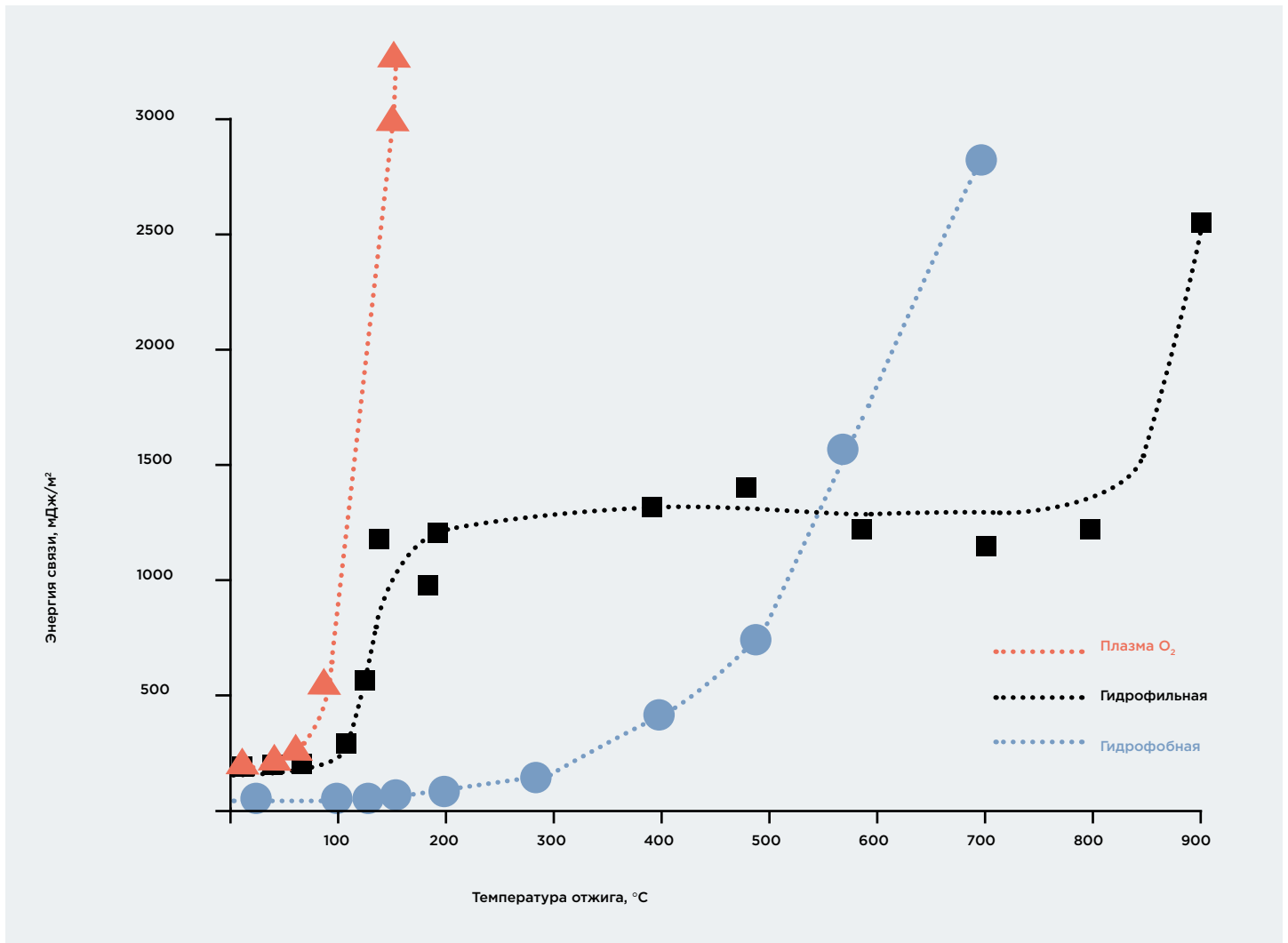
### Параметры процесса

Перед приведением пластин в контакт они подвергаются стандартной химической обработке в растворах Piranha-solution, SC-1 и (опционально) SC-2. Такая обработка способствует удалению всех загрязнений с поверхности, а также формирует на поверхностях мономолекулярные слои, за счёт которых будет происходить первичный контакт пластин. При гидрофильной сварке пластины могут быть соединены друг с другом при комнатной температуре в атмосфере чистого помещения после точечного воздействия, инициирующего контакт поверхностей рис 8. Для гидрофобной сварки необходимо дополнительно обработать пластины в буферном травителе оксида и обеспечить инерт-

ную среду до приведения пластин в контакт. В обоих методах сварки пластины сначала соединяются за счёт слабых межповерхностных взаимодействий (Ван-дер-Ваальса, гидростатическое): Si-OH — OH-Si между гидрофильными поверхностями рис 9, Si-H — F-Si между гидрофобными рис 10. Затем с увеличением температуры эти связи трансформируются в ковалентные Si-O — O-Si при гидрофильной сварке, Si-Si при гидрофобной. Трансформация связей происходит в течение 0,5–2 часов при температуре 1100 °C для гидрофильной сварки и 900 °C для гидрофобной. В последнее время разработано множество методов активации поверхностей, позволяющих снизить температуру непосред-



10 Взаимодействия между поверхностями пластин, происходящие при непосредственной гидрофобной сварке



11

Зависимость энергии связи пластин от температуры и условий отжига для различных видов непосредственной сварки кремниевых пластин [17]

ственной гидрофильной сварки до температур ниже 450 °C рис 11 [18].

Используемое технологическое оборудование зависит от требований, предъявляемых к процессу. В простейшем случае гидрофильная сварка может происходить без прецизионного совмещения пластин очень простым автоматическим либо ручным оборудованием, обеспечивающим грубое совмещение и приведение в контакт пластин. При этом достигается максимальная производительность, поскольку финальный отжиг

производится для большой группы предварительно соединённых пластин. Если между поверхностями необходимо обеспечить вакуум либо инертную среду, то используется специализированное оборудование. Следует отметить, что оба метода сварки обеспечивают вакуумплотное соединение, однако если требуется высокий вакуум, становится технологически сложно интегрировать геттер в герметичный объём.

Из-за слабой величины сил, соединяющих поверхности сразу после их приведения в контакт, при непосред-

Т 2

Свойства стеклянных пластин Borofloat 33, рекомендуемых для анодной сварки с кремнием

Параметр	Диаметры пластин, мм			
	100	150	200	300
Шероховатость Rq, Å	≤5			
TTV, мкм	≤3			
Прогиб/коробление, мкм	≤30	≤30	≤40	≤50
Ширина кромки, мм	≤3			

ственной сварке возможно раннее выявление дефектов и разделение пластин для их повторной обработки. Все дефекты, затрудняющие контакт поверхностей, наблюдаются с помощью инфракрасной камеры в проходящем свете.

## Требования к материалам

Поскольку взаимодействия, ответственные за первичный контакт между пластинами, являются короткодействующими, к пластинам, соединяемым с помощью данного метода, предъявляются экстремальные требования по чистоте и геометрии.

Все частицы должны быть удалены с поверхности пластин, поскольку даже незначительные по размеру субмикронные загрязнения формируют довольно большие по площади несвязанные области [19]. Поэтому процесс рекомендуется проводить в чистых помещениях класса ISO4 либо ISO3, а для обработки использовать реагенты уровня VLSI и выше.

Влияние геометрических свойств поверхностей на проведение процесса сварки довольно подробно изучено за всё время активного использования данного метода. Существуют рекомендации, которые были теоретически обоснованы и затем эмпирически проверены. В работе [20] рассматривается влияние шероховатости поверхности и выводится теоретический критерий, которому должны удовлетворять поверхности, чтобы реализовать гидрофильную непосредственную сварку. В работе [21] рассматривается влияние толщины пластин, их прогиба и плоскостности (Total Indicator Reading — TIR). Обобщая данные требования, можно заключить, что шероховатость поверхностей обеих пластин, приводимых в контакт, должна составлять не более 5Å. Требования, предъявляемые к плоскостности и прогибу, зависят от размера используемых пластин, а также их толщины. Важны также размер нерабочей области пластины и геометрия кромки, поскольку эти параметры будут определять полную площадь сварки и выход годных пластин в некоторых применениях. При слишком большой ширине нерабочей области пластины могут скалываться у кромки при манипуляциях в ряде технологических процессов (утонение, ХМП, глубокое жидкостное травление). Геометрические параметры, которым должны удовлетворять пластины для получения наилучшего соединения, приведены в **Т 2**.

Преимущества данного способа сварки пластин:

- отсутствие необходимости формирования каких-либо дополнительных слоёв на поверхности (кроме SiO<sub>2</sub> при гидрофильном соединении);
- возможность групповой обработки пластин после совмещения и первичного контакта, что существенно увеличивает производительность;

- отсутствие механических напряжений, связанных с разницей КТР;
- простота контроля дефектности и возможность устранения дефектов на ранней стадии.


Также такой метод сварки является особенно привлекательным для трёхмерной интеграции из-за возможности формирования в кремнии большого количества выводов. Недостатки: необходимость дополнительного технологического оборудования при использовании пластин с Al металлизацией либо в случае интеграции разнородных материалов, высочайшие требования к геометрии.

## Заключение

Сварка пластин в микроэлектронике позволяет получить неразрывные механически прочные соединения двух и более слоёв, состоящих в общем случае из разных материалов. Данный процесс широко используется в сфере производства гетероструктур, МЭМС, МОЭМС, устройств микрофлюидики и для трёхмерной интеграции.

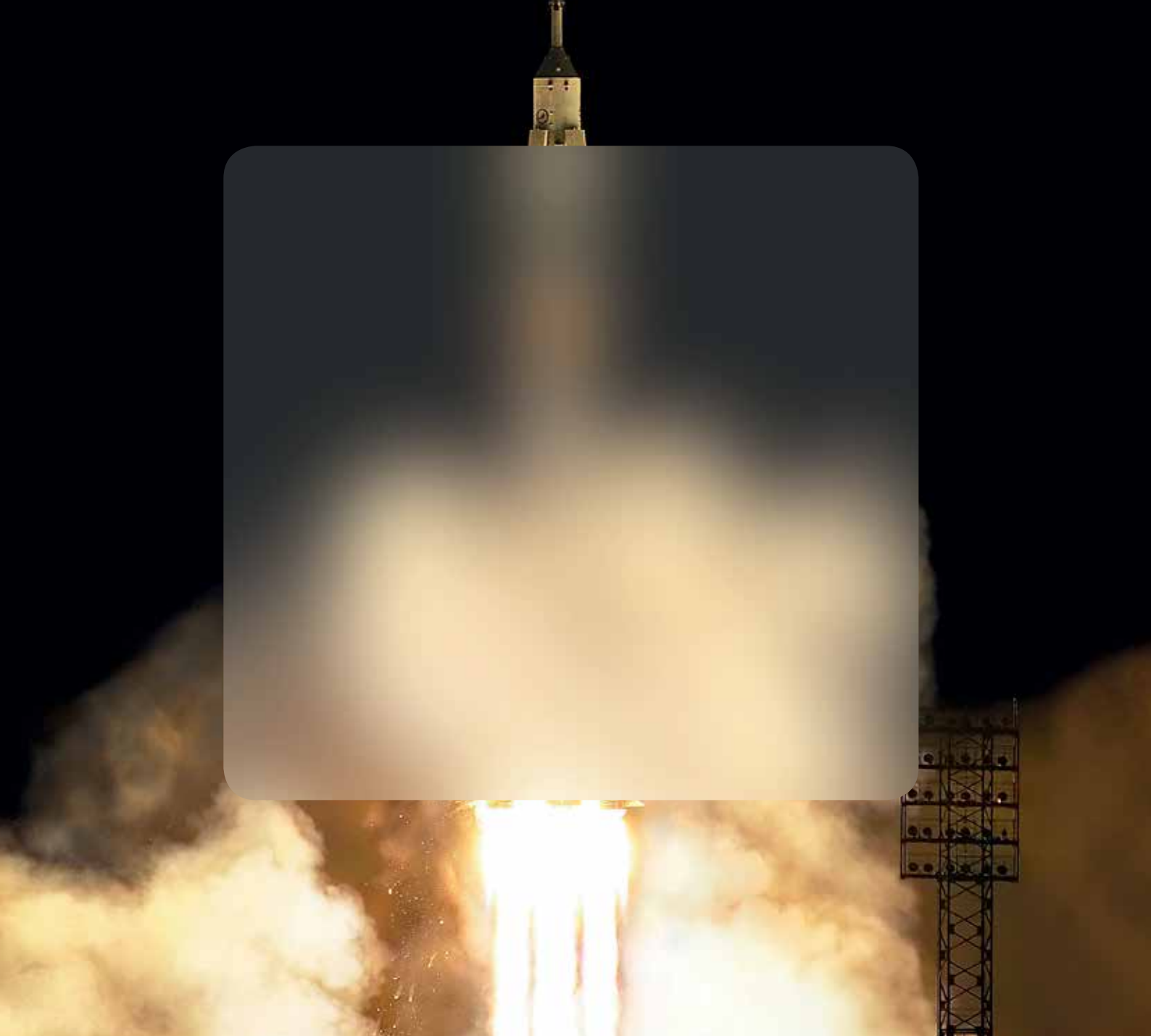
Анодная сварка пластин позволяет получить устройства с высочайшими эксплуатационными характеристиками. Однако использование данного метода ограничено областями, где пластины после сварки не подвергаются воздействию высоких температур; не задействованы в технологическом процессе КМОП; термомеханические напряжения, связанные с разнородностью материалов, не приводят к нежелательным изменениям характеристик конечных устройств. Для получения надёжных соединений, обеспечения надлежащей герметичности, высокого выхода годных устройств и высокой воспроизводимости результатов процесса необходимо использовать пластины стекла с однородным и оптимальным химическим составом, строгими требованиями к геометрии, максимально согласованным с кремнием КТР.

**Непосредственная сварка пластин применима для широчайшего спектра задач: от создания структур типа кремний-на-изоляторе до трёхмерной интеграции различных устройств. Данный процесс обладает высочайшей производительностью, но экстремально чувствителен к загрязнениям и геометрии исходных пластин. Поэтому для получения надёжного технологического процесса необходимо выбирать пластины с минимальными допусками по неплоскостности и шероховатости лицевой поверхности, а также обеспечить максимально возможную чистоту процесса.**

**Группа компаний Остек предлагает оборудование и материалы для реализации всех указанных методов сварки пластин. Специалисты компании готовы оказать поддержку при выборе методов и материалов для сварки, а также при отработке разнообразных технологий, необходимых для реализации данных процессов.** 

#### ИСТОЧНИКИ:

1. <http://www.schott.com/english/>
2. T. Rogers, J. Kowal, Selection of glass, anodic bonding conditions and material compatibility for silicon-glass capacitive sensors, *Sensors and Actuators A*, Vol. 46-47, PP 113-120, 1995
3. G.Y. Li, L. Wang, Influence of bonding parameters on electrostatic force in anodic wafer bonding, *Thin Solid Films*, Vol. 462-463, PP 334- 338, 2004
4. Y. Kanda, The Mechanism of Field-assisted Silicon-Glass Bonding, *Sensors and Actuators*, Vol. A21-A23, PP 939-943, 1993
5. A. Cozma, B. Puers, Characterization of the electrostatic bonding of silicon and Pyrex glass, *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol. 5, PP 98-102, 1995
6. C.C. Tripathi et al, Development of low cost set up for anodic bonding and its characterization, *Indian Journal of Pure and Applied Physics*, Vol. 46, PP 738-743, 2008
7. Л.С. Синев, В.Т. Рябов «Согласование коэффициентов термического расширения при электростатическом соединении кремния со стеклом», *Микро- и наносистемная техника*, 2011, №5, с. 24-27
8. S. Weichel, «Silicon to Silicon Wafer Bonding for Microsystem Packaging and Formation», Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark, 2005
9. *Handbook of Silicon Based MEMS Materials and Technologies* / Edited by V. Lindroos [and co-autors]. Burlington: Elsevier Inc., 2010, 636 p.
10. A. Polyakov et al, Processability and Electrical Characteristics of Glass Substrates for RF Wafer-Level Chip-Scale Packages, *IEEE Electronic Components and Technology Conference*, PP 875-880, 2003
11. J.W. Liu, Micromachining of Pyrex 7740 glass for micro-fluidic devices, 14th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences, Groningen, The Netherlands, PP 1907-1909, 2010
12. А. Л. Суворов и др., *Технологии структур КНИ*, М: МИЭТ, 407 с, 2004
13. <http://image-sensors-world.blogspot.ru/2014/09/image-sensors-at-iedm-2014.html>
14. Tommi Suni, Direct wafer bonding for MEMS and microelectronics, Espoo, 2006
15. *Enabling the Sensory Revolution: Silex Microsystems Company Introduction*, Silex Microsystems AG, Jarfalla, 2012
16. Q.-Y. Tong and U. Gösele (1998). *The Electrochemical Society*, ed. *Semiconductor Wafer Bonding: Science and Technology* (1 ed.). Wiley-Interscience.
17. <http://www.eecs.berkeley.edu/XRG/Summary/Old.summaries/02abstracts/ycho1.html>
18. M. Reiche and M. Wiegand, Plasma-enhanced semiconductor wafer bonding: Mechanism and applications
19. D. Pasquariello and K. Hjon, Mesa spacers: enabling non-destructive measurements of surface energy in room temperature wafer bonding, *Electrochemical Society Proceedings*, vol. 99-35, pp. 110-118
20. C. Gui et al, The effect of surface roughness on direct wafer bonding, *Journal of applied physics*, vol. 85, no. 10, 1999
21. Christen Harendt et al, Silicon fusion bonding and its characterization, *J. Micromech. Microeng.*, vol. 2, pp. 113-116, 1992



## Видеть сегодня авиакосмическую технику будущего невозможно, **но технологии производства электроники для нее — необходимо**

Новые характеристики, которыми будут обладать электронные компоненты бортового оборудования летательных аппаратов завтра, зависят от технологий их производства, что необходимо внедрять сегодня. У нас уже есть решения для такого развития, разработанные в сотрудничестве с мировыми поставщиками новейшего оборудования и технологий. Эти решения позволяют найти оптимальный путь к успеху производства электроники в авиационной и космической промышленности.



будущее  
создается

[www.ostec-group.ru](http://www.ostec-group.ru)  
(495) 788 44 44  
[info@ostec-group.ru](mailto:info@ostec-group.ru)





## Видеть сегодня производство будущего невозможно, **НО ПУТЬ К НЕМУ — НЕОБХОДИМО**

Чем сложнее производство, тем сложнее учесть все факторы, от которых завтра будут зависеть его эффективность, рентабельность, конкурентоспособность его продукции. Опираясь на свой опыт и сотрудничество с ведущими мировыми поставщиками оборудования и технологий, мы содействуем комплексному развитию предприятий электронной и радиоэлектронной промышленности. Наш подход основан на пяти слагаемых: исследование, планирование, проектирование, оснащение, сопровождение. Эта формула технологического роста позволяет предприятиям найти оптимальный путь к успеху.



будущее  
создается

[www.ostec-group.ru](http://www.ostec-group.ru)  
(495) 788 44 44  
[info@ostec-group.ru](mailto:info@ostec-group.ru)

