

02 (58) сентябрь 2023

# ВЕКТОР

ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ  
Научно-практический журнал



## ТЕХНОЛОГИИ

Дмитрий Суханов

28

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАВЛЕНИЯ  
ОКСИДНОГО СЛОЯ ПРИ  
ФОРМИРОВАНИИ TSV-СТРУКТУР



## КАЧЕСТВО

Андрей Насонов

38

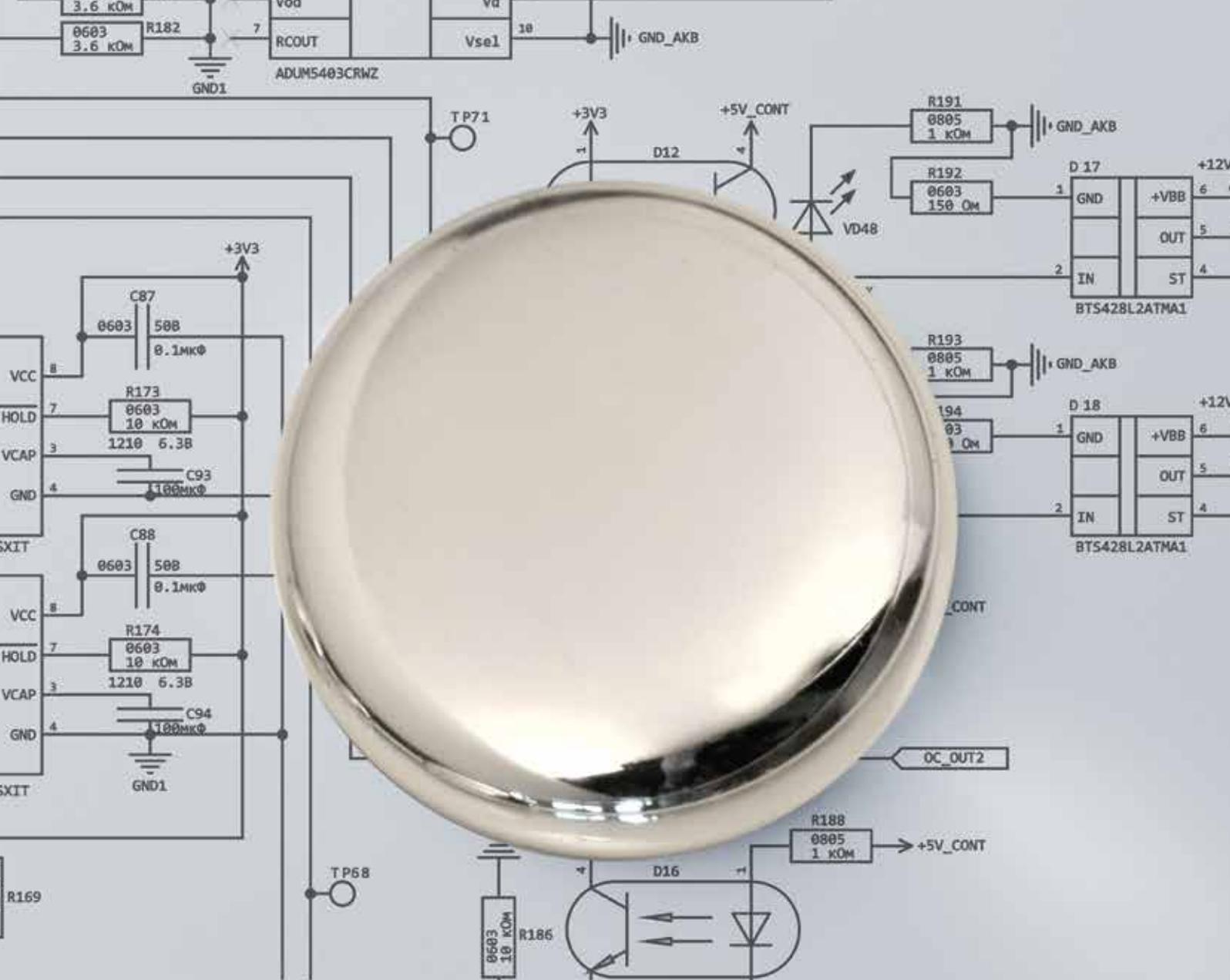
ТЕХНОЛОГИИ ИЗМЕРЕНИЙ



## АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОСТЕК-СМТ

60

РЕШЕНИЯ FLEX: ЛИНИИ  
ПОВЕРХНОСТНОГО И  
ВЫВОДНОГО МОНТАЖА,  
УЧАСТОК РЕМОНТА



# КАЧЕСТВЕННЫЙ КОНТАКТ В НОВЫХ ОБСТОЯТЕЛЬСТВАХ

Современные паяльные пасты, флюсы, припои для надежных паяных соединений и стабильного технологического процесса

С гордостью представляем новую линейку паяльных паст, флюсов и припоев для сборки электронных модулей. Под новым именем мы объединили лучшую продукцию от разных производителей со всего мира и представили материалы нашего собственного производства.

Каждый продукт торговой марки Солиус проходит нашу тщательную экспертизу и серьезный анализ, чтобы вы были уверены в качестве и результате пайки. Держите все под контролем, делайте свое дело и не беспокойтесь о материалах – мы продолжаем поставлять все необходимые высококачественные материалы и оказывать оперативную техническую поддержку для всей поставляемой нами продукции. Чтобы вы получали привычно высокий результат независимо от условий и обстоятельств.



### *Дорогие читатели!*

” Перед вами специальный выпуск научно-практического журнала «Вектор высоких технологий», подготовленный для участников российского форума «Микроэлектроника 2023».

«То, что вчера было фантастикой, сегодня – реальность. Мы создаём научные, производственные и технологические возможности для превращения первого во второе» – так можно сказать о том сообществе блестящих умов, которое ежегодно собирается на несколько дней на форуме.

Какими бы ни были ограничения и препятствия, прогресс не остановить. Микроэлектроника играет ключевую роль в современном мире. А значит, именно участники форума будут искать и находить решения, превращающие вызовы в возможности.

Каждый автор нашего журнала, готовивший статью к мероприятию, объединяющему профессиональную аудиторию, писал ее с особым чувством. Авторы уверены, что найдут понимание и отклик у единомышленников, а если к идеям и мыслям, заложенным в статьи, кто-то отнесется критически, то эта критика точно будет конструктивной и профессиональной.

Мы надеемся, что наш специальный выпуск станет хорошим дополнением к интеллектуальному и информационному потенциалу, созданному участниками насыщенной программы форума «Микроэлектроника 2023»!

Редакция журнала  
«Вектор высоких технологий»



Телеграм

[https://t.me/ostec\\_news](https://t.me/ostec_news)



ВКонтакте

[https://vk.com/ostec\\_group](https://vk.com/ostec_group)

**Научно-практический журнал «Вектор высоких технологий», учредитель ООО Предприятие Остек.**

Редакционная группа: Большаков Антон, Волкова Ирина.

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

E-mail: [marketing@ostec-group.ru](mailto: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-group.ru](http://www.ostec-group.ru)

# В НОМЕРЕ



ПЕРСПЕКТИВЫ стр. 4

## ПЕРСПЕКТИВЫ

**ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ «СЕНСОН»: С НАМИ ПРОСТО!  
СЕКРЕТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО СТАРТАПА. . . . . 4**

Автор: Иван Барский

## ТЕХНОЛОГИИ

**ПРЕИМУЩЕСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО МОНТАЖА  
КРИСТАЛЛОВ НА МЯГКИЙ ПРИПОЙ В ФОРМИР-ГАЗЕ  
ПРИ СБОРКЕ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ . . . . . 18**

Автор: Григорий Савушкин

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАВЛЕНИЯ ОКСИДНОГО СЛОЯ  
ПРИ ФОРМИРОВАНИИ TSV-СТРУКТУР. . . . . 28**

Автор: Дмитрий Суханов

**КОНСТРУКЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОДКОЛА  
КРИСТАЛЛОВ ТОЛЩИНОЙ МЕНЕЕ 100 МКМ . . . . . 34**

Автор: Григорий Савушкин



КАЧЕСТВО стр. 38

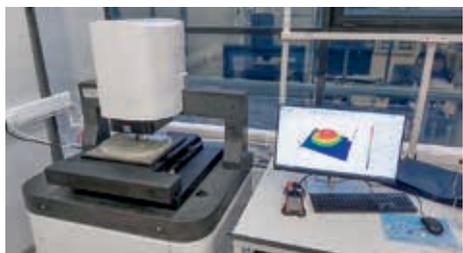
## КАЧЕСТВО

**ТЕХНОЛОГИИ ИЗМЕРЕНИЙ . . . . . 38**

автор: Андрей Насонов

**НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН . . . . . 42**

Автор: Сергей Максимов



КАЧЕСТВО стр. 42



АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЙ стр. 60

## АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

<b>ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ PRESS FIT: ПРИЧИНЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ . . . . .</b>	<b>48</b>
<b>КАК ВЫБРАТЬ ТНТ-УСТАНОВЩИК? . . . . .</b>	<b>52</b>
<b>ПАЙКА С ЧИСТЫМ И ГРЯЗНЫМ АЗОТОМ . . . . .</b>	<b>54</b>
<b>АВТОМАТИЧЕСКИЙ МОНТАЖ ТНТ-КОМПОНЕНТОВ, ПРОБЛЕМЫ «ПАДАЮЩИХ» КОМПОНЕНТОВ . . . . .</b>	<b>56</b>
<b>РЕАЛИИ ВАКУУМНОЙ ПАЙКИ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА В РОССИИ . . . . .</b>	<b>58</b>
<b>ОБЗОР ЛИНИИ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА FLEX:SMT . . . . .</b>	<b>60</b>
<b>ЛИНИЯ ВЫВОДНОГО МОНТАЖА FLEX:ТНТ . . . . .</b>	<b>64</b>
<b>ОБЗОР РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ УЧАСТКА РЕМОНТА FLEX:РЕМОНТ . . . . .</b>	<b>68</b>

## АВТОРЫ НОМЕРА

- ▶ **Иван Барский**  
 Обозреватель журнала  
 «Лаборатория и Производство»
- ▶ **Григорий Савушкин**  
 Инженер группы пресейл-инженеров  
 Технического управления  
 ООО «Остек-ЭК»  
 micro@ostec-group.ru
- ▶ **Дмитрий Суханов**  
 Заместитель технического директора  
 по продуктам для полупроводниковых  
 производств  
 ООО «Остек-ЭК»  
 micro@ostec-group.ru
- ▶ **Андрей Насонов**  
 Технический директор  
 ООО «Остек-Электро»  
 osteclectro@ostec-group.ru
- ▶ **Сергей Максимов**  
 Ведущий специалист отдела научно-  
 исследовательского и лабораторного  
 оборудования  
 ООО «Остек-АртТул»  
 info@arttool.ru
- ▶ **Николай Малиновский**  
 Заместитель технического директора  
 ООО «Остек-СМТ»  
 smt@ostec-group.ru
- ▶ **Владимир Казанцев**  
 Ведущий инженер  
 ООО «Остек-СМТ»  
 smt@ostec-group.ru

## ПЕРСПЕКТИВЫ

# Газоанализаторы «Сенсон»: с нами просто! Секреты промышленного стартапа

Текст: Иван Барский

”

Возможен ли в России стартап, направленный не на IT-рынок, не на уникальные изделия, а на промышленное оборудование?

Можно уверенно ответить: «Да». Это в полной мере подтверждает пример ООО «НИИИТ» – компании, занятой разработкой и серийным производством газоаналитического оборудования. За счет чего молодая компания, стартовавшая в конце 2016 года, сумела за несколько лет превратиться в известного производителя? Как организованы ее производственные и коммерческие процессы?

Об этом – наш разговор с создателями и руководителями ООО «НИИИТ».

## Наши собеседники



**Иван  
Сергеевич  
Семькин**

генеральный  
директор



**Андрей  
Владимирович  
Соколов**

соучредитель  
компании, главный  
специалист по  
применению



**Алексей  
Анатольевич  
Антонов**

коммерческий  
директор



**Илья  
Владимирович  
Шахнович**

главный  
конструктор



**Дмитрий  
Александрович  
Рябин**

начальник  
производства

### Что сегодня представляет собой ООО «НИИИТ»? И как все начиналось?

**И. Семькин:** Сегодня НИИИТ – один из ведущих российских разработчиков и производителей газоаналитического оборудования. Это малое предприятие – у нас порядка 25 сотрудников, причем около 30 % из них так или иначе заняты разработкой новой продукции. Номенклатура компании превышает 30 основных изделий. Объемы производства составляют до 50 изделий в месяц. Объемы продаж с 2018 года практически ежегодно растут на 30 %, с 2021 года также постоянно увеличивается прибыль. Продукция компании поставляется в Россию, Белоруссию, Казахстан, известна на Тайване, в Индии, в США и Франции. Мы сотрудничаем со множеством предприятий и корпораций, среди них «Норникель», «Лукойл», «Газпром» и «Газпром-нефть», «Евраз», «Алроса», ПО «Маяк», «Мосводоканал», «Санта Бремор», «Казцинк» и другие.

Научно-исследовательский институт инновационных технологий (НИИИТ) был создан в 2013 году как одно из подразделений ГК Остек, однако в 2016 году реорганизован и полностью сосредоточился на тематике газоанализа. Поскольку я пришел в НИИИТ в конце 2018 года, причем сначала на позицию главного специалиста по продажам, о создании компании лучше расскажут те, кто начинал этот проект – совладелец компании, главный инженер Андрей Владимирович Соколов и главный конструктор Илья Владимирович Шахнович.

**А. Соколов:** Компания создавалась по классическому сценарию стартапа. Собрались специалисты в различных направлениях, стремившиеся воплотить свои идеи в серийной продукции. В частности, у меня за более чем 40 лет работы в области газоанализа накопилось немало интересных наработок, которые хотелось превратить в реальные приборы и системы. Мой коллега, известный во всем мире специалист в области газочувствительных сенсоров А.А. Васильев, планировал развить промышленное производство полупроводниковых датчиков на новой технологической базе, с новой конструкцией. С другой стороны, Остек традиционно занимался внедрением новых технологий в сфере электроники, и организация собственного высокотехнологичного производства показалось его владельцам перспективной идеей. В этом наши интересы и пересеклись – все мы хотели создать новый инновационный продукт и построить на его основе эффективный бизнес.

К сожалению, направление сенсоров не удалось развить дальше НИОКР, на что были вполне объективные причины. Вскоре А. Васильев покинул нашу команду, а мы пошли своим путем. Но это не означает, что мы забыли о новых термохимических сенсорах и приборах на их основе. Вполне вероятно, что наше сотрудничество возобновится на качественно новом уровне.

**И. Шахнович:** В 2016 году стало совершенно очевидно, что мир меняется. А перемены – лучшее время для новых проектов. Я тогда искал новую область приложения своих сил, и предложение создать направление

разработок в рамках нового проекта показалось мне очень привлекательным.

Хорошо помню тот азарт, который сопровождал начало проекта. Да и команда была замечательной. Еще ни юридически, ни организационно не существовало новой компании, а мы уже сформировали первые технические задания и приступили к разработке линейки приборов. Осенью 2016 года заработали первые прототипы будущих газоанализаторов «Сенсон». К концу 2016 года сложился облик линейки стационарных газоанализаторов – мы производим их и сегодня.

Очень важно, что мы с самого начала понимали: разработать прибор и даже линейку – лишь малая толика работы. Необходимо сразу продумать производственный процесс, который должен быть максимально простым и по возможности исключать сложные операции. И конструкции приборов должны соответствовать этим требованиям. Необходима разрешительная документация, прежде всего, сертификаты описания типа средств измерений и соответствия требованиям взрывозащиты (Техническому регламенту Таможенного союза 12). Нужна эксплуатационная документация: понятное руководство по эксплуатации, монтажные схемы, 3D-модели оборудования. Не менее важна рекламно-информационная продукция: каталоги, буклеты, баннеры и пр. Необходима техническая поддержка пользователей, система продаж и маркетинга, дилерская сеть и т. д. Все это мы планировали изначально и планомерно создавали. И результат не заставил себя ждать – в 2017 году начались первые поставки газоанализаторов «Сенсон», а в 2020 году объем продаж превысил 100 млн руб.

**Обычно стартап базируется на новых идеях, ноу-хау. В чем была новизна ваших решений, их конкурентные преимущества?**

**А. Соколов:** Действительно, рынок промышленного газоанализа весьма конкурентен и относительно невелик. В 2016 году на нем активно работали и российские, и белорусские, и ведущие западные компании, такие как Honeywell, Draeger, MSA, Oldham и др. Нового игрока никто не ждал. Но благодаря десятилетиям опыта мы хо-

рошо понимали сильные и слабые стороны конкурентов. У нас было преимущество догоняющего, и мы им воспользовались в полной мере.

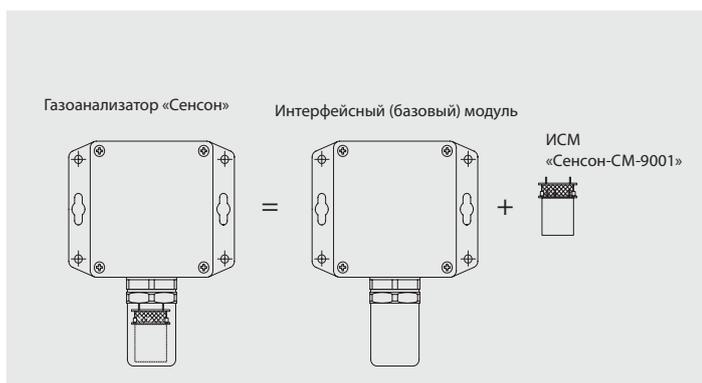
Прежде всего, существенная доля затрат на газоаналитические приборы приходится на их обслуживание. В соответствии с Федеральным законом об обеспечении единства измерений, газоанализаторы подлежат периодической поверке, причем межповерочный интервал всего лишь год. Что это означает на практике: газоанализатор необходимо демонтировать и отправить в сертифицированный центр для поверки. Затем приборы нужно снова установить и подключить. Конечно, возможен и визит поверителя на объект, но градуировка и поверка в полевых условиях – задача непростая и недешевая. Пока прибор поверяют, его нужно чем-то заменить, т. е. необходим подменный фонд. Процедура демонтажа-монтажа отвлекает немалые ресурсы, особенно если приборы установлены в труднодоступных местах, в активных средах. Тут нужны квалифицированные специалисты. Недаром говорят, что за время жизни прибора пользователь шестикратно оплачивает его начальную стоимость. Как снизить эти расходы?

Мы предложили даже не новую идею, а новую идеологию: разделить прибор на две части – измерительную и базовую. Измерительная часть занимается управлением сенсором, обработкой первичных сигналов и формированием результатов измерений. Она является средством измерений, подлежит градуировке и поверке. Базовая часть обеспечивает конструктивную оболочку, электропитание, коммутацию, интерфейсы передачи данных, индикацию, управление исполнительными устройствами. Она не влияет на процесс измерений. Нам удалось выполнить измерительную часть в виде компактных унифицированных устройств – интеллектуальных сенсорных модулей (ИСМ).

Конечно, подобные решения есть у многих ведущих производителей, но они сделаны строго под их оборудование, с закрытыми протоколами обмена. Мы пошли дальше, создав ИСМ с открытым протоколом, и сертифицировали их как полноценные газоанализаторы «Сенсон-СМ-9001». Именно они положены в основу практически всей линейки газоанализаторов «Сенсон». Такой подход позволил быстро создавать новые приборы, строить системы под задачи заказчиков, снижать эксплуатационные затраты. И рынок быстро оценил достоинства ИСМ.

**И. Шахнович:** Что принципиально, мы изначально создавали не единичные устройства, а именно линейку приборов. Это позволяло наиболее точно и оптимально с точки зрения стоимости решать аналитические задачи наших заказчиков. По сути, мы получили набор решений под целевые рынки: для нефтегазовой отрасли, металлургии, пищевой промышленности, сельскохозяйственных предприятий и пр. Ведь газоанализаторы нужны везде, но специфика у всех своя.

Но как быстро, с нуля, создать даже не один прибор, а целую линейку? Не менее четырех различных физико-



Принцип модульной архитектуры газоанализаторов «Сенсон» на основе интеллектуальных сенсорных модулей «Сенсон-СМ-9001»

химических методов анализа, два вида взрывозащиты, шесть конструкций корпуса – таковы были начальные требования. Тут в полной мере помогла концепция модульных систем, а в ее основе лежала идея разделения устройства на интерфейсные (базовые) модули и ИСМ. Одна часть не зависела от другой, что существенно упрощало и разработку, и отладку. Важно, что модульный подход мы использовали не только в аппаратной, но и в программной части приборов. Кроме того, мы широко применяли принцип унификации. Пусть конструктив различный, но схемотехнические решения, набор комплектующих – общие. Все это ускорило создание новых устройств.

**Но ведь концепцию ИСМ так или иначе использовали и другие производители. В чем ваша особенность?**

**И. Шахнович:** Мы с самого начала стремились сделать ИСМ в виде законченного и сертифицированного решения. Соответственно, ориентировались на открытый интерфейс этого устройства. Прежде всего, мы разработали унифицированный электромеханический коннектор, обеспечивающий простую и надежную установку сенсорного модуля в базовую конструкцию. Эта операция не требует каких-либо инструментов и в ряде случаев может выполняться даже без отключения электропитания, в полевых условиях, на морозе – настолько все просто. Ни в одном решении конкурентов ничего подобного нет.

Кроме того, мы разработали систему команд и открытый символьный протокол передачи данных по каналу UART. На ИСМ достаточно подать электропитание 3,3 В и подключить модуль к компьютеру с любой терминальной программой посредством преобразователя UART-USB. Для каждого типа сенсоров была разработана своя система управления и обработки. В результате можно использовать сенсоры практически любых производителей, шесть различных методов анализа: электрохимический, термокаталитический, полупроводниковый, недисперсионный оптический, термокондуктометрический, фотоионизационный. Но для пользователя со стороны интерфейса все ИСМ выглядят одинаково. Наконец, мы сертифицировали ИСМ как газоанализаторы «Сенсон-СМ-9001», им присвоен тип средств измерений, их можно использовать как самостоятельный продукт.

**Возникали ли трудности при разработке самой линейки газоанализаторов «Сенсон»?**

**И. Шахнович:** Газоанализаторы для промышленного применения – это изделия, которые должны соответствовать серьезным требованиям: широкий температурный диапазон, взрывозащищенное исполнение, обязательное наличие интерфейсов «Токовая петля 4-20 мА» и RS-485 и пр. Посмотреть со стороны – вроде бы простые устройства. Но ряд моментов создавал сложности. Первый – обеспечение взрывозащиты. Тут ведь неизбежно противоречие – любая защита увели-



Установка ИСМ в интерфейсные модули столь проста, что даже маникюр не страдает

чивает себестоимость и ухудшает эксплуатационные характеристики. А пользователь оценивает прибор именно по этим параметрам. Например, в случае взрывозащиты вида «искробезопасная цепь» устройства должны подключаться к линии электропитания через барьер искрозащиты. В простейшем случае это токоограничивающий резистор и стабилитрон. Но такое линейное ограничение тока существенно сокращает возможную длину кабеля. Как быть? Пришлось раз-

### Газоанализатор «Сенсон-СД-7031»



- корпус из нержавеющей стали, ударопрочный, коррозионно-стойкий
- внутренний объем заполнен компаундом
- взрывозащита 1Ex d IIC T6 Gb X, OEx ia IIC T6 Ga, PO Ex ia I Ma
- температурный диапазон от -60 до +50 °С
- интерфейсы: аналоговый – «Токовая петля 4-20 мА», цифровой – RS-485 (MODBUS RTU)

### Газоанализатор «Сенсон-СВ-5031»



- корпус из нержавеющей стали или алюминиевого сплава
- взрывозащита 1Ex db [ia Ga] IIC T6 Gb; PO Ex ia I Ma; OEx ia IIC T6 Ga
- температурный диапазон от -60 до +50 °С
- интерфейсы: аналоговый – «Токовая петля 4-20 мА», цифровой – HART и RS-485 (MODBUS RTU)
- индикатор концентрации целевого газа
- светодиодные индикаторы наличия электропитания и неисправности
- светодиодные индикаторы превышения порогов загазованности
- управление посредством магнитного ключа
- три электронных ключа для управления внешними устройствами
- исполнение с мощными встроенными электромеханическими реле
- возможность подключения светозвукосигнального устройства
- разъем для подключения HART-коммуникатора в опасной зоне

рабатывать и сертифицировать собственные активные барьеры искрозащиты с существенно нелинейной ВАХ. И таких нюансов было немало.

Непривычной оказалось и необходимость размещать электронные модули в открытой среде. Обычно электронные схемы защищают, прячут в герметизированных корпусах. Здесь же часть узлов должна выдерживать самые жесткие, агрессивные химические и механические воздействия. Пришлось серьезно поработать над конструкцией.

Наконец, приборы должны быть удобны и просты в эксплуатации. В корпусе объем ограничен, а сечения жил кабелей могут доходить до 2,5 мм<sup>2</sup>. Как обеспечить их удобный монтаж? Этому мы уделили немало внимания, моделировали различные варианты расположения разъемов и в итоге пришли к достаточно удобным конструкциям.

Что очень важно, мы постоянно помнили о технологичности. Сформулировали непреложные требования: никакой пайки при сборке, неквалифицированный работник должен собирать прибор не дольше 10-15 минут, все настройки и регулировки – только программные, печатные платы – не сложнее 3 класса, только двухсторонние. И идею удалось воплотить.

**А. Соколов:** Уже в 2017 году линейка стационарных газоанализаторов была в основном сформирована. Примечательно, что мы практически сразу же начали создавать различное вспомогательное оборудование – барьеры искрозащиты, затем – контроллеры цифровых и аналоговых каналов. Эта номенклатура постоянно расширяется. Появился газоанализатор Сенсон-СВ-5031 с поддержкой протокола HART. Затем автономные стационарные газоанализаторы. Есть решения с различными беспроводными каналами передачи данных, от GPRS и NBIoT до систем «точка-точка» на основе различных технологий. Мы разработали универсальный многоканальный переносной прибор с принудительным пробоотбором «Сенсон-М». Сейчас приступаем к серийному производству нового многоканального индивидуального прибора с беспроводными интерфейсами «Сенсон-В-4000». И перспектив развития столько, что горизонт едва просматривается.

### Получается, заложенные в основу стартапа идеи сработали?

**А. Антонов:** В полной мере. Всю сознательную жизнь я работал в компаниях, которые занимаются разработкой и производством оборудования, в основном измерительного. Есть с чем сравнить. И могу уверенно сказать, что «Сенсон-СМ-9001» меняет сам подход к построению и эксплуатации газоанализаторов, сохраняя, однако, внешнее сходство с традиционными решениями. В случае наших газоаналитических систем на основе «Сенсон-СМ-9001» поверке подлежит только сам ИСМ. Для его замены достаточно открутить защитную крышку и извлечь ИСМ из коннектора. На его место можно сразу вставить другой, закрутить крышку (просто рукой) – и прибор снова готов к работе. Стоимость подменного фонда ИСМ

и затраты на их замену несопоставимы с аналогичными затратами в случае традиционных газоанализаторов.

Кроме того, «Сенсон-СМ-9001» открывает широкие возможности для унификации оборудования, а значит и для снижения его цены. ИСМ позволяет оптимально подобрать тип газочувствительного элемента в зависимости от задачи заказчика. Например, для анализа концентрации метана можно предложить оптические, термокаталитические, полупроводниковые газочувствительные элементы, причем различных производителей.

Более того, модульный принцип позволяет быстро реконфигурировать уже развернутую систему газового мониторинга.

**И. Шахнович:** Модульный принцип оказался очень эффективным и с точки зрения производства. Мы можем оперативно изменять, расширять и модернизировать линейку газоанализаторов. Модульная конструкция существенно снижает сроки производства. Прибор по спецификации заказчика собирается как конструктор из имеющихся на складе блоков, основное время, по существу, занимают процедуры градуировки и поверки. Пока не начались проблемы с поставками материалов и компонентов, мы могли гарантировать и выдерживать срок в 15 рабочих дней от поставки до отгрузки.

**Иван Сергеевич, до прихода в НИИИТ вы работали в компании Draeger – в одном из мировых лидеров газоаналитического приборостроения. Какими вы увидели газоанализаторы «Сенсон» по сравнению с продукцией этого гиганта?**

**И. Семькин:** Действительно, я более пяти лет проработал в российском представительстве компании Draeger. Придя в НИИИТ почти пять лет назад, я полагал, что главное достоинство газоанализаторов российского производителя в том, что они российские. В 2018 году стратегия импортозамещения начинала работать, со стороны заказчиков все чаще поступали запросы именно на отечественную продукцию. В НИИИТ же действительно были полностью собственное производство и разработка, что есть далеко не во всех компаниях, называющих себя отечественными.

Однако меня приятно удивила достаточно широкая номенклатура продукции, наличие линеек вспомогательного оборудования. Конечно, я не мог не сравнивать ее с решениями Draeger. Ведь приборы этого флагмана мирового рынка газоанализа – некий идеал, начиная от промышленного дизайна и заканчивая метрологией. Понятно, что по совокупности параметров Draeger сильнее НИИИТ. Но я увидел, что продукция НИИИТ вполне достаточна для решения практически любой задачи заказчика, а некоторые особенности делают ее даже более привлекательной, чем решения ведущих зарубежных конкурентов.

В частности, обращала на себя внимание простота приборов. А ведь это является залогом их надежности. Как-то на производстве образовался дефицит рабо-

### Газоанализатор «Сенсон-СВ-5022»



- корпус из пластика, коррозионно-стойкий
- взрывозащита IEx ia d IIC T4 Gb X
- температурный диапазон от -30 до +50 °С
- интерфейсы: аналоговый – «Токовая петля 4-20 мА», цифровой – RS-485 (MODBUS RTU)
- индикатор концентрации целевого газа
- светодиодные индикаторы наличия электропитания и неисправности
- светодиодные индикаторы превышения порогов загазованности
- три электронных ключа для управления внешними устройствами
- звуковое сигнальное устройство
- управление с помощью встроенной клавиатуры

чих рук, я решил попробовать себя в роли сборщика. Обучения практически не понадобилось, сборка не составила вообще никакого труда. Она действительно занимала минуты, настолько все технологично. Это – огромный плюс, даже перед Draeger. Более того, за все время работы в компании Draeger к внутренностям приборов нас никто не допускал. В НИИИТ же любой специалист по продажам знакомится с конструкцией, принципами работы и монтажа – все удобно и доступно. Конечно, за этой простотой стоит огромный труд разработчиков.

Кроме того, было хорошо заметно, что НИИИТ – это действительно клиентоориентированная компания. Ее специалисты готовы разбираться с каждым нестандартным запросом, глубоко вникать в задачи клиентов. В целом, в НИИИТ был продукт, который можно было успешно продавать и развивать.

**Как вы сумели остаться в прибыли, несмотря на общий рост цен на все материалы и комплектующие?**

**И. Семькин:** В ноябре 2021 года я принял предложение учредителей занять пост генерального директора ООО «НИИИТ». Компания находилась в глубочайшем финансовом кризисе, прибыль была отрицательной.

## Газоанализатор «Сенсон-В-4000»

Индивидуальный многоканальный газоанализатор с автономным питанием



- до 5 каналов измерений
- нет проводных интерфейсов: беспроводная зарядка и передача данных
- уровень пылевлагозащиты IP68
- взрывозащита PO Ex ia I Ma X; OEx ia IIC T4 Ga X; IEx da ia IIC T4 Gb X
- поддержка Bluetooth, WiFi
- поддержка LoRAWAN (опция)
- ГНСС GPS и ГЛОНАСС (опция)
- графический цветной дисплей
- индикация температуры, давления и относительной влажности воздуха
- автоматическое изменение яркости дисплея
- поворот изображения на 180° в зависимости от положения
- время непрерывной работы без подзарядки – не менее 20 ч

## Газоанализатор «Сенсон-М»



- встроенный принудительный пробоотбор
- комплект пробоотборных зондов
- до 8 каналов измерения
- до 4 порогов на один канал измерения
- графический OLED-дисплей с изменяемой яркостью
- подключение к компьютеру через USB-разъем
- встроенная энергонезависимая память, не менее 64 тыс. измеренных значений
- взрывозащита POEx ia I Ma X / OEx da ia IIC T6 Ga X
- время непрерывной работы без подзарядки до 22 ч
- температурный диапазон от -30 до +50 °C
- уровень пылевлагозащиты IP66/IP67
- возможно стационарное исполнение, с питанием от линии 24 В и передачей данных по каналу RS-485 (MODBUS RTU)

По образованию я специалист в области экономики и финансов. Поэтому удалось быстро определить одну из основных причин сложившейся ситуации – отсутствие внятной бюджетной политики и нормального финансового управления. Фактически с нуля была выстроена работа с финансами. Мы провели реструктуризацию обязательств перед собственниками, переделку бюджетов, планов развития. Результаты не заставили себя ждать. Несмотря на все сложности в 2021 году компания впервые продемонстрировала положительную прибыль.

**И. Шахнович:** Когда в 2020 году на фоне пандемии начался глобальный кризис на мировом рынке электронных компонентов, сроки поставки материалов и комплектующих превысили 50 недель, цены на них взлетели от 100 % до 100 раз. А с 2022 года эти проблемы усугубились. Естественно, требовалось подбирать замены, в основном ориентируясь на поставщиков из КНР. Ситуацию усложнял тот факт, что полных аналогов многих элементов не было, а у прямых, казалось бы, аналогов обязательно обнаруживались нюансы, порой недокументированные. Часть элементов вообще не имела аналогов, требовалось радикально пересмотреть схемотехнику и даже конструкцию. И тут нам существенно помогли архитектурные особенности приборов. Модульный подход, концепция ИСМ позволили поэтапно изменять элементную базу модулей, проводить их отладку и испытания, не переделывая весь прибор. Мы смогли фактически за год перевести продукцию на новую элементную базу, выполнив необходимые испытания. При этом производство не останавливалось ни на день.

**А. Антонов:** Придя в компанию в 2021 году, я сразу увидел проблему с ценообразованием. Стоимость материалов и комплектующих летела в космос, а продажные цены оставались неизменными. Проблему нужно было срочно решать. При поддержке нового генерального директора и участии специалистов компании мы пересчитали себестоимость, пересмотрели механизм ценообразования. В итоге сегодня мы продаем оборудование по адекватным ценам, и объемы продаж растут. В немалой степени этому способствует тот факт, что все наше оборудование – полностью российской разработки и производства. И разумеется, огромную роль играет высокое качество самих приборов.

**Что является критерием качества, как вы его измеряете?**

**А. Антонов:** Оценить качество приборов проще всего по числу рекламаций, гарантийных ремонтов. Это вполне объективный показатель, ведь никто не будет держать у себя неработающий прибор. У нас число возвратов крайне низко, а гарантийных случаев совсем мало. И связаны они в основном с качеством сенсоров. В итоге, проанализировав статистику, мы в этом году даже увеличили гарантийный срок до двух лет без каких-либо дополнительных издержек.

Второй показатель качества – отзывы наших заказчиков. Во многих случаях с нами заключают договоры поставки только после опытно-промышленных испытаний. Причем в сравнении с решениями конкурентов. Некачественный газоанализатор такие испытания просто не пройдет. Некоторые заказчики приобретают наше оборудование из года в год пять и более лет. Это ли не подтверждение качества?

**Понятие качества затрагивает не только приборы, но и все процессы, происходящие в компании. Как вы их оцениваете?**

**А. Антонов:** Действительно, качество работы компании оценивается с первого звонка клиента. Он позвонил спросить, и если мы внятно ответили, доходчиво рассказали о своей продукции, у него появляется интерес. Далее – договорной процесс, согласование условий и сроков поставки. И в итоге формируется коммерческое предложение, выставляется счет. Приняли заказ, изготовили качественную продукцию, в срок отгрузили, причем правильно – в качественной упаковке, с надежной транспортной компанией. После отгрузки мы не забываем о наших клиентах. Обеспечиваем техническое сопровождение – консультации по пусконаладочным работам, по настройке и т.п., обязательно интересуемся работой оборудования, возникающими проблемами. И на каждом этапе клиент должен быть удовлетворен качеством общения с нашими специалистами. Все эти процессы охвачены системой контроля качества, действующей в компании.

Разумеется, для качественной работы необходимы высокопрофессиональные сотрудники. Мы постоянно развиваем профессиональный уровень наших продавцов, специалистов технической поддержки. Они обязательно проходят обучение, изучают и технические особенности приборов, и специальные требования к оборудованию, и правила взаимодействия с заказчиками. Ведь когда специалист квалифицирован, заказчику общаться с ним гораздо интереснее.

Критерий качества оборудования относится и к его разрешительной документации. До недавнего времени выводу газоанализаторов «Сенсон» на ряд новых рынков мешали определенные недоработки в описании типа средств измерений. Мы сформулировали новые требования, прошли процедуру сертификации и недавно получили обновленное описание типа средств измерений. Теперь перед нами открылись новые возможности.

**И. Семькин:** В конечном итоге, критерием качества продукции и услуг компании служит объем реализованной продукции. Он постоянно растет. Более специальный критерий – степень конверсии входящих запросов в реальные продажи. Сейчас у нас конверсия около 30 % и она увеличивается, мы стремимся по меньшей мере удвоить этот показатель.

### Контроллер цифровых сигналов «Сенсон К-64Ц»



- до 64 подключаемых датчиков
- до 245 подключаемых сетевых реле «Сенсон Р-02Ц»
- возможность объединения до 245 контроллеров в единую сеть
- три гальванически развязанных сети RS-485: отдельно для датчиков, для исполнительных устройств (реле) и для подключения к управляющему внешнему компьютеру
- 16 встроенных оптических ключей типа «сухой контакт»
- световая и звуковая сигнализация
- ЖК-дисплей
- журналы событий с хранением в энергонезависимой памяти
- внешнее информационное табло состояния 64 датчиков
- прикладное программное обеспечение «Сенсон Монитор» для конфигурирования и мониторинга сети газоанализаторов

Еще один важнейший показатель качества работы, причем всей компании, – число повторных продаж. Оно также постоянно растет. Многие заказчики, с которыми мы начинали работать еще в 2017 году, только наращивают объемы закупок.

**Как организовано само производство газоанализаторов «Сенсон»?**

**Д. Рябин:** Производство промышленного газоаналитического оборудования обладает рядом специфических особенностей. По российским меркам мы заняты средними сериями, ежемесячно выпуская сотни газоанализаторов, не говоря про вспомогательное оборудование. Но при этом наше производство весьма многономенклатурное. Только базовых моделей газоанализаторов у нас свыше десятка. А с учетом двух десятков измеряемых соединений, в нескольких диапазонах, разнообразие огромно. Налицо противоречие. С одной стороны, объемы и сроки серийного производства, с другой – каждый заказ индивидуален. А производство не терпит нестабильности, оно должно быть ритмичным и предсказуемым.

Тут в полной мере проявляется достоинство модульной архитектуры наших приборов – и одноканальных, и многоканальных. Каждый из них состоит из двух частей. Базовая часть – интерфейсные модули – не зави-



Сборочный участок

сит от измеряемого газа. Конструкция ИСМ, напротив, полностью определяется целевым соединением. В случае многоканальных приборов принцип тот же – есть базовый модуль и несколько подключаемых к нему ИСМ. Таким образом, мы можем разделить производство на несколько этапов. Заранее крупными партиями изготавливаем базовые модули. Аналогично запасаем ИСМ, но без сенсоров. Когда поступает заказ с конкретной спецификацией, устанавливаем в сенсорный модуль нужный сенсор, калибруем его, берем со склада интерфейсный модуль, вставляем в него ИСМ, с помощью специальной программы прописываем заводские настройки, наклеиваем этикетку с названием целевого соединения – и прибор готов. Далее следует выходной контроль, передача на поверку, финальный контроль, упаковка и отгрузка. Сам процесс сборки при таком подходе занимает около 10 минут, время тратится в основном на калибровку и поверку. У нас фактически даже нет склада готовой продукции, потому что прошедшие поверку приборы в течение суток отправляются заказчикам.

#### Вы все операции выполняете сами?

**Д. Рябин:** Мы в полной мере реализуем современный подход к организации производства – все ключевые операции выполняем самостоятельно, часть рутинных задач поручаем контрактным производителям. В частности, сборку электронных модулей и изготовление механических узлов, токарные и литьевые операции, окраску корпусов доверяем нашим партнерам. Именно такой подход гарантирует высокое качество продукции, когда все операции выполняются на совершенном оборудовании, с применением самых передовых технологий контроля.

В частности, монтаж электронных узлов по нашим заказам выполняют контрактные производители. Мы обращаемся к лучшим из них, они оснащены всем комплексом современного оборудования. Поэтому мы уверены, что электронные модули собраны высокими профессионалами с соблюдением всех технологических требований. Платы проходят несколько стадий контроля: от автоматического контроля нанесения паяльной пасты и автоматической оптической инспекции до выборочного рентгеновского, а зачастую еще и функционального контроля. Разумеется, мы тщательно следим за работой партнеров, посещаем их предприятия, постоянно согласуем требования к системе контроля качества продукции.

Получая смонтированные платы от изготовителя, мы записываем в них встроенное программное обеспечение. Часть плат подвергается выборочным функциональным испытаниям. В случае выявления проблем контроль становится тотальным, модули возвращаются на доработку, мы вместе с поставщиком тщательно разбираемся в ситуации.

Крупные заказы на механическую обработку, пластиковое литье, покраску также размещаем у проверенных партнеров. У нас есть собственный механический участок, оснащенный, в том числе фрезерным станком с ЧПУ. Но в основном мы используем его для опытных работ, а также для ряда операций по изготовлению простых деталей и механической обработки корпусов.

Само производство у нас преимущественно сборочное. Основное время рабочие заняты изготовлением отдельных узлов и сборкой из них базовых модулей. Конструкция приборов почти не требует пайки. Это существенно упрощает и ускоряет процесс, исключает ошибки монтажа, снижает требования к квалификации работников. Некоторые несложные операции пайки, в основном монтаж простых кабелей, мы иногда выполняем сами. Пожалуй, самая трудоемкая операция – герметизация ряда узлов компаундом, она выполняется сразу для крупной партии. Таким образом, мы обеспечиваем равномерную загрузку и ритмичность работы производства, что не только удобно всем работникам, но и снижает вероятность ошибок. У нас практически не бывает авралов, хотя объем заказов от месяца к месяцу плавает.

Сам процесс сборки прибора по спецификации заказчика в большинстве случаев занимает минуты и, по сути, сводится к установке ИСМ в готовый базовый модуль, закручиванию четырех винтов и защитных крышек, а также наклеиванию этикеток. Основное время тратится на участке калибровки.

### Расскажите о нем подробнее.

**Д. Рябин:** Метрологическая лаборатория играет ключевую роль в процессе производства. Именно здесь калибруются сенсорные модули, т. е. обеспечивается основная функция всех наших приборов. Лаборатория оснащена всем необходимым контрольно-измерительным оборудованием, генераторами чистого воздуха и газовых смесей, камерой тепла и холода, вытяжными шкафами и пр. Постоянно поддерживается необходимый запас баллонов с поверочными газовыми смесями,



Механическая обработка корпусов на фрезерном станке

а также запас источников микропотоков для генераторов газовых смесей.

Сама калибровка выполняется на специальных многоканальных стендах, позволяющих сократить межоперационные затраты и ускорить градуировку однотипных сенсорных модулей. Мы используем специальную программную утилиту, позволяющую записать все заводские настройки и калибровочные константы. Важно отметить, что все процедуры настройки проводятся только программно, по цифровому интерфейсу.

Работа с сенсорами, пожалуй, самое ответственное и трудоемкое место производства. Это капризные элементы, требующие предварительных испытаний и отбраковки. Причем неважно, отечественного они производства или зарубежного. В зависимости от типа новые сенсоры могут выходить на рабочий режим от часов до нескольких недель. Поэтому у нас все сенсоры проходят длительный прогон с периодическими градуировками. Используем специальные стенды на сотни каналов, поэтому всегда есть запас готовых к калибровке сенсоров. Поскольку именно от сенсоров зависит



Готовые интерфейсные модули на складе





Сборка газоанализаторов «Сенсон-СВ-5023»

качество работы приборов, мы постоянно проводим их испытания, анализируем альтернативные варианты, ищем новых поставщиков.

В целом, при наличии комплектующих на складе, производство готово отгружать заказы в очень сжатые сроки – до 10 рабочих дней с учетом поверки. Проблема лишь в сроках поставки комплектующих, которые до сих пор слишком велики. Тем не менее, сегодня мы гарантируем отгрузки в течение 20-30 рабочих дней с момента поступления заказа, что для текущего положения на рынке очень хороший показатель.

#### **Как при достаточно массовом, но многономенклатурном производстве удается вести учет заказов и обеспечивать прослеживаемость продукции?**

**Д. Рябин:** Действительно, это очень сложный процесс. В компании внедрена ERP-система, обеспечивающая управление всем процессом производства: от формирования заказов до учета складских запасов и контроля отгрузок. Система должна учитывать требования и налогового, и бухгалтерского, и складского учета. И охватывает она фактически все структуры компании: от отдела продаж до производства, отдела закупок и бухгалтерии. Специалисту по продажам достаточно сформировать заказ и сделать отметку о передаче его в производство, а дальше все происходит почти автоматически. Генерируются ресурсные спецификации, отчеты о производстве, паспорта приборов, накладные и пр. Контролируются остатки комплектующих на складах, формируются

требования на закупку. Мы постоянно совершенствуем нашу систему ERP, добавляем новые возможности, и это ощутимо упрощает все процедуры управления, планирования и учета. Автоматизация не только экономит ресурсы – она исключает многие ошибки, что непосредственно влияет на качество продукции. Особенно в периоды нестабильности.

Прослеживаемость – не менее важный процесс. Каждому модулю присваивается серийный номер, мы можем отследить всю его историю: где и когда изготовлен, в какой прибор установлен, когда и кем поверен, кому отгружен, были ли рекламации и ремонты, какова история гарантийного обслуживания, когда возвращался на калибровку и периодическую поверку. Это важно и для сервисной службы, и для учета статистики неисправностей. Система прослеживаемости позволяет вовремя отследить системные ошибки. Например, если какой-то компонент оказался неисправным, можно быстро понять, единичный это случай или бракована вся партия. И предпринять упреждающие меры, чтобы такая продукция ни в коем случае не попала к заказчикам.

В целом же задача автоматизации производства, да и всех бизнес-процессов компании никогда не может быть на 100 % решена. Ведь предприятие развивается, и вместе с ним должна развиваться система ERP. Чем мы и занимаемся.

#### **Насколько масштабируемо ваше производство?**

**Д. Рябин:** В очень широком диапазоне. На существующих площадях возможно увеличение объемов



В метрологической лаборатории



Запись заводских настроек в новый прибор



Участок калибровки. Видны многоканальные стенды градуировки

в 8-10 раз. Далее потребуется изменить организацию ряда процессов. Но все они понятны, и когда возникнет потребность, мы просто решим данную задачу.

**Есть ли примеры, явно показывающие достоинства газоанализаторов «Сенсон», компании в целом?**

**И. Шахнович:** Начну с самой конструкции. Один из наших первых заказчиков использовал газоанализаторы «Сенсон-СД-7031» на азрационных полях. Среда там крайне агрессивная, концентрации метана и сероводорода зашкаливают, высокая влажность, коррозия съедает все незащищенные соединения за недели. Мы передали первые образцы в 2017 году. Они проработали лишь три месяца, я еще подумал – все, потеряли заказчика. Но оказалось, это абсолютно рекордный показатель, никакие другие газоанализаторы так долго в тех условиях не живут. По результатам испытаний мы модифицировали конструкцию, и теперь наши приборы в тех же условиях работают год и более, заказчик приобретает их до сих пор.

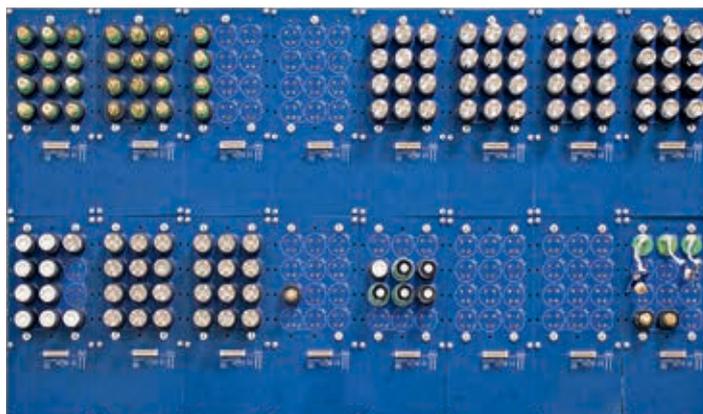
Был случай, когда на корпус газоанализатора Сенсон-СД-7031 наехала какая-то техника. Торец 36-мм трубы из нержавеющей стали с толщиной стенки 2 мм оказался промятым на полдиаметра. Но это никак не сказалось на работоспособности.

**А. Соколов:** Достоинства ИСМ ярко проявляются, как правило, в нестандартных ситуациях. Однажды проектно-монтажная организация разместила у нас заказ на несколько десятков газоанализаторов с оптическими сенсорами на сумму летучих углеводородов. Разумеется, назначение не указали. Система была развернута и работала, все радовались до тех пор, пока конечный заказчик не решил ее проверить. И тут выяснилось, что предназначалась она для анализа проливов растворителей в лакокрасочном цехе. Эти растворители – вещества малолетучие, хотя крайне токсичные и сильно пахнущие. Естественно, калиброванные по пропану и гексану сенсоры на них никак не реаги-

вали. Нам проще всего было развести руками – что заказывали, то и получили. Но поскольку смысл деятельности НИИИТ – это решение технической проблемы заказчика, мы стали искать выход. Нужно было анализировать существенно более низкие концентрации летучих углеводородов – на уровне 50-100 ppm. После ряда экспериментов удалось применить полупроводниковые сенсоры. Тут в полной мере проявились достоинства ИСМ: мы приехали на объект с новым комплектом поверенных сенсорных модулей и за пару часов, по сути, реконфигурировали всю систему. В противном случае демонтаж/монтаж занял бы, наверное, неделю. Не говоря о том, что альтернативные решения обошлись бы как минимум на порядок дороже.

К сожалению, такой пример не единичен. Это говорит о важности предварительных консультаций заказчиков с нашими специалистами. Если заранее знать все требования и нюансы условий эксплуатации, многих проблем можно избежать.

**И. Семькин:** Помню, когда неожиданно для меня проявилось яркое достоинство нашего оборудования – дешевый полупроводниковый сенсор в реализации «Сенсон» заменил фотоионизационный детектор (ФИД). Был объявлен крупный тендер на постановку



Стенд предварительного прогона

переносных газоанализаторов на низкие концентрации углеводородов. Заказчик традиционно использовал приборы на основе ФИД. Это высокочувствительные, но достаточно дорогие сенсоры. Мы предложили свое решение на основе полупроводниковых сенсоров, выиграли тендер и успешно отгрузили продукцию.

**А. Антонов:** Обращу внимание на два проекта, где проявилась наша готовность глубоко вникать в задачу заказчика, предлагать оптимальные варианты решения. Первый выполнялся в интересах Производственного объединения «Киришинефтеоргсинтез» (ООО «КИНЕФ»). Это классический пример проектного подхода. Прошли первые встречи, переговоры, подбор оборудования. Мы передали газоанализаторы на опытно-промышленную эксплуатацию, где они испытывались в сравнении с приборами других поставщиков. Наши приборы хорошо себя зарекомендовали, их начали закладывать в проекты и теперь регулярно закупают.

Второй пример. Кольской горно-металлургической компании (АО «Кольская ГМК») срочно требовались газоанализаторы, причем, как водится, под Новый год. И никто не брался поставить приборы в сжатые сроки. Мы выполнили их заказ. Наша продукция хорошо себя зарекомендовала, и теперь сотрудничество активно развивается.

**А. Соколов:** Отмечу нестандартный проект по контролю несанкционированных сбросов в городскую канализационную сеть и в ливневую канализацию. Традиционный подход предполагает либо периодические заборы проб для лабораторных исследований, либо непрерывный анализ сточных вод посредством погружных спектрометров. Первый подход не оперативен, второй достаточно дорог. Мы предложили анализ стоков методами газоанализа. Задача сложная, ведь необходимо измерять концентрации углеводородов на уровне 50 ppm в очень жестких условиях. Это и высокая влажность, и агрессивные среды, и большой

диапазон температур. Потребовалась определенная экспериментальная работа, но испытания на реальных объектах завершились успешно, система будет внедряться в ряде городов страны.

**Как вы видите дальнейшее развитие компании? Какой она должна стать через пять лет?**

**И. Семькин:** Известно, что на рынке газоаналитического оборудования компания может чувствовать себя устойчиво при обороте не менее 500 млн рублей в год. Соответственно, это наш ориентир на пять лет при сохранении показателей прибыльности на текущем уровне. Мы должны войти как минимум в ТОП-5 российских производителей газоаналитического оборудования. Разумеется, для достижения такого результата необходим рост численности персонала, по крайней мере, до 50 человек – т. е. предстоит создать 20-30 новых рабочих мест.

В плане продуктовых линеек мы предполагаем развиваться и вверх, и вширь. Вертикальное развитие подразумевает переход от поставки отдельных приборов к комплексированным системам, к решению задач аэрогазового контроля «под ключ», к проектной деятельности. Мы намерены расширять сегмент услуг вплоть до открытия собственной поверочной лаборатории и организации пусконаладочных работ.

Конечно, мы продолжим развивать свои газоаналитические приборы. Уже сейчас прорабатываем и варианты анализа сверхнизких концентраций на уровне ПДК жилых зон, и технологическое оборудование. Возможно, обратимся к сегменту бытовых приборов.

Кроме того, мы рассматриваем и направления горизонтального развития, диверсификации деятельности компании. У нас уже сейчас достаточно обширная клиентская база, а через пять лет она вырастет многократно. Нашим клиентам нужны не только газоанализаторы, а нам по силам и другие задачи в области промышленной автоматизации. Грех не воспользоваться такими возможностями.



Выходной контроль газоанализаторов «Сенсон»



**А. Антонов:** Через пять лет компания должна заниматься проектными, подчеркну, продажами не менее чем в 70 % отраслей промышленности страны. Без этого результатов не достичь. Из них наиболее важные: нефтегазовая отрасль, горнодобывающая промышленность, металлургия, ТЭК, фармацевтика, агропромышленный комплекс, химическая промышленность, морские и речные суда, ЖКХ, строительство и т. д. Мы уже сегодня присутствуем почти во всех отраслях промышленности, но зачастую лишь точечно. Такое положение нужно исправлять.

Разумеется, через пять лет мы должны предоставлять комплексные услуги, охватывающие все стадии жизненного цикла прибора: от предпроектной подготовки до проектирования, оснащения, технического и метрологического обслуживания систем. В плане аппаратуры необходим переход к поставкам комплексных систем. Возможно, придется развивать и другие направления. Хотим мы того или не хотим, но рынок заставит. А мы хотим.

**А. Соколов:** Важно понимать, что мы работаем в области химического анализа. А здесь огромную роль играет не только, а порой и не столько само средство измерения, сколько методика анализа. Один и тот же прибор может показать и неудовлетворительный, и превосходный результат, весь вопрос в том, как его использовать. Поэтому одним из направлений станет развитие методик проведения измерений. Это откроет много новых возможностей, позволит выйти на новые рынки. Разумеется, мы и сейчас проводим подобные работы, но их нужно ставить на системную основу.

Не менее важно развивать направление сенсорики. Речь идет даже не о разработке новых сенсоров, а о создании новых алгоритмов работы с ними. Это огромная малоисследованная область, сулящая очень привлекательные результаты. Она требует тесного сотрудничества ученых, технологов, разработчиков электроники. Определенный опыт подобных работ у нас есть, его нужно развивать.

**И. Шахнович:** Поскольку номенклатуру продукции пришлось наращивать очень быстро, но при ограниченных ресурсах, многие направления у нас представлены в зародышевом состоянии. Мы всегда создавали не столько отдельный прибор, сколько платформу с большим потенциалом развития. Однако довести до полноценной линейки успели только стационарные приборы. Аналогичный подход необходим и в области многоканальных переносных и индивидуальных приборов, в сфере автономных газоанализаторов и в направлении сетевого оборудования. Предстоит разнообразить систему интерфейсов, особенно беспроводных. Да, сегодня потребность в них невелика, но здесь как раз тот случай, когда предложение рождает спрос.

Кроме того, архитектура нашего оборудования уже сегодня позволяет не заикливаться только на задачах



Участок упаковки. В компании нет склада готовой продукции, отгрузки происходят ежедневно

газоанализа. Мы готовы очень быстро освоить и другие смежные направления. Этим нужно пользоваться.

Наконец, комплекс оборудования НИИИТ должен формировать экосистему, позволяющую решать самые сложные задачи. Например, мы начинаем производство индивидуального многоканального газоанализатора «Сенсон-В-4000», оснащенного тремя различными беспроводными интерфейсами. Но чтобы полноценно использовать столь сложный инструмент, необходимы и другие составляющие: беспроводное приемопередающее оборудование, автономные системы электропитания, полевые станции зарядки, комплекты прикладного и управляющего программного обеспечения. На основе таких устройств можно строить гибкие и мобильные системы безопасности и контроля аэрогазовой обстановки со взаимным оповещением работников на объекте.

Задач много, но и перспективы вселяют надежду.

### То есть развитие продолжится?

**И. Семькин:** Разумеется. Судите сами, до 2017 года газоанализаторов «Сенсон» не существовало. Пять лет назад о них почти никто не слышал. А сегодня бренд «Сенсон» хорошо узнаваем. Наше оборудование использует множество заказчиков. Клиенты от нас не уходят. Объемы поставок растут, появляются новые приборы и системы. Со столь эффективной и профессиональной командой, со всеми нашими наработками и обоснованными амбициями мы просто обречены на успех.

**Спасибо за интересный рассказ!**

С руководителями и сотрудниками ООО «НИИИТ»  
беседовал И. Барский

## ТЕХНОЛОГИИ

# Преимущества автоматического монтажа кристаллов на мягкий припой в форми-газе при сборке силовых элементов

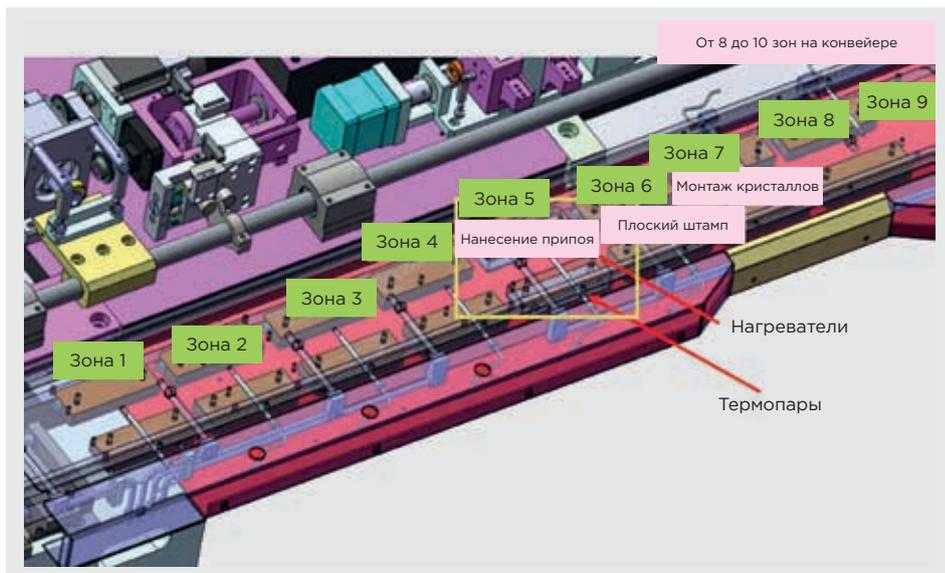
Текст: Григорий Савушкин



Силовые микроэлектронные устройства работают с высокой плотностью тока. Поэтому все силовые элементы имеют открытый теплоотвод, а кристалл монтируется на припой, образующий интерметаллическое соединение с высокой тепло- и электропроводностью. Процесс монтажа должен проходить в среде, которая может обеспечить отсутствие окислений на спаиваемых поверхностях, что усложняет автоматизацию.

## Введение

Технология монтажа кристаллов на мягкие припои, в первую очередь с высоким содержанием свинца (Pb), по-прежнему широко используется в производстве силовых микроэлектронных устройств. Свинцовые материалы особенно востребованы для силовых устройств на базе кремния, для которых рабочие температуры находятся в диапазоне 200–250 °С. Хотя производители силовых полупроводниковых устройств и пытаются отказаться от использования припоев с высоким содержанием Pb, альтернативные варианты, как правило, либо дорогие, либо не столь пластичные, как материалы, содержащие Pb. Поэтому одним из наиболее часто используемых мягких припоев является Pb-Sn5-Ag2.5, который имеет хорошие углы смачиваемости на медных (Cu) выводных рамках [1] и обладает достаточными механическими, термическими и электрическими свойствами. Обеспечиваемое данным припоем тепловыделение составляет порядка 35 Вт/мК, он пластичен и имеет КТР, близкий к кремнию и меди, что позволяет сборке выдерживать циклические термические напряжения. Для монтажа силовых кристаллов важна равномерность толщины паянного межсоединения (bond-line-thickness / BLT), отсутствие окислений, малые наклон кристалла и количество пустот – эти факторы влияют на надежность и производительность силового устройства [2]. При серийном выпуске с требованиями к высокой производительности монтажа кристаллов на выводные рамки более одной тысячи кристаллов в час нужны специализированные установки



1 Конвейерная система подачи установки автоматического монтажа кристаллов в формир-газе

монтажа с конвейерной системой (рис 1), несколькими зонами нагрева и подачи формир-газа.

При настройке техпроцесса на установке автоматического монтажа кристаллов на мягкий припой следует учитывать одновременно несколько факторов, особенно при работе с несколькими кристаллами или кристаллами больших размеров. Для крупных кристаллов важно качество нанесения припоя – если покрытие будет неполным, это приведет к проблемам с отслаиванием углов. После нанесения припоя он зачастую выравнивается плоским штампом (spanker) для равномерного распределения по контактной площадке, что также минимизирует количество пустот, а затем уже происходит процесс установки кристаллов (рис 2).

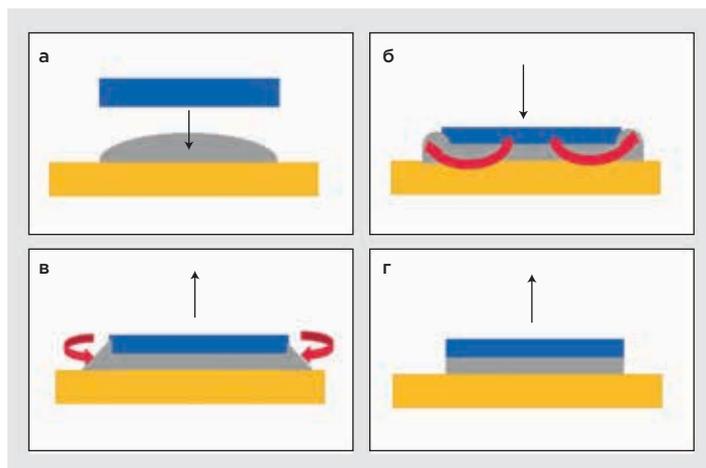
В статье мы представим результаты оценки качества, полученные после автоматического монтажа кристаллов на припой Pb-Sn5-Ag2.5 в среде формир-газа и раскроем некоторые конструкционные особенности установок, которые позволяют при высокой производительности исключить потери в качестве.

## Технологический процесс монтажа кристаллов на мягкий припой

Чтобы получить надежное соединение при автоматическом монтаже кристаллов с использованием мягкого припоя, следует учитывать базовые взаимосвязанные факторы. Монтаж кристаллов является критически важным процессом сборки, отвечающим за надежность. Для силовых элементов с высокой мощно-



2 Силовые кристаллы различных размеров, смонтированные в автоматическом режиме



3

Принципиальная схема процесса монтажа кристалла на мягкий припой

стью серьезность отказа может быть катастрофической, так как они применяются в промышленности, энергетике, серверах, телекоммуникациях, автомобилестроении и авиастроении.

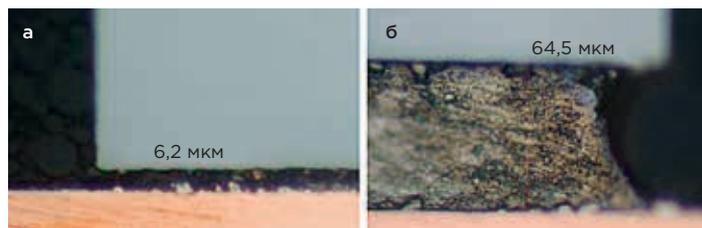
При оплавлении припоев необходимо знать концепцию поверхностной энергии, знать, насколько материал припоя текуч и может смачивать заднюю поверхность кристалла и саму выводную рамку. Поверхности кристалла и выводной рамки испытывают различные напряжения до и после оплавления, поэтому факторы, которые определяют формирование BLT, а также влияние состояния поверхности на смачивание и растекание припоя во время оплавления, должны обеспечивать надежное межсоединение кристалла с выводной рамкой.

На рис 3 показан процесс монтажа кристалла на мягкий припой [3]. На рис 3а происходит нанесение припоя с последующей установкой кристалла с усилием, приложенным к его верхней поверхности. На рис 3б движение кристалла создает так называемый «эффект вулкана», который связан с вытеканием припоя из распределенного объема [3]. Далее тонкая щель (рис 3в), образованная зазором между кристаллом и выводной рамкой, позволяет действовать капиллярным силам, в результате чего «вулкан» разрушается, и припой перетекает обратно в пространство между кристаллом и выводной рамкой. Это, в свою очередь, толкает кристалл вверх за счет восстановления объема после сжатия (рис 3г), и данный эффект формирует BLT.

Это особенно критично по краям кристаллов – если припоя недостаточно, то покрытие будет неполным, что приведет к проблемам с отслаиванием углов как показано на рис 4.

### Оценка материала припоя во время и после оплавления

Состав большинства припоев для монтажа кристаллов играет важную роль в достижении необходимых BLT и наклона, что отражается на производительности



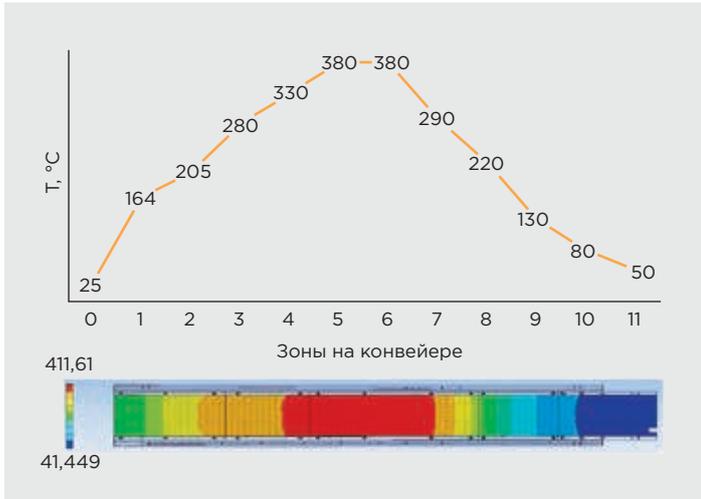
4

Изображения, полученные при помощи оптического микроскопа:  
а) Недостаточное количество припоя на кромке кристалла;  
б) Недостаточный объем припоя для обеспечения соединения по краям кристалла

и качественных показателях. Зоны нагрева в конвейерной системе должны обеспечивать равномерный прогрев рамки перед нанесением припоя, подаваемого в виде проволоки, во время монтажа и последующего охлаждения (рис 5). В целом сплавы припоев, используемые для монтажа кристаллов, обычно имеют температуру плавления в диапазоне 250–380 °С. Применение того или иного сплава зависит от последующих операций, например, для предотвращения последующего оплавления при поверхностном монтаже либо в случае силовых устройств для обеспечения более высоких рабочих температур устройства без разрушения межсоединения. Также выводная рамка перед оплавлением припоя может иметь более окисленную поверхность, чем у покрытого Ag-кристалла, что делает ее менее энергетически благоприятной для смачивания. Поэтому требуются использование формирующего газа, смеси водорода (обычно 1–5 %) и азота и предварительный нагрев выводной рамки до высокой температуры перед нанесением припоя и монтажом кристаллов.

Следует отметить и важность самого процесса нанесения припоя. При подаче его в виде проволоки головка установки должна иметь возможность рисования, также есть дополнительная головка со штампом для формирования необходимой формы нанесенного припоя. При работе с большими кристаллами зачастую штамп не требуется, а с маленькими – он необходим для обеспечения повторяемости BLT и равномерного наличия припоя по четырем сторонам кристалла.

Оценка качества нанесения припоя проходит визуально при отработке технологического процесса без монтажа самих кристаллов. Этот простой анализ позволяет оценить усадку припоя, которая в любом случае составит какой-либо % от первоначально нанесенной толщины из-за испарения примесей. Потеря объема после оплавления может сыграть решающую роль для обеспечения хорошей BLT особенно для больших кристаллов, что также может привести к плохим результатам по наклону кристаллов. Следовательно, важно проконтролировать высоту межсоединения после монтажа кристаллов, принимая во внимание усадку припоя после оплавления.



5 Распределение температуры по зонам конвейера установки автоматического монтажа кристаллов в формир-газе

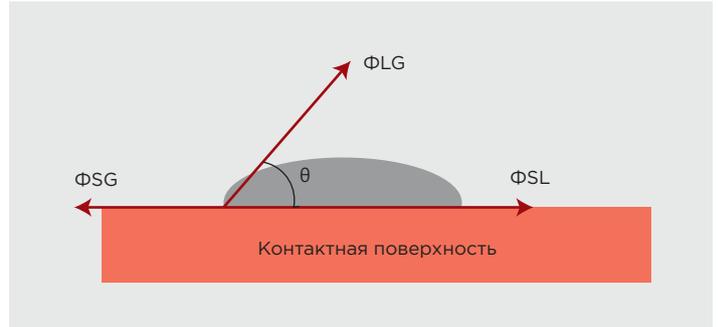
### Влияние поверхностей кристалла и выводной рамки на растекание и смачиваемость припоя

Растекание и смачиваемость расплавленного припоя является важным критерием для достижения надежности соединения кристалла к выводной рамке [4]. Если материал не способен взаимодействовать с контактирующими поверхностями, прочного сцепления достичь невозможно. Во время оплавления припоя взаимодействие между обратной поверхностью кристалла и выводной рамкой может оказывать влияние на формирование BLT. Представим взаимодействие капли расплавленного припоя с выводной рамкой из меди на рис 6. Согласно уравнению Юнга, капля припоя испытывает три различных межфазных натяжения:  $\Phi LG$  – межфазное натяжение жидкость-газ,  $\Phi SG$  – межфазное натяжение твердое вещество-газ и, наконец,  $\Phi SL$  – межфазное натяжение твердое вещество-жидкость.

Соотношение между этими тремя межфазными натяжениями может быть представлено уравнением 1, где  $\cos\theta$  – угол соприкосновения капли расплавленного припоя с выводной рамкой [4, 5]:

$$\cos\theta = \frac{\Phi SG - \Phi SL}{\Phi LG}$$

Чтобы обеспечить хорошее смачивание и растекание, значение  $\theta$  должно быть как можно меньше. Большинство расплавленных припоев с содержанием свинца, например мягкий припой Pb-Sn5-Ag2.5, имеет низкие углы контакта на чистых медных выводных рамках. Их смачиваемость и растекание почти всегда намного выше по сравнению с составами мягких припоев, не содержащих Pb [1]. Когда в процесс включается поверхностная энергия, видно, что здесь есть две взаимодействующие поверхности: обратная поверхность кристалла, покрытая серебром (Ag), и медная выводная рамка. Обе эти поверхности демонстрируют различную степень поверхностной энергии в зависимости от поверхностного натяжения припоя перед оплавлением



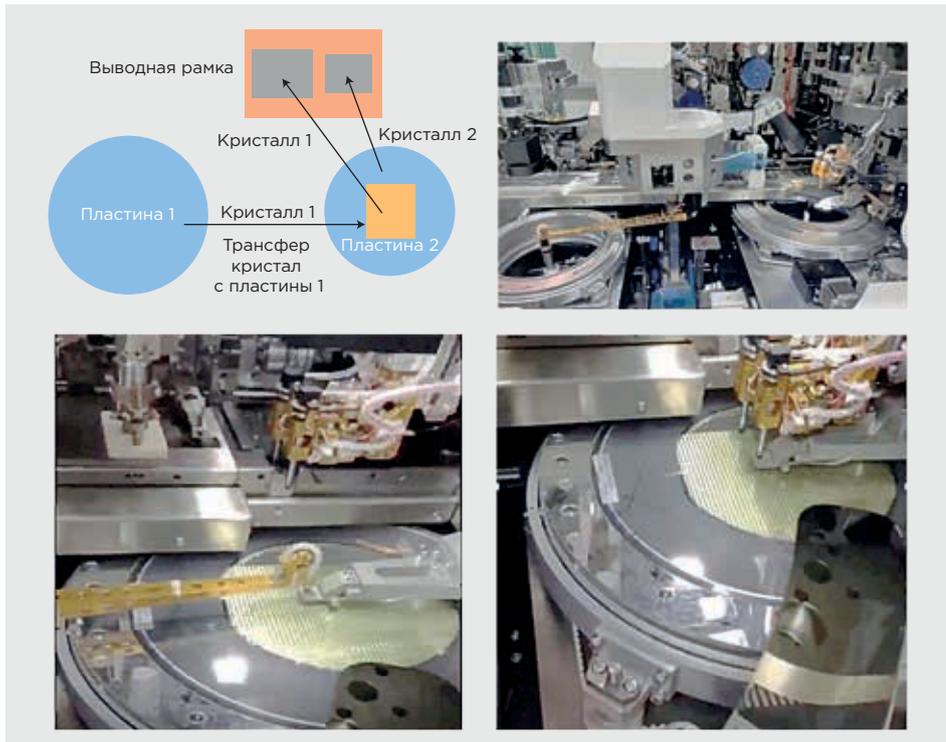
6 Взаимодействие различных сил, действующих на каплю жидкости при контакте с поверхностью

и во время оплавления, т. е. в процессе перехода в расплавленное состояние.

При оплавлении удаляются примеси из припоя и по мере того, как припой растекается по поверхности выводной рамки, происходит усадка. Потеря некоторого объема вместе с растеканием материала припоя приведет к уменьшению BLT. Молекулы припоя будут притягиваться к поверхности обратной стороны кристалла, покрытой Ag, после того, как ослабнет усилие монтажной головки (рис 3г). Это связано с тем, что задняя поверхность кристалла, покрытая Ag, более энергетически выгодна или обладает более высокой поверхностной энергией, чем сам припой, что делает ее более пригодной для смачивания по сравнению с медной выводной рамкой. Следовательно, в сочетании с межфазным притяжением припоя к Ag поверхности и за счет восстановления объема после сжатия материала получаемая BLT может увеличиться. Таким образом, существует несколько факторов, которые влияют на формирование BLT. Если удастся получить хорошую повторяемость BLT, это также приводит к меньшему наклону кристалла и приемлемому количеству пустот. По сути, надежность соединения повышается путем контроля технологических параметров.

### Примеры и результаты

Выше были приведены различные технологические факторы, влияющие на надежное соединение при пайке силовых кристаллов с использованием мягкого припоя. Эти факторы взаимосвязаны и не работают отдельно. Монтаж кристаллов – один из важнейших процессов сборки, поскольку он связан как с BLT, так и с наклоном кристалла, которые влияют на все возможные механизмы отказа. Профиль оплавления припоя играет важную роль в получении надежного паяного соединения, особенно для больших кристаллов. Для оплавления Pb-Sn5-Ag2.5 температура поддерживается, как правило, на уровне 380-400 °C в среде формир-газа, учитывая, что точка плавления самого материала находится в диапазоне 287-309 °C. Ряд результатов монтажа различных кристаллов на мягкий припой Pb-Sn5-Ag2.5 представлен далее и иллюстрирует хорошее межсоединение кристаллов с медными выводными рамками.



7

Монтаж двух разных кристаллов на мягкий припой в одном цикле

Тип корпуса	ТО-247-3L	
Размеры кристалла	IGBT 4 × 4 мм FRD 2,55 × 2,5 мм	
Толщина кристалла	250 мкм	
Монтажная площадка	9,5 × 6,5 мм	
Мягкий припой	Pb-Sn5-Ag2.5	
Диаметр проволоки припоя	1 мм	
Нанесение припоя	Рисунок	
Иглы выталкивателя	R: 250 мкм (1 игла)	
Производительность	2 800 кристаллов/ч	

8

Результаты монтажа двух кристаллов в одном цикле сборки модуля IGBT

Т 1

Сравнение ожидаемых показателей качества монтажа одиночных кристаллов на мягкий припой Pb-Sn5-Ag2.5

РАЗМЕРЫ КРИСТАЛЛА, ММ	ТИП КОРПУСА / ВЫВОДНАЯ РАМКА	ОЖИДАЕМЫЙ РАЗБРОС ВЛТ, МКМ	НАКЛОН, МКМ	ПУСТОТЫ, %	
				ОДИНОЧНЫЕ	ВСЕГО
3,78 × 2,9	ТО-252	15-80	<55	1	3
1,95 × 1,51		25-70	<40		
0,799 × 0,798		25-70	<40		

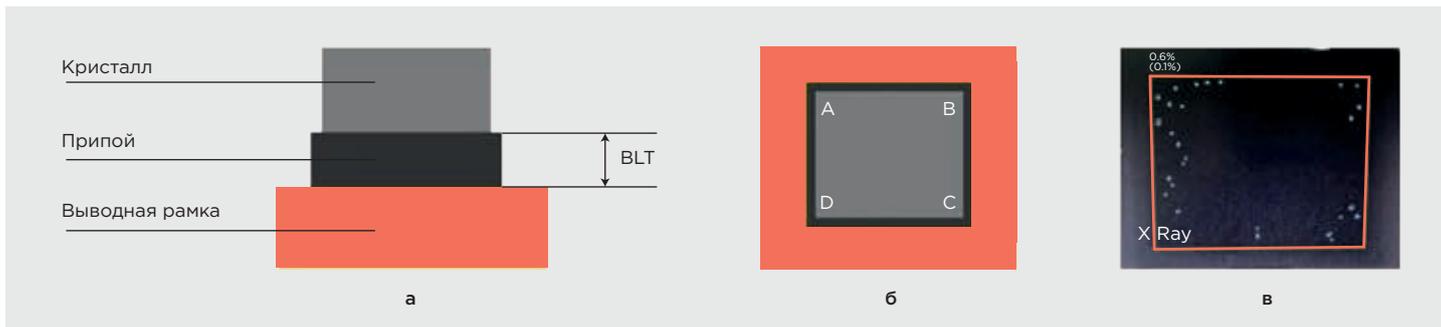
Начнем с нестандартного примера решения для монтажа двух разных кристаллов под сборку модулей IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor – биполярный транзистор с изолированным затвором). Здесь есть два варианта: сделать монтаж кристаллов IGBT и FRD (Fast Recovery Diode – импульсный диод) на двух установках или сделать монтаж обоих кристаллов в одном цикле на одной установке.

В первом случае на выводной рамке перед монтажом кристаллов предварительно припоем формируются рисунок, способный вместить два кристалла. Сначала устанавливается большой кристалл, а затем рядом с ним – второй. И тут есть две проблемы:

- контроль стабильности и повторяемости загрузки кристаллов и их качество в целом;
- нет гарантий, что второй монтируемый кристалл не повлияет на первый (большой кристалл часто монтируется первым) и потребуются повторный нагрев, расплавление и отверждение припоя.

В итоге изделие более подвержено дефектам, один и тот же кристалл необходимо дважды нагревать до высокой температуры, что изначально является недостатком сборки модулей IGBT.

Поэтому второй вариант наиболее технологичен (рис 7). Отметим, что припой наносится рисунком без последующей штамповки фактически на всю площадку под монтаж кристаллов на выводной рамке, и это является важным моментом, поскольку оба кристалла монтируются в одном цикле.



9 Методика измерений BLT и наклона кристаллов (а, б), а также рентгеновский контроль пустот (в)

Тип корпуса	To-252-4R	
Размеры кристалла	3,78 × 2,9 мм	
Толщина кристалла	281 мкм	
Монтажная площадка	5,7 × 3,5 мм	
Мягкий припой	Pb-Sn5-Ag2.5	
Диаметр проволоки припоя	0,5 мм	
Нанесение припоя	Рисунок	
Иглы выталкивателя	R: 250 мкм (2 иглы)	
Производительность	2 500 кристаллов/ч	

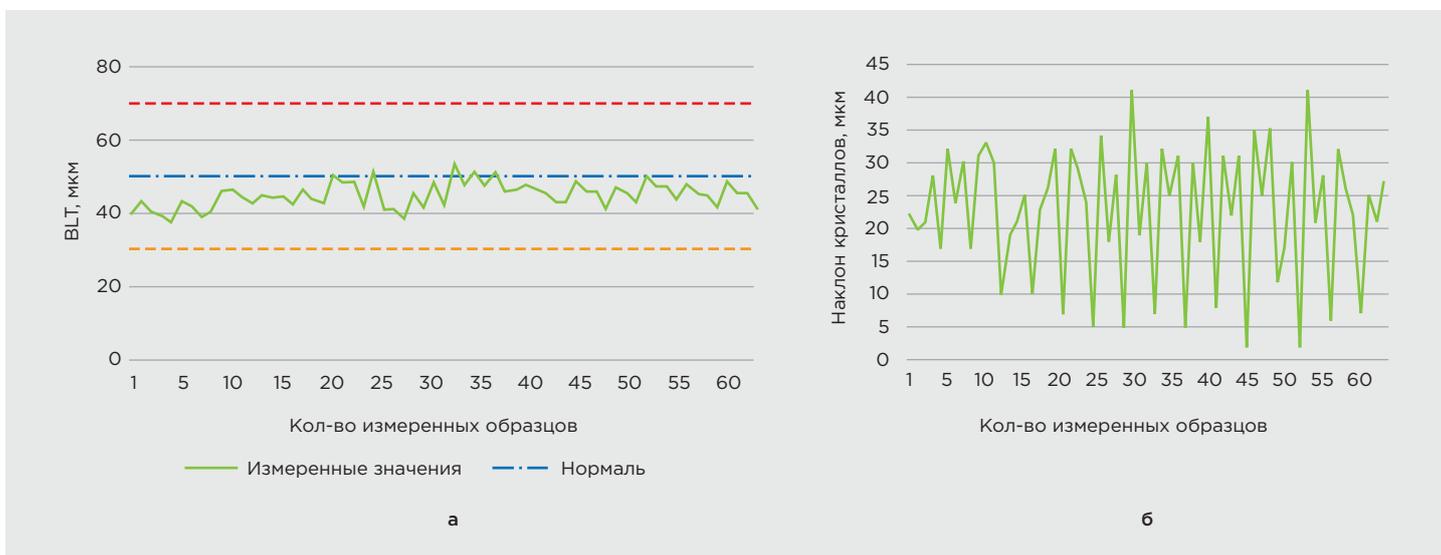
При монтаже одиночного кристалла на выводную рамку чем больше размер кристалла, тем больше ожидаемые BLT и наклон. Сравнение ожидаемых показателей качества монтажа кристаллов различного размера на выводную рамку TO-252 представлено в 11.

Измерения BLT и наклона кристаллов производится по четырем точкам А, В, С и D при помощи лазерного интерферометра, как показано на рис 9а, б). Зная толщину кристалла, можно легко просчитать величину разницы показаний высот между выводной рамкой и кристаллом. BLT считается по среднему значению результатов измерений в этих четырех

точках, а наклон – по разнице максимального и минимального значений. С оценкой пустот еще проще – программное обеспечение современных рентгеновских установок само обрабатывает полученные изображения, проводит измерения и расчеты пустот (рис 9в).

10 Результаты монтажа кристаллов 3,78 × 2,9 мм

Таким образом, основную роль сыграют: качество материалов припоя, его нанесение до монтажа кристаллов и качество поверхности выводной рамки. Результаты монтажа двух кристаллов на мягкий припой в одном цикле представлены на рис 8.



11 Результаты измерений BLT (а) и наклона (б) кристаллов 3,78 × 2,9 мм

Тип корпуса	To-252-4R
Размеры кристалла	1,95 × 1,51 мм
Толщина кристалла	195 мкм
Размер полости штампа	3,0 × 2,8 × 0,15 мм
Мягкий припой	Pb-Sn5-Ag2.5
Диаметр проволоки припоя	0,5 мм
Нанесение припоя	1 точка
Иглы выталкивателя	R: 250 мкм (1 игла)
Производительность	2 800 кристаллов/ч



1 2

Результаты монтажа кристаллов 1,95×1,51 мм

Приведем более подробные результаты анализа монтажа кристаллов из **T1**. Для кристалла 3,78 × 2,9 мм (рис 10) припой наносился рисованием без дополнительной штамповки. Данный метод нанесения припоя характерен для таких больших кристаллов, поскольку количество припоя велико из-за необходимости заполнить практически всю контактную площадь монтажной площадки под кристалл на выводной рамке, как и в случае с двумя кристаллами для сборки модуля IGBT. Если применять дополнительную штамповку, то велик риск выхода или разбрызгивания припоя за пределы монтажной площадки, что недопустимо.

Результаты измерений BLT и наклона кристаллов 3,78 × 2,9 мм представлены на графиках (рис 11). Путем отладки технологического процесса удалось достичь BLT в диапазоне 37,5–53,5 мкм, а наклон – менее 41 мкм

с индексами воспроизводимости 2,44 и 1,68 соответственно.

При монтаже кристаллов 1,95 × 1,51 мм (рис 12) припой наносился точно с последующей штамповкой. Для маленьких кристаллов дополнительная штамповка является важной частью процесса, поскольку их размеры бывают близки или соизмеримы с диаметром проволоки припоя. Штмп формирует рисунок, который невозможно сделать самой проволокой припоя.

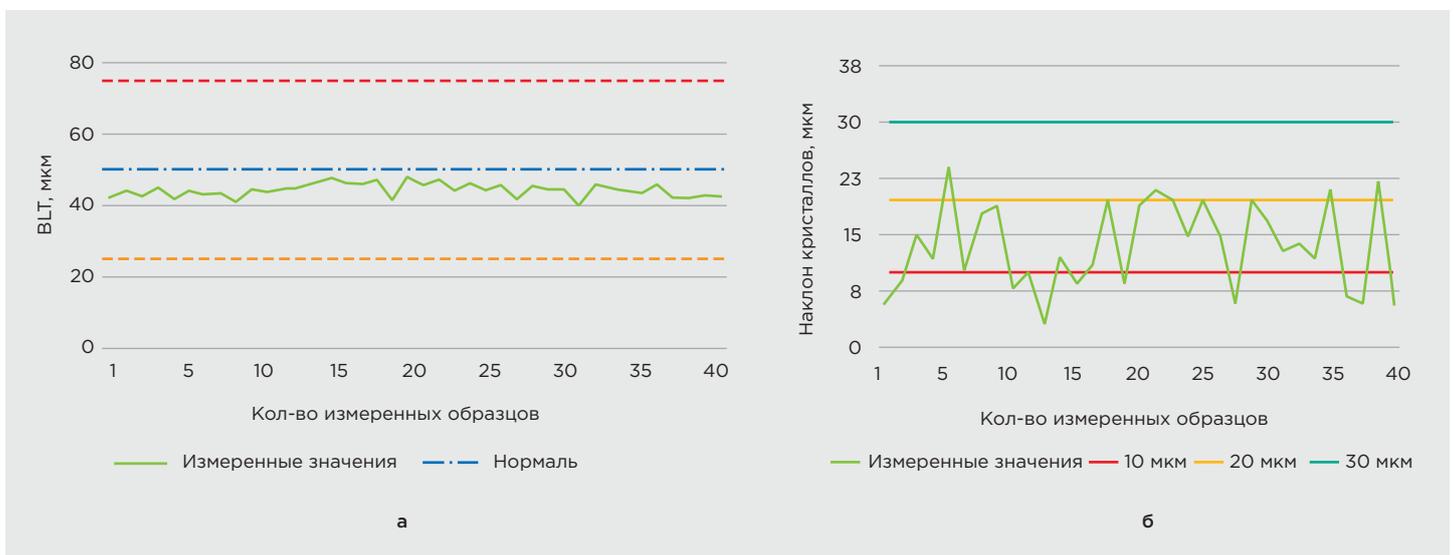
Результаты измерений BLT и наклона кристаллов 1,95 × 1,51 мм представлены на графиках (рис 13). В результате настройкой параметров технологического процесса удалось достичь BLT в диапазоне 40,5–48,25 мкм, а наклон – менее

24 мкм с индексами воспроизводимости 1,83 и 1,07 соответственно.

В процессе монтажа кристаллов 0,799 × 0,798 мм припой также наносился точно и с применением штамповки тем же штампом, что и для кристаллов 1,95 × 1,51 мм, базовые вводные данные представлены на рис 14.

На графиках (рис 15) показаны результаты измерений BLT и наклона кристаллов 0,799 × 0,798 мм, полученные после отладки параметров технологического процесса. Для самых маленьких кристаллов из представленных трех вариантов BLT получилась в диапазоне 34–54,75 мкм, а наклон – менее 27 мкм с индексами воспроизводимости 2,43 и 1,87 соответственно.

Для испытаний прочности монтажа кристаллов на сдвиг было отобрано по десять образцов с кристаллами каждого размера, результаты приведены в **T2**.



1 3

Результаты измерений BLT (а) и наклона (б) кристаллов 1,95 × 1,51 мм

T 2

Данные испытаний на сдвиг кристаллов для оценки прочности их межсоединения с выводной рамкой припоем Pb-Sn5-Ag2.5

Размер кристалла, мм	№	Результат, гс	Макс., гс	Мин., гс	Ср., гс
3,78 x 2,9	1	8025	8025	7154	7452,2
	2	7965			
	3	7541			
	4	7685			
	5	7154			
	6	7254			
	7	7225			
	8	7254			
	9	7165			
	10	7254			
1,95 x 1,51	11	7054	7141	6859	7013,2
	12	7065			
	13	6895			
	14	7052			
	15	6859			
	16	6895			
	17	7021			
	18	7125			
	19	7025			
	20	7141			
0,799 x 0,798	21	6714	6859	6598	6772,7
	22	6852			
	23	6598			
	24	6857			
	25	6745			
	26	6859			
	27	6855			
	28	6784			
	29	6805			
	30	6658			

Тип корпуса	To-252-4R
Размеры кристалла	0,799 × 0,798 мм
Толщина кристалла	195 мкм
Размер полости штампа	3,0 × 2,8 × 0,15 мм
Мягкий припой	Pb-Sn5-Ag2.5
Диаметр проволоки припоя	0,5 мм
Нанесение припоя	1 точка
Иглы выталкивателя	R: 250 мкм (1 игла)
Производительность	2 800 кристаллов/ч



1 4

Результаты монтажа кристаллов 0,799 × 0,798 мм

Важно отметить, что мягкий припой Pb-Sn5-Ag2.5 подходит для обеспечения высокого качества и надежности. В автоматических установках монтажа кристаллов на мягкий припой в формир-газе он применяется в виде проволоки и наносится на выводные рамки уникальным способом.

## Заключение

Несмотря на все большее распространение флип-чип (BGA) и других типов сборок полупроводниковые силовые устройства по-прежнему чаще всего собираются в пластиковые корпуса на базе выводных рамок. Корпуса силовых элементов подвержены резким перепадам температуры во время эксплуатации. Теплопроводность металлических припоев способствует рассеиванию тепла, выделяемого силовыми устройствами. Припой также

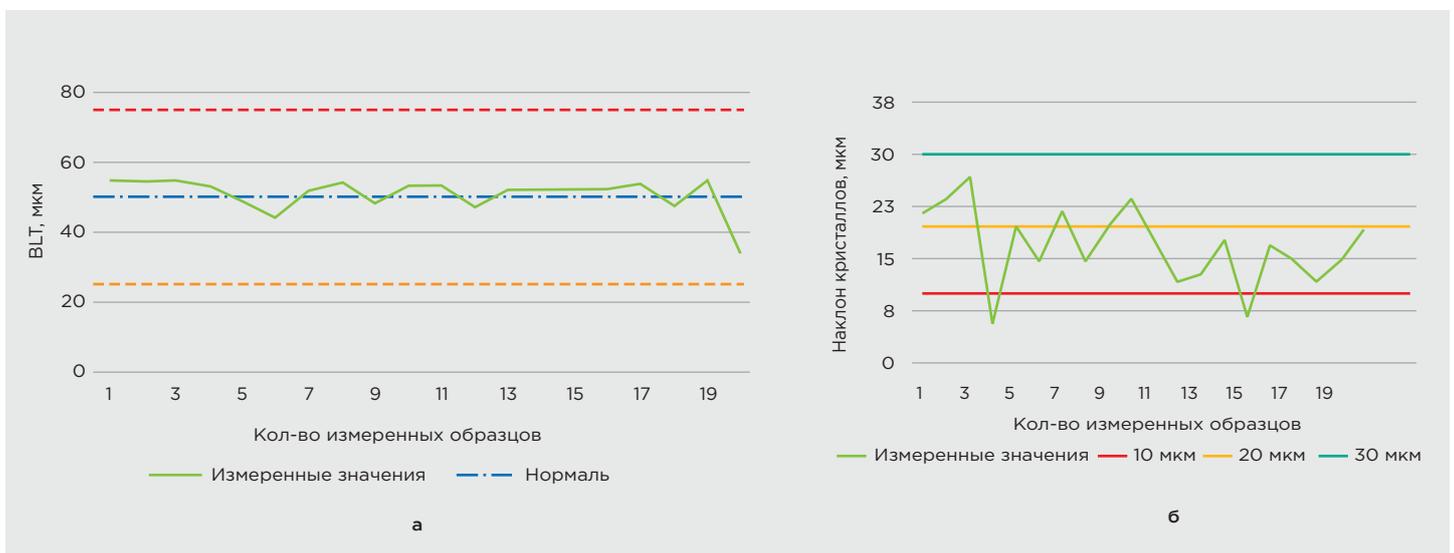
обеспечивает достаточную механическую прочность и предел усталости, чтобы выдерживать возникающие значительные механические и термические нагрузки.

На примерах и результатах оценки качества мы показали преимущества автоматического монтажа кристаллов на мягкий припой Pb-Sn5-Ag2.5 в среде формир-газа:

- производительность от 2,5 до 2,8 тысяч кристаллов в час;
- отсутствие окислений в процессе;
- равномерность BLT от 34 до 54,75 мкм с индексом воспроизводимости  $\leq 2,44$ ;
- наклон кристаллов с индексом воспроизводимости  $\leq 1,87$ , составляющий менее 41 мкм для больших и менее 27 мкм для малых кристаллов;
- пустоты  $< 3\%$ .

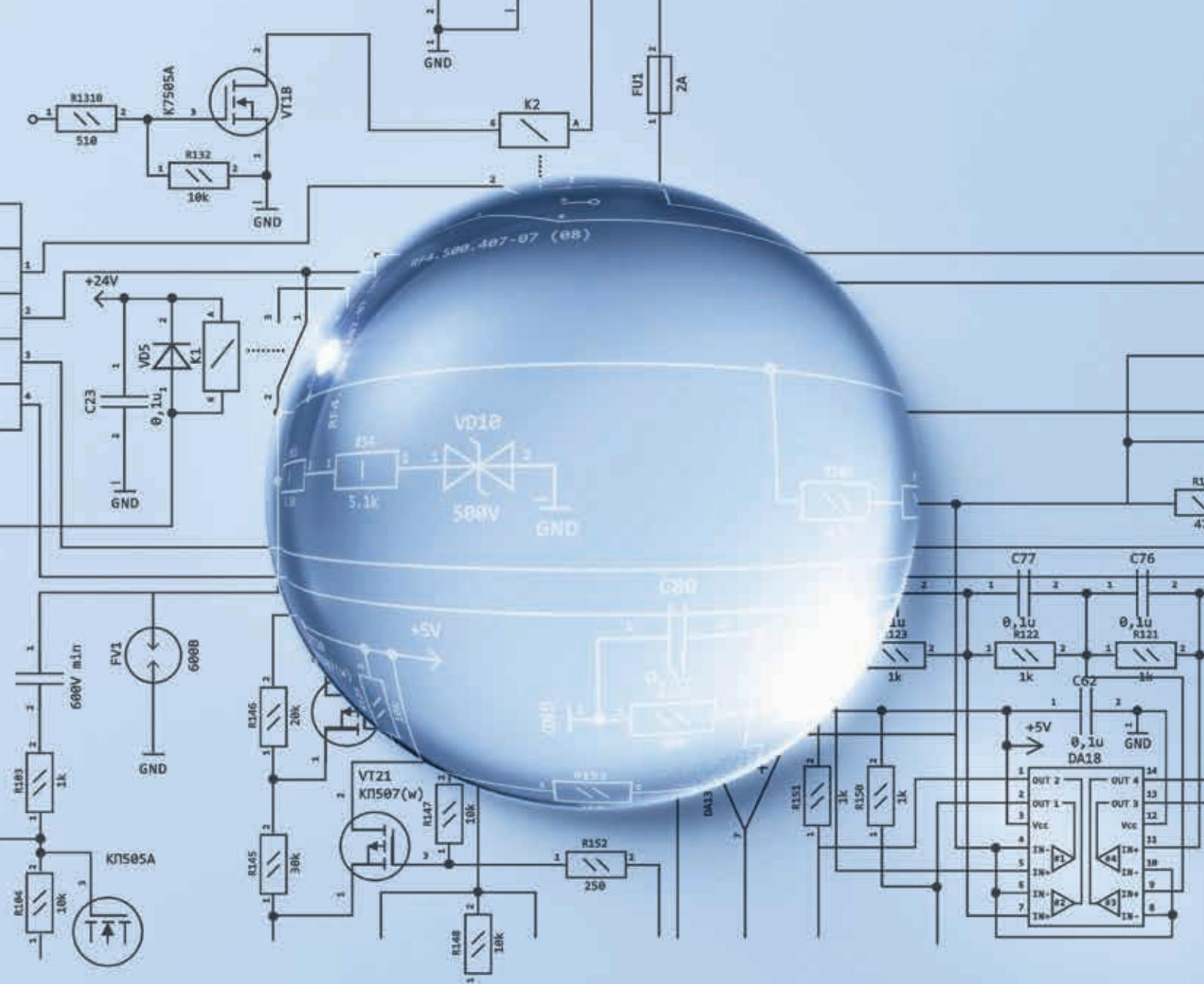
## Источники

1. K. Suganuma: Lead Free Soldering in Electronics: Science, Technology, and Environmental Impact. Marcel Dekker (2004).
2. V.R. Manikam and K.Y. Cheong: IEEE Transac. Comp. Packag. Manuf. Vol. 1 (2011) pp. 457–478.
3. F. Joho: Semicon Singapore (2006) pp. 1–3.
4. F.G. Yost, F. M. Hosking and D. R. Frear: The Mechanics of solder alloy wetting and spreading. Van Nostrand Reinhold (1993).
5. N.C. Lee: Reflow Soldering Processes and Troubleshooting SMT, BGA, CSP and Flip Chip Technologies. Butterworth-Heinemann (2002).



1 5

Результаты измерений BLT (а) и наклона (б) кристаллов 0,799 × 0,798 мм



# ЧИСТАЯ РАБОТА В НОВЫХ УСЛОВИЯХ

Полный спектр эффективных жидкостей  
для отмычки печатных узлов,  
очистки трафаретов и оборудования

С гордостью представляем собственную линейку современных жидкостей и сопутствующих решений для отмычки при производстве изделий радиоэлектронной аппаратуры. Практичные в использовании, со стабильными характеристиками, эффективные и разработанные с учетом специфики российского производства – теперь новые высококачественные материалы всегда в наличии независимо от условий и обстоятельств. Как и наша экспертная поддержка, которую мы оперативно оказываем по любым вопросам. Держите все под контролем с решениями Гидронол и продолжайте делать свое дело, ни о чем не беспокоясь.

ОСТЕК-ИНТЕГРА  
Технологические материалы для электронной промышленности  
+7 495 788-44-44 | ostec-materials.ru

## ГИДРОНОЛ



Разработано  
и произведено  
в России

# Оптимизация травления оксидного слоя при формировании TSV-структур

Текст: Дмитрий Суханов



Технология сквозного травления кремния (TSV – through silicon via) стала ключевой движущей силой для передовых электронных изделий и модулей, в которых необходима 3D-сборка, а также для датчиков изображения с обратной подсветкой (BSI – backside illuminated).

### Какие методы интеграции TSV существуют, в чем их отличия и какие у них потенциальные проблемы?

Среди возможных методов интеграции TSV различают следующие: формирование отверстий в начале (via-first), формирование отверстий в середине (via-middle) и последний, привлекавший самое большое внимание производителей, – формирование отверстий в конце (via-last). Метод via-last помогает уменьшить затраты в процессах BEOL (back-end-of-line) и не нуждается в процессе по «вскрытию» TSV. Однако данная схема требует более надежного процесса протравливания оксида на дне TSV для установления контакта с нижним слоем межсоединений.

Одной из потенциальных проблем, связанных с процессом протравливания оксида на дне структуры, является защита оксидного покрытия верхнего угла TSV для обеспечения лучшей электрической надежности. Эта нетривиальная задача возникает из-за того, что скорость травления (ER – etching rate) в нижней части переходного отверстия намного ниже, чем в его верхней части – на поверхности структуры и особенно на углах TSV.

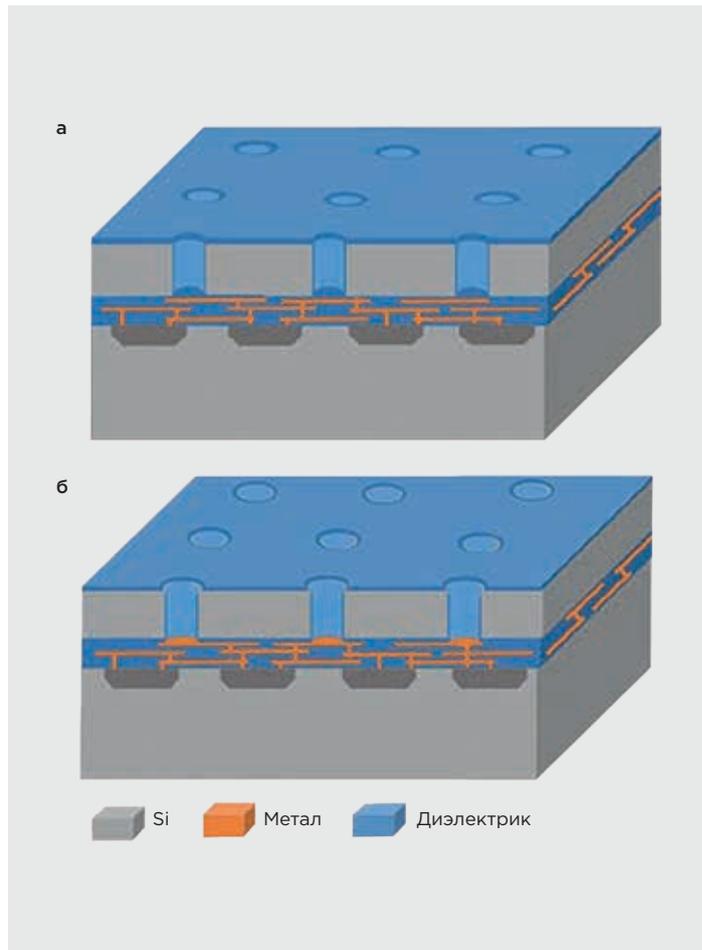
### Как можно увеличить ER оксида на дне TSV при одновременном снижении ER оксидного слоя на поверхности и углах TSV?

Процесс травления оксида на дне TSV был оптимизирован с использованием режима травления с дефицитом фтора и с добавлением  $O_2$ . Оптимизированный процесс предполагает, что добавление небольшого количества  $O_2$  в разбавленную аргоном плазму  $C_4F_8$  помогает более эффективно защитить оксид верхнего угла, а оптимизированный процесс показывает, что ER нижнего оксида на 20–30 % выше, чем эрозия верхнего угла TSV.

Давайте подробнее разберемся с поставленной задачей и ее решением.

### Зачем вообще понадобилась эта 3D-интеграция, о которой написано бесчисленное множество статей?

Хочу заметить, что данные статьи всегда будут вызывать интерес, т. к. трехмерная интеграция (3D-интеграция) становится с каждым годом все более заметной и является надежной альтернативой «продолжения жизни» закона Мура, особенно в области межсоединений. 3D-интеграция преодолевает множество ограничений технологии «система на кристалле» (SoC – system in chip) с точки зрения производительности, стоимости и времени выхода на рынок. А вот и ответ – 3D-интеграция работает в сочетании с масштабированием полупроводников, обеспечивая более высокую плотность интеграции микросхем наряду с интеграцией разнородных технологий.

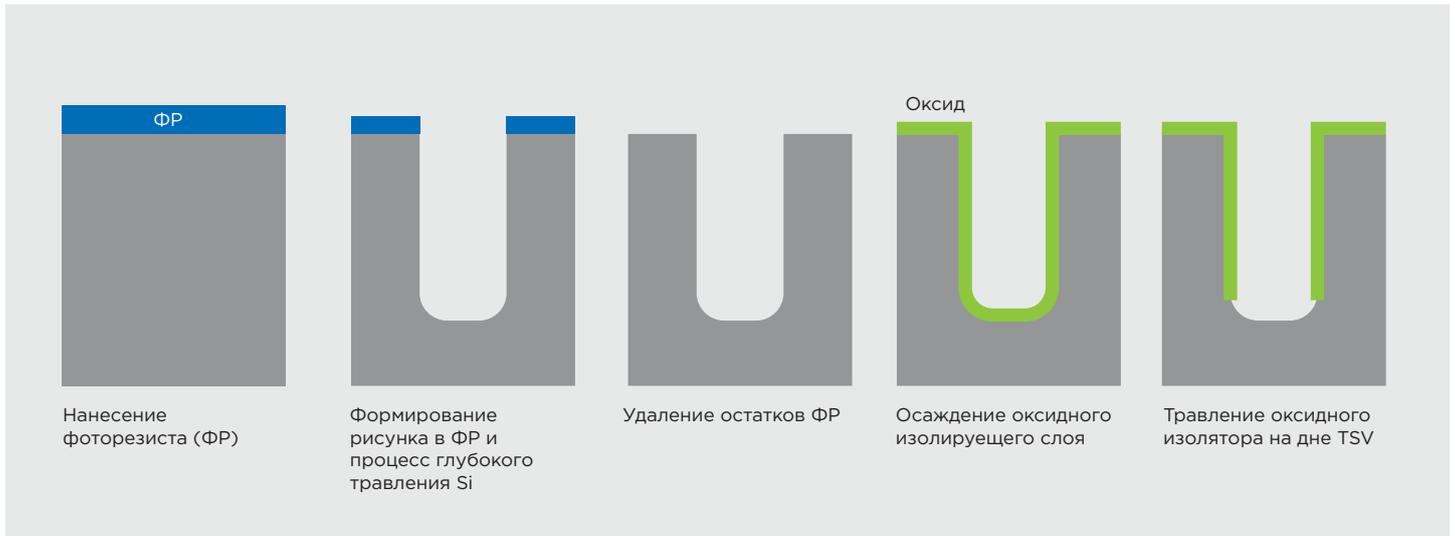


1

а) Схема оксидного изолятора для подхода интеграции via-last;  
б) Влияние на оксидный слой в верхнем углу TSV после процесса травления оксида. Источник: Chip Scale Review. May-June, 2023, TSV oxide etch-back optimization for the via-last integration scheme By Bhesetti S.S. Chandra Rao, Hemanth K. Cheemalamarri, Darshini Senthilkumar.

### Для чего стали использовать TSV, и на каких этапах создания микросхем они могут применяться?

Использование TSV стало известной технологией межсоединений для обеспечения целостности сигнала посредством создания вертикальных стеков. Существует несколько подходов к формированию TSV. Подход via-first создает TSV перед процессами FEOL (front-end-of-line) и BEOL. Подход via-middle подразумевает выполнение процессов FEOL, за которыми следуют TSV, а затем уже и BEOL-процессы. Подход via-last формирует TSV после процессов FEOL и BEOL. При формировании отверстий после процесса бондинга (via-after bonding) переходные отверстия формируются после процесса соединения (определенного рода 3D-интеграции) либо по схеме «чип-пластина» (C2W), либо по схеме «пластина-пластина» (W2W). В зависимости от схемы, которая используется в гетерогенной интеграции, в большинстве случаев выбирают соединение vis-last или via-after.



2

Схема технологического процесса. Источник: Chip Scale Review. May-June, 2023, TSV oxide etch-back optimization for the via-last integration scheme By Bhesetti S.S. Chandra Rao, Hemanth K. Cheemalamarri, Darshini Senthilkumar.

Данные решения особенно нашли применение в структурах КМОП-МЭМС – комплементарные микроэлектромеханические системы металл-оксид-полупроводник. В подходе via-last оксидный изолирующий слой наносится в TSV сразу после процесса сухого травления и жидкостной химической очистки TSV.

На рис 1а схематично показано типичное осаждение изолятора после оксидирования. Этот слой не только действует как электрическая изоляция для TSV с точки зрения утечки тока, но также служит барьером от загрязнения для кремниевой подложки с точки зрения повторного напыления металла под ней при посадке на металлическую площадку (алюминий или медь). Во время процесса травления оксида на дне TSV существует потенциальная проблема потери оксида по верхнему углу TSV (как показано на рис 1б) из-за высокого потенциала плазменного поля на угле структуры, который подвергается наибольшей ионной бомбардировке. Если данный процесс травления не контролируется, это приводит к утечке тока и значительному снижению выхода годных.

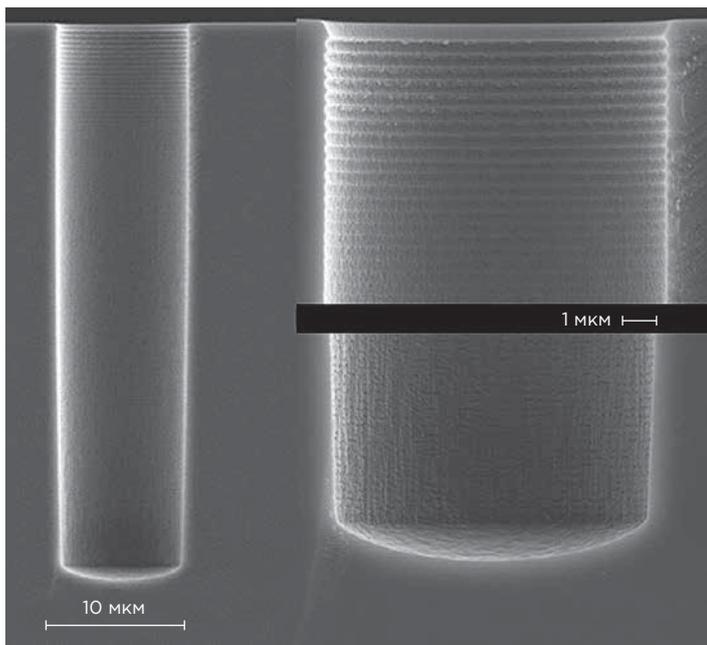
Процесс травления оксида хорошо изучен благодаря использованию химических средств травления на основе фтора, при этом ионизированные радикалы фтора реагируют с Si-разорванными связями оксида кремния с образованием летучих соединений. Однако процесс травления оксида на дне TSV является сложным и требует оптимизированного процесса для получения более высокого ER в нижней части TSV по сравнению с оксидом по верхней угловой поверхности. Следовательно, необходимо большее внимание к процессу протравливания оксида на дне TSV для обеспечения

плавного контакта с нижней металлической площадкой перед процессом гальванического осаждения меди в via-last-подходе интеграции TSV.

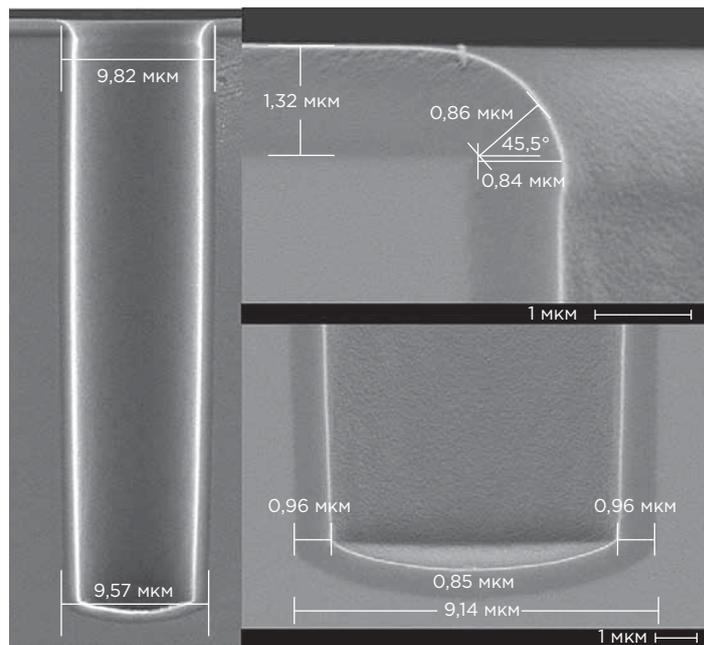
Есть несколько возможностей для уменьшения травления угла TSV. Одна из них – защищать верхний угол TSV с помощью дополнительного защитного слоя SiN поверх оксидного слоя изолятора, а также использовать оптимизированный процесс самого травления. Еще одна возможность – это интеграционный подход к уменьшению потерь слоя оксида в верхнем углу путем нанесения толстого твердого слоя оксида (> 1,5 мкм) перед травлением TSV. Однако этот дополнительный технологический этап влечет за собой более высокую стоимость изготовления TSV и менее привлекателен для внедрения в процесс интеграции также, как и первый.

### Как же защитить угол TSV с оксидом и при этом не усложнить технологический процесс?

Необходима оптимизация самого процесса травления оксида на дне TSV для улучшения ER оксида на дне при одновременной минимизации ER оксида верхнего угла. Основная идея – в использовании чуть более толстого слоя пассивации и минимизации свободных радикалов при травлении кремния. Газ  $C_4F_8$  известен более высокой скоростью пассивирующего осаждения при смешивании с аргоном. Добавление аргона помогает «повысить температуру» электронов, что, в свою очередь, увеличивает плотность плазмы и приводит к более высокой её скорости. Добавление  $O_2$  к  $C_4F_8$  увеличивает пассивацию, а последующее увеличение содержания  $O_2$  снижает скорость пассивации. Из-за большого соотношения сторон скорость осаждения пассивации



3 Структура TSV до нанесения оксидного покрытия. Источник: Chip Scale Review. May-June, 2023, TSV oxide etch-back optimization for the via-last integration scheme By Bhesetti S.S. Chandra Rao, Hemanth K. Cheemalamarri, Darshini Senthilkumar.



4 Структура TSV после осаждения оксидного изолирующего слоя. Источник: Chip Scale Review. May-June, 2023, TSV oxide etch-back optimization for the via-last integration scheme By Bhesetti S.S. Chandra Rao, Hemanth K. Cheemalamarri, Darshini Senthilkumar.

варьируется от верха к низу TSV – по мере увеличения глубины механизм переноса пассивации меняется с конвективного потока на диффузионный, что приводит к большему осаждению в верхней части TSV, чем на дно.

**Рассмотрим материалы и методы, необходимые для оптимизации процесса.**

Технологический процесс изготовления образца пластины показан на схеме (рис 2). На пластину наносится слой фоторезиста методом центрифугирования, а формирование структур (рисунок) – с помощью проекционной фотолитографии. Диаметр TSV – 10 мкм (CD – critical dimension) протравливается на глубину ~45 мкм с использованием стандартного процесса травления с мультиплексным временем в камере с индуктивно-связанной плазмой (ICP – inductively-coupled plasma). После травления TSV оставшиеся PR удаляются с помощью высокотемпературной плазмы в среде O<sub>2</sub>. Затем пластину подвергают жидкостной химической очистке для удаления остатков травления.

На рис 3 показана структура TSV после травления и жидкостной химической очистки с гребнями <40 нм и почти вертикальным профилем. На пластину со сформированными TSV наносится оксидный изолирующий слой толщиной ~1 мкм с использованием процесса химического осаждения из паровой фазы с плазменным усилением (PECVD – plasma enhanced chemical vapor deposition).

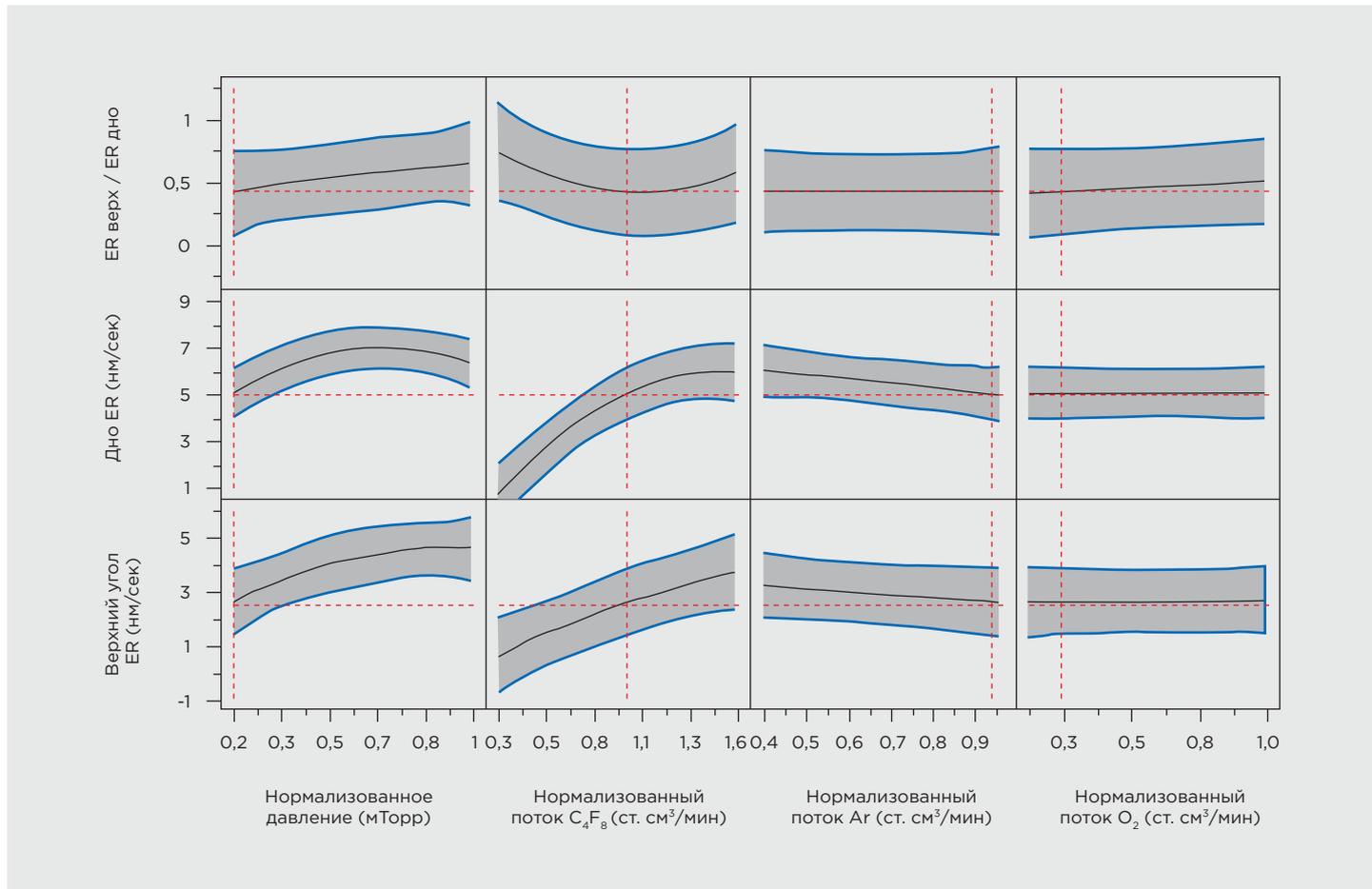
На рис 4 показан TSV с оксидным изолирующим слоем. Начальная толщина оксида (вверху), верхний угол и низ TSV: ~1,31 мкм, ~0,86 мкм и ~0,85 мкм соответственно. Соотношение шага покрытия верхнего угла TSV к слою на дне TSV составляет 1:1, что крайне усложняет процесс, если ER аналогичны или быстрее по верхнему углу TSV.

**Что удалось получить и до какой степени дошла оптимизации процесса?**

Для определения оптимальных условий процесса минимизации ER верхнего угла при одновременном повышении ER нижнего оксида в качестве параметров процесса использовались Ar, O<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> и давление, подбор которых обеспечил необходимую оптимизацию процесса в целом. После процессов травления и измерения толщины оксидного изолирующего слоя получилось добиться положительных результатов.

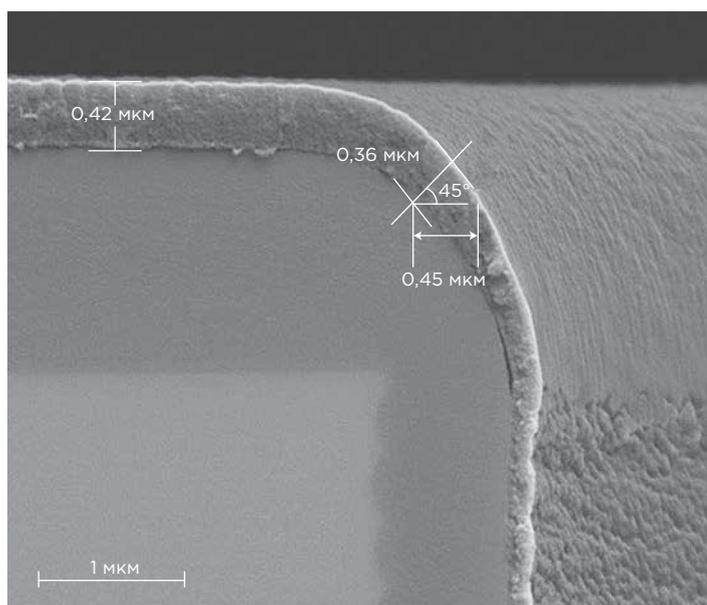
**Что и на что влияло в процессе оптимизации?**

Радикалы фтора, ответственные за травление Si в процессе сухого травления, образовывали летучий SiF<sub>4</sub> даже при низких энергиях ионов. Однако в случае SiO<sub>2</sub> из-за более сильного энергетического порога (энергетический порог 799 кДж/моль для связи Si-O и 552 кДж/моль для связи Si-F) спонтанная реакция невозможна. Химическое травление SiO<sub>2</sub> происходит после разрыва связей



5

Модель для определения наилучших возможных условий для более высокой скорости травления оксида на дне TSV и снижения скорости травления для оксида верхнего угла. Источник: Chip Scale Review. May-June, 2023, TSV oxide etch-back optimization for the via-last integration scheme By Bhesetti S.S. Chandra Rao, Hemanth K. Cheemalamarri, Darshini Senthilkumar.



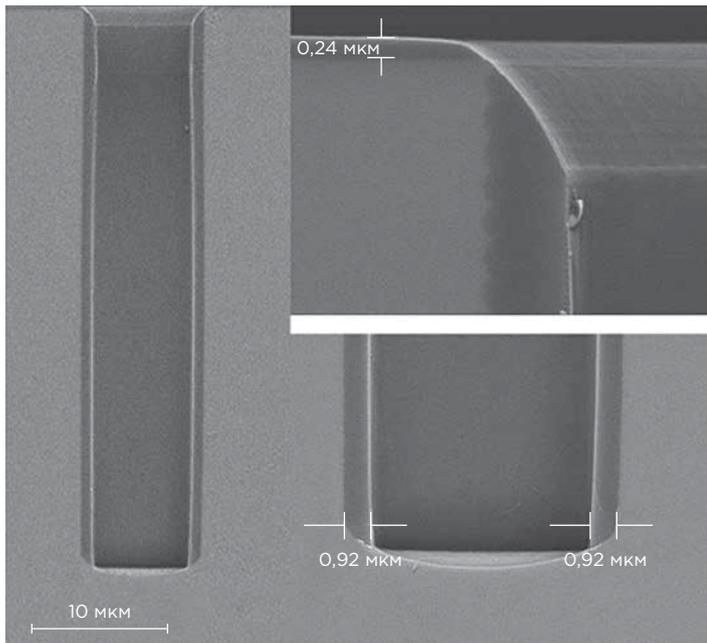
6

Нанесение пассивации в верхнем углу TSV. Источник: Chip Scale Review. May-June, 2023, TSV oxide etch-back optimization for the via-last integration scheme By Bhesetti S.S. Chandra Rao, Hemanth K. Cheemalamarri, Darshini Senthilkumar.

Si-O под действием ионной бомбардировки, поэтому Si в разорванных связях поглощается радикалами фтора. Для травления оксидов необходимо сочетание высокоэнергетической ионной бомбардировки и химического травления.

Моделирование процесса и ER показаны на рис 5, например,  $C_4F_8$  с добавлением аргона приводит к тому, что ER нижнего оксида ниже, чем ER для верхнего угла TSV. Наблюдается, что без добавления потока  $O_2$  почти на 30 % быстрее ER находится в верхнем углу. По мере увеличения потока  $O_2$  ER оксида в верхнем углу медленно падает и достигает наименьшего снижения ER, наблюдаемого при 30 % его нормализованного  $O_2$ .

При оптимизированных условиях осаждение пассивирующей пленки в верхней части TSV толще, чем в нижней части TSV. Изменение пассивационного осаждения вызвано механизмом переноса полимерных радикалов, т. е. конвективный поток составляющих частиц контролирует осаждение пассивирующей пленки (кремний-оксид-фторуглерод) в верхней части TSV, тогда как диффузионный поток контролирует дно TSV, когда соотношение



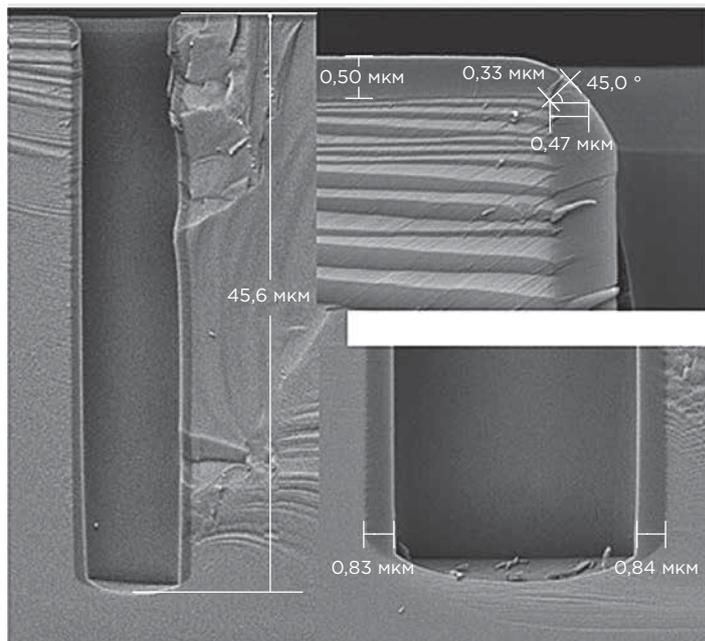
7

Неоптимизированный цикл привел к более высокой скорости травления оксида верхнего угла, чем на дне TSV. Источник: Chip Scale Review. May-June, 2023, TSV oxide etch-back optimization for the via-last integration scheme By Bhesetti S.S. Chandra Rao, Hemanth K. Cheemalamarri, Darshini Senthilkumar.

сторон TSV > 3. Снижение ER верхнего угла TSV связано с образованием толстой пассивирующей пленки. На рис 6 показана типичная пассивирующая пленка при отсутствии напряжения смещения. Результаты показывают, что в верхней части TSV была более толстая пассивирующая пленка, чем в нижней. Однако эта более толстая пассивирующая пленка (кремний-фторуглерод) недостаточно прочна, чтобы противостоять бомбардировке аргоном, и приводит к неэффективной защите оксида верхнего угла TSV из-за низкой энергии разрыва связи (~4,4 эВ) связей C-F в пленке.

Когда O<sub>2</sub> добавляется в химический состав травления, образование толстой пленки оксифторида кремния (Si-O-F) приводит к снижению ER оксида в верхнем углу TSV. ER падает с увеличением O<sub>2</sub> и достигает максимума, когда поток O<sub>2</sub> достигает 30 % от общего потока газа C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>. В дополнение к толстой пассивирующей пленке добавление O<sub>2</sub> также образует летучий COF<sub>2</sub>, что приводит к снижению концентрации свободных радикалов фтора. Повышение пассивации и снижение концентрации свободных радикалов фтора помогает снизить ER оксида в верхнем углу. Однако из-за более низкой пассивации в нижней части TSV оксид непрерывно распыляется на боковые стенки, приводя к более высокому ER.

Отношение ER верхнего оксида к нижнему является самым низким при более низком давлении и при 60 % нормализованного потока C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>.



8

Оптимизированный цикл привел к увеличению ER на дне TSV и снижению ER верхнего угла. Источник: Chip Scale Review. May-June, 2023, TSV oxide etch-back optimization for the via-last integration scheme By Bhesetti S.S. Chandra Rao, Hemanth K. Cheemalamarri, Darshini Senthilkumar.

При высоком давлении и более высоком потоке коэффициент ER выше, и доминирует ER оксида верхнего угла TSV, что приводит к полной потере оксида верхнего угла во время травления нижнего оксида, как показано на рис 7.

### Давайте подведем итог процесса оптимизации.

В результате, процесс травления оксида на дне TSV был оптимизирован. Результат показан на рис 8. Оптимизированный поток O<sub>2</sub> в режимах с дефицитом фтора помог минимизировать ER оксида в верхнем углу TSV с одновременным увеличением ER оксида на дне TSV. Также установлено, что необходимо использовать более низкое давление (<40 мТорр), расход аргона должен быть более высоким (более чем в 10 раз больше потока C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>), расход C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> < 100 см<sup>3</sup>/мин, а поток O<sub>2</sub> < 20 см<sup>3</sup>/мин.

Оптимизированные условия процесса позволили добиться на 20 % более высокого ER оксида в нижней части TSV, что поможет реализовать высоконадежный процесс травления TSV для схемы интеграции via-last.

### Источник

1. «TSV oxide etch-back optimization for the via-last integration scheme» By Bhesetti S.S. Chandra Rao, Hemanth K. Cheemalamarri, Darshini Senthilkumar. Chip Scale Review. May-June, 2023

# Конструкционные особенности подкола кристаллов толщиной менее 100 мкм

Текст: Григорий Савушкин



Спрос на компактные и легкие электронные компоненты растет с каждым годом. Этому способствуют постоянно растущие требования к улучшению геометрических, электрических и тепловых параметров интегральных микросхем и полупроводниковых приборов. Одним из методов повышения данных характеристик является уменьшение толщины кристаллов до 100 мкм и менее. В статье мы рассмотрим методы работы с такими кристаллами на этапе микросборочного производства.

Подложки МЭМС	250-370 мкм
Монтаж крышек МЭМС	100-300 мкм
Заказные МЭМС	140-200 мкм
Светочувствительные матрицы	100-150 мкм
Светочувствительные матрицы обратного освещения	50 мкм
Память	50 мкм
Логика	<10 мкм
Силовая электроника	60-110 мкм
СВЧ-приборы	100 мкм
Светодиоды	100 мкм
Лазерные диоды	100 мкм

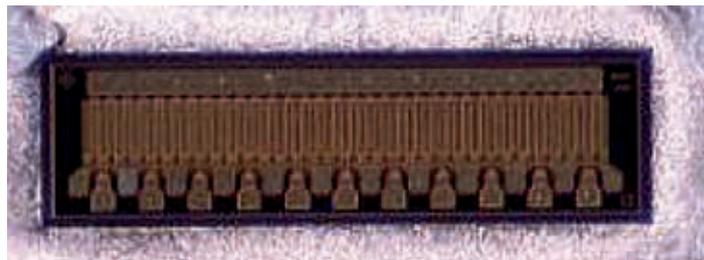
1

Стандартные значения толщины полупроводниковых кристаллов в различных устройствах на 2019 год [2]

Для полупроводниковых приборов тенденция к уменьшению толщины кристалла обусловлена как необходимостью уменьшения размеров корпусов и сборки, так и улучшением электрических и тепловых параметров приборов, таких как: тепловое сопротивление, рассеиваемая мощность, напряжение насыщения, прямое падение напряжения. И данная тенденция ставит новые задачи для существующих технологий микросборки, в основном в процессе монтажа кристаллов на этапе их подкола и захвата (рис 1). Это делает монтаж кристаллов одним из ключевых процессов изготовления электронных компонентов.

Работа с ультратонкими пластинами и кристаллами (толщиной до 100 мкм) требует дополнительного внимания к технологии производства, чтобы обеспечить надежность и качество полупроводниковой продукции. Например, в процессе утонения толщина пластины может варьироваться по площади в зависимости от используемых при сухой полировке параметров, что негативно отразится на прочности кристалла. Как следствие, из-за низкой прочности кристалла растет вероятность растрескивания микросхемы при съеме с пластины [1].

Полупроводниковые кристаллы обычно имеют размеры от 0,4 до 6,0 мм. Часто приходится иметь дело не только с квадратными, но и прямоугольными чипами, что создает определенные затруднения в процессе монтажа из-за неравномерных напряжений тонкого кристалла, приводящих к искривлению его плоскости.



2

Прямоугольный кристалл с соотношением сторон 4:1 (3,125×0,8 мм) и толщиной 75 мкм [3]

В процессе сортировки/монтажа кристаллы переносятся с пленки-носителя на поверхность выводной рамки или подложки. При захвате кристаллов обычно используется выталкивающая игла. Перемещаясь снизу вверх, она приподнимает кристалл относительно поверхности заранее разрезанной пластины, вакуумный инструмент монтажа производит захват, а далее помещает кристалл на выводную рамку или подложку.

Однако приведенный метод ненадежен для ультратонких пластин толщиной 100 мкм и менее. Выталкивающая игла оказывает сильное давление на заднюю поверхность кристалла, что создаёт микротрещины в месте контакта. Эти повреждения, часто незаметные визуально, имеют тенденцию к усугублению в процессе монтажа кристаллов, а также на последующих этапах микросборки, таких как: разварка микропроволочных соединений, герметизация, обрубка и формовка выводов, а также электрические испытания.

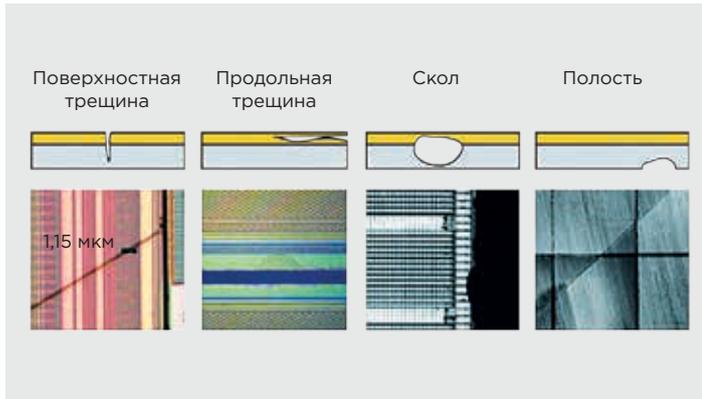
Также в случае ультратонких кристаллов с большим соотношением сторон (рис 2) из-за внутренних напряжений часто наблюдается искривление кристалла при съеме с носителя. Это говорит о том, что при работе с ультратонкими кристаллами стандартный процесс подкола с использованием иглы-выталкивателя может оказаться неприемлемым.

## Инструменты подкола

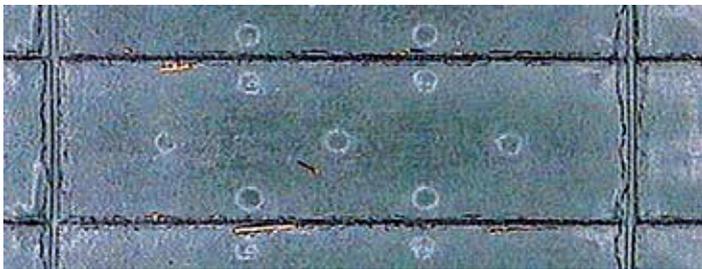
В типичном процессе монтажа процесс захвата кристалла состоит из усилия выталкивания снизу и усилия захвата сверху. Процесс захвата включает два действия: отделение пленки-носителя от кристалла и захват кристалла вакуумным инструментом. Вакуумный инструмент монтажа должен соответствовать размерам кристалла для надежного съема и захвата.

В полупроводниковой промышленности разработан ряд методов съема тонкого кристалла для уменьшения напряжения в кристалле и предотвращения его растрескивания. Широко применяется использование нескольких игл, распределенных по площади кристалла, для более равномерного распределения давления на кристалл при подколе. Однако этот метод все равно остается разрушающим для кристаллов малой толщины.

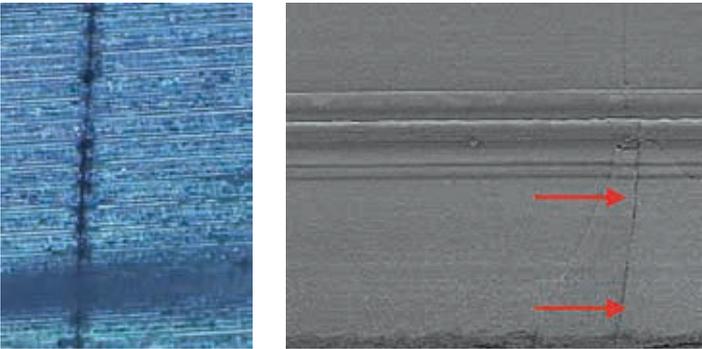
Также был разработан метод отслаивания кристалла с ленты-носителя, пригодный для сверхтонких пластин (<10 мкм) [4]. Однако его недостатком является сниженная



3  
Виды дефектов на поверхности кристалла [6]



4  
Следы плёнки-носителя на поверхности кристалла от выталкивающих игл [3]



5  
Пример микротрещины на поверхности (слева) и торце (справа) кристалла (снято методом сканирующей электронной микроскопии) [3]



6  
Инструменты подкола кристалла с внутренней полостью [4]

производительность из-за однонаправленного движения рабочего столика с пластиной.

В статье мы рассмотрим модификацию стандартного инструмента подкола – изменения в форме инструмента, в конструкции и количестве игл позволяют существенно снизить разрушающее действие процесса подкола на кристалл.

### Примеры повреждений кристаллов

На рис 3 показаны виды возможных макродефектов на поверхности кристалла, которые могут привести к разрыву электрических цепей в кристалле и отказу микросхемы, а значит и к неисправности устройства в целом. Ударное воздействие игл подкола в первую очередь создаёт риск поверхностных микротрещин в кристалле.

На рис 4 можно увидеть след от плёнки-носителя на кристалле после подкола, что демонстрирует силу воздействия выталкивающей иглы. Она имеет закругленную форму определенного радиуса, однако это не спасает ультратонкие кристаллы от повреждений из-за их сниженной прочности. Примеры поверхностной трещины на поверхности и на боковой стороне кристалла, вызванной подколом, представлены на рис 5.

Таким образом, стандартный процесс подкола малоприменим для работы с ультратонкими и сверхтонкими кристаллами, и инструменту требуется усовершенствование. Рассмотрим модификацию процесса подкола на примере прямоугольного кристалла размером  $3,125 \times 0,8$  мм и толщиной 75 мкм.

### Конструкция безэжекторного инструмента подкола

На плоском наконечнике инструмента подкола кристалла размещается полость, соответствующая геометрическим размерам кристалла (рис 6). Внутри полости в шахматном порядке располагаются вакуумное отверстие, способное создавать прижимное воздействие по форме кристалла, и столбики, выровненные относительно плоскости инструмента. Расположение столбиков по форме зигзага позволяет избежать несимметричного давления на кристалл при вакуумном прижиме, способного повредить его при съеме. При этом кристалл не испытывает усилия смещения, так как прижим инструмента удерживает кристалл в центре наконечника, а столбики находятся в статичном положении, не перемещаясь в отличие от стандартных игл подкола, и удерживают кристалл в центре инструмента.

Дополнительно производится нагрев инструмента, обеспечивающий большую эластичность плёнки-носителя. Оптимальной в случае использования майларовой плёнки можно считать температуру нагрева в диапазоне от 100 до 120 °С.

На первом этапе съема с плёнки инструмент приподнимает кристалл, растягивая нагреваемую им плёнку. При этом за счет расположения инструмента по центру кристалл испытывает малые механические напряжения при отклеивании с носителя, оставаясь в центре плоского наконечника.

Когда кристалл отделяется от носителя, процесс съема продолжается с помощью вакуумного инструмента захвата. Наконечник захвата имеет специальные стопорные элементы по бокам от вакуумного отверстия для планаризации кристалла перед размещением на подложке (рис 7). Такая форма инструмента позволяет повысить угловую точность монтажа кристаллов и предотвратить искривление кристалла после съема, что часто можно наблюдать на примере ультратонких полупроводниковых пластин, снятых с плёнки-носителя (рис 8).

Тем самым обеспечивается равномерная толщина линии монтажа (BLT – bond line thickness). Точное и плоскопараллельное размещение кристалла на подложке предотвращает образование пустот в адгезиве, удерживающем кристалл, что может привести к проблемам на последующих этапах корпусирования (рис 9). BLT имеет определяющее значение при обеспечении амортизации кристалла в корпусе.

### Заключение

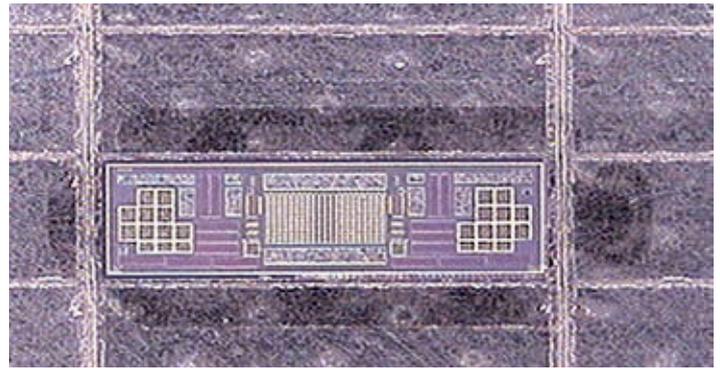
Описанный безэжекторный инструмент подкола позволяет решить проблему растрескивания кристалла при съеме с плёнки-носителя. Его конструкция является альтернативой стандартным выталкивающим иглам, мало подходящим для работы с кристаллами толщиной менее 100 мкм, так как они создают повышенные риски растрескивания кристалла в процессе монтажа, приводя к выходу из строя электронного компонента в процессе сборки.

Спрос на компактные и легкие электронные устройства растет, и такой метод подкола и захвата может стать технологичным решением при работе с кристаллами толщиной 100 мкм и менее. Данный процесс менее производителен, чем стандартный процесс с использованием выталкивающих игл, что снижает производительность на единицу оборудования. Однако этот недостаток компенсируется сниженной долей брака в итоговой продукции.

На рынке представлен широкий спектр оборудования для монтажа кристаллов – от малых серий в рамках НИОКР до массового производства на крупных предприятиях. Описанный метод подкола и захвата кристаллов уже доступен для внедрения на микроэлектронных производствах.

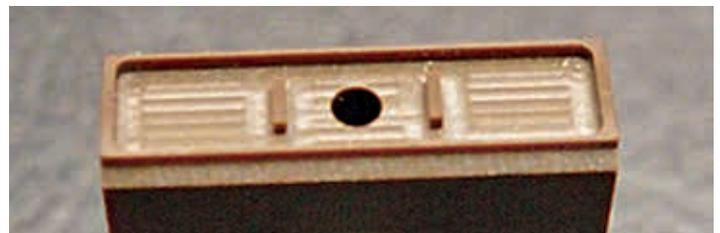
### Источники

1. Eun-Beom Jeon et al. Analysis of Interfacial Peeling of an Ultrathin Silicon Wafer Chip in a Pick-Up Process Using an Air Blowing Method / IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology PP(99):1-7, 2016
2. Thin Wafer Market & Applications. YOLE Development Report, 2020.
3. Nazrul Anuar Nayan et al. Thin and Rectangular Die Bond Pick-Up Mechanism to Reduce Cracking During the Integrated Circuit Assembly Process / Article in Advances in Science and Technology – Research Journal · 2020
4. Ahmad R. A. Rahman, Nazrul Anuar Nayan. Ejectorless Method for Die Attach Pick Up for Cracking Improvement on Thin High-Aspect Ratio Die / National University of Malaysia, Bangi, Malaysia. 2020



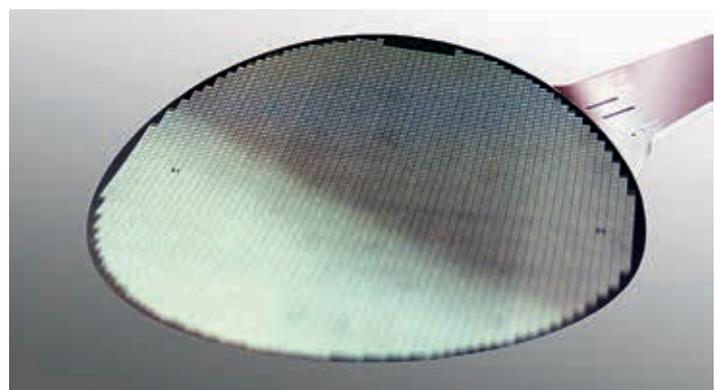
7

Расположение прямоугольного кристалла на безэжекторном инструменте [4]



8

Инструмент захвата кристаллов с деформационным стопором [4]



9

Примеры деформации ультратонких полупроводниковых пластин из-за наличия внутренних напряжений [7]

5. Chuichi Miyazaki et al. Development of high accuracy wafer thinning and pickup technology for thin wafer(die) / 2010 IEEE CPMT Symposium Japan, 2010
6. [www.semiconductor-digest.com/die-crack-detection-in-hvm-is-critical-for-high-reliability-applications/](http://www.semiconductor-digest.com/die-crack-detection-in-hvm-is-critical-for-high-reliability-applications/)
7. [www.jabil.com](http://www.jabil.com)

## КАЧЕСТВО

# Технологии измерений

Текст: Андрей Насонов



В статье мы поговорим о ситуации, которая сложилась в настоящее время с приборами и средствами измерения, используемыми в промышленности при производстве как РЭА, так и ЭКБ. До недавнего времени ставка во многом делалась на импортные приборы, а отечественные разрабатывались крайне редко. Такому положению дел способствовали два обстоятельства. Первое, это малые объёмы производства на отечественных предприятиях. Второе, безграничная вера в высокий уровень западных технологий на фоне полного неверия в свои силы. И если свой потенциал действительно надо наращивать и пробелы здесь очевидны, то вот насчет высокого уровня западных технологий – надо признать, что это далеко не всегда так.



1  
Генераторы импульсов тока экспоненциальной формы Г6-51

Наша компания также пребывала до поры до времени в состоянии этого заблуждения. Мы вполне успешно разрабатывали технологические процессы тестирования и измерения для электронной промышленности, используя в основном приборы иностранного происхождения. Однако еще до всех ограничений, когда наша промышленность по-настоящему начала оживать и действительно приступила к разработке новых изделий, стали возникать ситуации, когда с помощью импортных приборов невозможно было обеспечить некоторые характеристики. И не потому что нам их не продают, а потому что их просто не существует.

Первый раз в полной мере мы столкнулись с этим, когда возникла необходимость обеспечить тестирование мощных супрессоров (диодов). На первый взгляд, ничего сложного – стандартный импульс тока экспоненциальной формы с параметрами 10/1000 мкс. Однако ничего подходящего по всем требованиям – диапазоны измерений, доступность, цена – на мировом рынке обнаружить не удалось. Пришлось приступить к разработке линейки таких приборов самостоятельно. И это получилось. Результатом стала линейка приборов Г6-51\1...4 (рис 1).

В дальнейшем появился генератор Г6-52, который позволяет тестировать сразу пять приборов по круговому циклу и имеет систему распознавания типа дефекта тестируемого прибора, приведшего к отказу (рис 2)



2  
Генераторы импульсов тока экспоненциальной формы Г6-52

И тут пришло время всерьез задуматься о том, почему сложилась такая ситуация. Понятно, что дело не только в том, что мы самые умные – есть еще какие-то причины. Слишком уж заметна разница. Если наш прибор весит 23 кг, то наиболее близкий по параметрам импортный, который в разы менее мощный, 120 кг.

Очевидно, что если какая-то фирма разрабатывает оборудование, которое позволяет наладить производство чего-то нового, по-настоящему прорывного, то она вряд ли будет это оборудование продавать. Скорее всего, вообще никто не узнает, что такое оборудование существует. Отсюда следует очевидный вывод – если мы хотим создавать действительно новые технологии, то за граница нам не поможет. Нам продадут, но только то, что устарело или просто не является ключевым элементом для технологического развития. И это не про ограничения, это про бизнес. Следовательно, необходимо рассчитывать только на свои силы.

Есть и другая причина того, что импортные приборы не вполне оправдывают ожидания потребителей. Дело в том, что системный подход к вопросам метрологии есть только в России. Только у нас измерительные приборы разрабатываются как средства измерения. Импортные тоже могут быть внесены в Государственный реестр средств измерения, если будут подтверждены их заявленные характеристики. Среди них есть весьма достойные представители, ставшие уже классикой жанра, например, вольтметр НР3458, который разработан в 1988 году, и до сих пор ему нет достойной замены. Однако основная масса приборов – это изделия с хорошим дизайном, неплохой эргономикой, но весьма посредственными метрологическими характеристиками. Просто такой задачи при их разработке не ставилось. Часто они не подтверждают заявленную точность. А если и подтверждают, то далеко не во всех диапазонах измерения.



3

Четырехзондовая установка для измерения удельного и поверхностного сопротивления ИУС-7Р

Возникают и проблемы с сохранением характеристик в межповерочный интервал времени. Поэтому наша компания была вынуждена начать разработку ряда измерительных приборов.

И вот тут стало очевидно, что для решения каждой задачи недостаточно разработать только конкретное устройство. Необходимо решить целый комплекс задач.

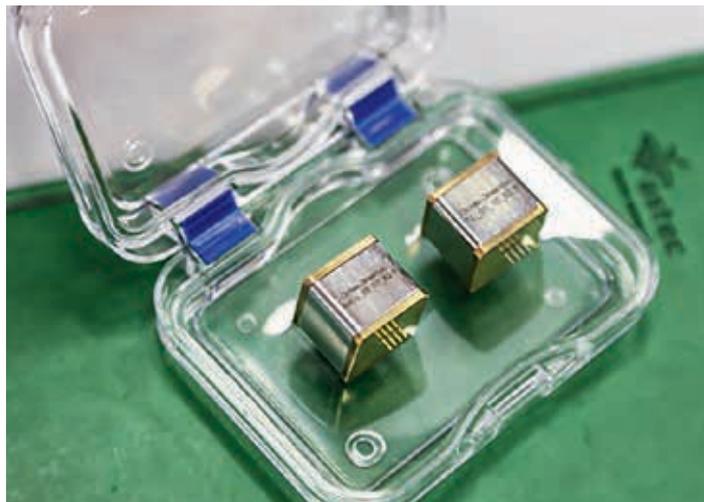
Например, задача измерения поверхностного сопротивления. Чтобы обеспечить достоверность измерений, необходима, прежде всего, зондовая станция с корректно работающей механикой и точными измерительными головками. Такую зондовую станцию мы разработали – это четырехзондовая установка для измерения удельного и поверхностного сопротивления ИУС-7Р (рис 3).

Точность измерения в значительной мере зависит от характеристик измерительной головки.



5

Микроомметр Е6-42



4

Четырехзондовые измерительные головки

Необходима точность межосевого расстояния между иглами лучше 10 мкм, нормированный радиус острия иглолки и нормированные усилия сжатия. Такие головки с метрологически подтвержденными характеристиками мы тоже разработали (рис 4).

Разумеется, и это не все. С зондовыми станциями в качестве измерителя часто используют источники-измерители импортного производства. Вполне возможный вариант, однако лучше использовать прибор, который более приспособлен для данной задачи. Был разработан и освоен в серийном производстве микроомметр Е6-42 (рис 5). Он внесен в Госреестр СИ и имеет режим измерения поверхностного сопротивления. Прибор высокоточный и способен проводить измерения малых сопротивлений при малых токах.

Таким образом, ИУС-7Р – это полностью аттестованный отечественный комплекс для измерения поверхностных сопротивлений. А так как точность комплекса существенно выше существующих эталонов поверхностного сопротивления, то возникла потребность в разработке методики и соответствующей оснастки для ее подтверждения.

Микроомметр Е6-42 – прибор универсальный, позволяющий производить высокоточные измерения сопротивления в диапазоне от 200 мкОм до 200 Мом. И чтобы реализовать эти возможности не только для измерения на пластинах, были разработаны щупы специальной конструкции, исключая неоднозначность измерения при малом соотношении длины и диаметра измеряемого проводника, что заметно у классических зажимов «Кельвина», представленных на рынке. Попытки использовать готовые щупы даже от ведущих мировых производителей не позволили добиться таких результатов.



6  
Мегаомметр E6-46

Практически получается, что если всерьёз и качественно решать любую задачу, то в настоящее время приходится идти на большой объём новых разработок. Что-то можно использовать импортное, но далеко не всегда.

Так появился мегаомметр E6-46, который позволяет выполнять измерение сопротивления в широком диапазоне приложенных напряжений с высокой точностью (рис 6). Прибор измеряет сопротивление до 200 ГОм при напряжении от 5 до 2000 В с точностью не хуже 1 %. Таким образом, он сочетает в себе возможности как приборов, предназначенных для испытания изоляционных свойств, так и мегаомметров, предназначенных для измерений при низком напряжении. Решать такие задачи сейчас получается либо с помощью старинных E6-13, давно уже снятых с производства, но всё ещё сохранных в реестре СИ, либо импортными приборами с непрогнозируемыми вопросами гарантийной поддержки и цены.

Сложности возникают и при измерении реактивных компонентов полюбившимися нашим инженерам RLC-метрами. Однако лишь немногие специалисты отдают себе отчет в том, что при измерении малых значений емкости и индуктивности предпочтителен именно резонансный способ измерения. Такой способ был реализован в старом, еще советском приборе E7-9 (1978-1991 г. в.). Отсутствие альтернативы заставляет в ряде случаев им пользоваться. Иностранцев с таким способом измерения на рынке нет. Измеритель емкости и индуктивности E7-35 (рис 7) в отличие от E7-9 имеет более широкие диапазоны измеряемых величин и в 10 раз более высокую точность, которая ожидает подтверждения на проходящих в данный момент испытаниях в рамках утверждения типа СИ.



7  
Измеритель емкости и индуктивности E7-35

Есть еще одно обстоятельство, которое существенно тормозит разработку новых средств измерения – это экономическая проблема. И ситуация одинакова во всем мире. Дело в том, что по-настоящему качественные и точные приборы – это продукты не всегда рыночные, т. к. разработка долгая и дорогая, объём продаж штучный. С точки зрения рыночной экономики – это плохие инвестиции. Но к чему привел отказ от системного развития собственных разработок и производства, мы увидели своими глазами. В некоторых случаях возможный срок окупаемости – никогда, но делать всё равно надо. Можно возразить – ну как же так, ведь от этого зависит успешность развития всей промышленности и государства в целом? Именно так – государства, а не конкретного инвестора. Вспомним упомянутый выше HP3458 – за 35 лет в мощнейших экономиках мира не нашлось желающего вложить деньги во что-то подобное.

**Вот и получается, если мы отдаем себе отчет в том, что развитие средств измерения имеет важнейшее значение для страны, то оно должно опираться на достоверные сведения о рынке и специализированные государственные программы развития средств измерения, которые действительно обеспечат взрывной рост числа отечественных разработок, в первую очередь, в интересах собственной промышленности.**

# Новые возможности визуального контроля

## полупроводниковых пластин

Текст: Сергей Максимов

”

Предприятия полупроводниковой промышленности заняты в проектировании и производстве полупроводниковых приборов. Отрасль сформировалась ещё в 1960-х годах после того, как производство полупроводниковых приборов стало рентабельным с появлением первых в мире серийно выпускаемых советских ЭВМ «Гном». Полупроводниковое производство – весьма трудоёмкий процесс, а сами приборы очень чувствительны к малейшим дефектам, которые ведут к отказам. Для исключения дефектов в технологии изготовления чипов вкладывают огромные инвестиции.

Возможно, что это прозвучит как «на грани фантастики», но миру нужны чипы, которые «не замечают» дефекты и устойчивы к ним. Они будут особенно эффективны в экстремальных условиях – например, в оборудовании, подвергающемся воздействию радиации, перегрузкам и т. д. В этой статье мы поговорим о полуфабрикатах, используемых в полупроводниковом производстве, и их контроле.

Полупроводниковая пластина, она же полуфабрикат, остается основным компонентом многих микроэлектронных устройств и является краеугольным камнем в электронной промышленности (рис 1). Самый распространенный метод изготовления монокристаллических пластин — это распил слитка, изготовленного по методу Чохральского. После этого следует механическая доработка – шлифовка, полировка, доведение до оптической чистоты поверхности и в завершение – подготовка поверхности химическим травлением тонкого слоя для удаления микротрещин и дефектов поверхности, оставшихся после механической полировки. Каждый этап технологического процесса подготовки поверхности для последующего использования требует жесткого оперативного контроля.

Сегодня в России только осваивают производство из отечественных материалов, заменивших зарубежное сырье при производстве кремниевых пластин для высокотехнологичных приборов. Так, на выставке «Иннопром-2022» холдинг «Росэлектроника» совместно с Институтом физики микроструктур РАН и Институтом химии высокочистых веществ РАН по заказу Минпромторга России показал первый образец монокристаллического кремния диаметром в 107 мм с удельным электрическим сопротивлением более  $1000 \text{ Ом} \cdot \text{см}$  (рис 2).

Львиная доля контроля качества ложится на визуальную оптическую инспекцию.

Традиционным методом контроля поверхности пластин является бесконтактный метод. Это рентгенографические, оптические, голографические, интерференционные методы. Мы рассмотрим унифицированный инструмент визуального контроля, где используется интерферометрия белого света (интерференционный метод) (рис 3). Оборудование данного типа позволяет проводить структурный поверхностный анализ в субнанометровом разрешении, определять критические размеры, получать характеристику поверхности, определять более 100 параметров формы, плоскостности, параллельности, шероховатости.

Для решения таких задач ООО «Остек-АртТул» предлагает современные инспекционные комплексы контроля пластин NanoMetric. На сегодняшний день в продуктовой линейке имеются приборы, которые смогут обеспечить постоянный контроль качества как в разработке, так и при серийном производстве. Модельный ряд инспекционных комплексов включает три самостоятельные модели с различными модификациями – NanoMetric SV, NanoMetric SV Pro, NanoMetric WD.



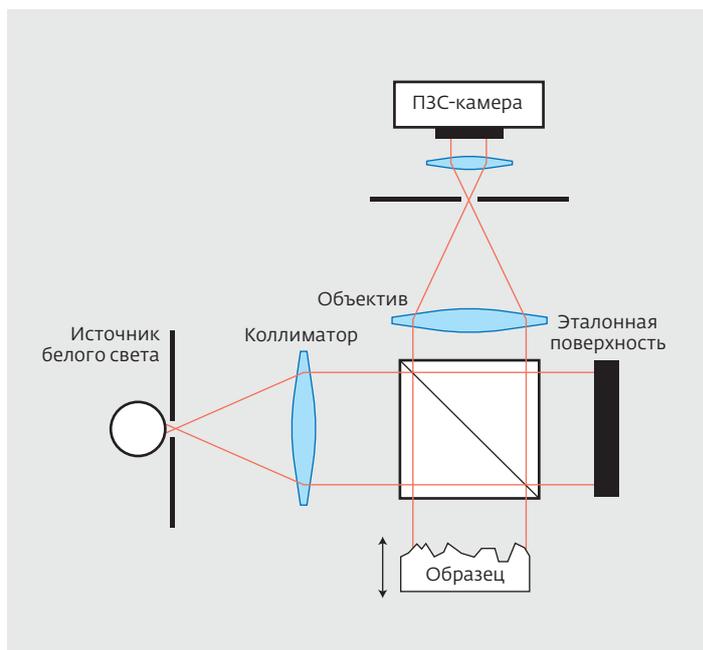
1

Заготовка монокристаллической пластины



2

Образец монокристаллического кремния на выставке «Иннопром-2022»



3

Принципиальная схема работы интерферометра белого света



4

NanoMetric SV

Т 1

Технические характеристики NanoMetric SV

Источник света	Диод (555 нм)	
Видеосистема	1024 × 1024	
Стандартное поле зрения	0,98 × 0,98	
Максимальное поле зрения	6,0 × 6,0	
Стол позиционирования	Размер, мм	320 × 220
	Диапазон перемещения	140 × 100
	Максимальная нагрузка, кг	10
	Способ управления	Моторизованный
	Угол наклона	±5°
Диапазон перемещения по Z, мм	100, моторизованный	
Диапазон сканирования хода по оси Z, мм	10	
Скорость сканирования по оси Z,	45 мкм/с	
Разрешение по оси Z	0,1 нм	
Разрешение по оси XY	0,1 мкм	
Характеристики поверхности измерения	Супер гладкая поверхность, шероховатая поверхность; отражающая способность поверхности 0,5 %~100%	
Источник питания	АС100-240 В, 50/60 Гц, 4 А, 300 Вт	
Габаритные размеры, Д × Ш × В, мм	900 × 700 × 604	
Вес, кг	150	
Опции	Интерференционные объективы: 2.5X, 5X, 10X, 50X, 100X	
	Оптическое увеличение: 0.75X, 1X	
	Вакуумный держатель пластин 4", 6", 8"	

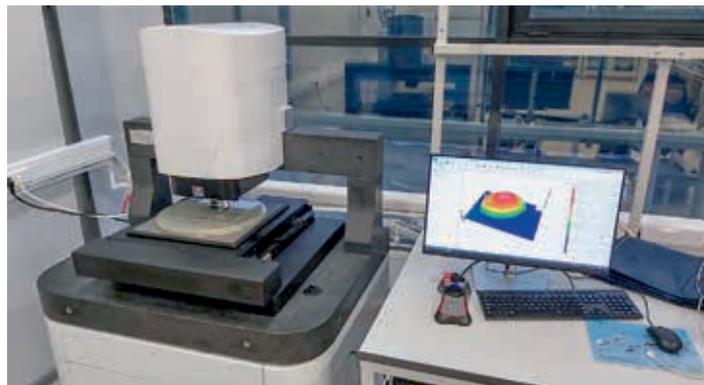
## Инспекционный комплекс NanoMetric SV

Компактный прибор позволяет работать с пластинами до 200 мм, возможна установка до пяти интерференционных объективов, все измерения проводятся в автоматическом режиме. Благодаря высокому пространственному разрешению NanoMetric SV устанавливает новые стандарты бесконтактных измерений рельефа поверхности, быстро определяет такие параметры, как плоскостность и шероховатость на ответственных и чувствительных структурах материала. Технология сканирования поверхности Smart значительно облегчает измерения на образцах с различной отражательной способностью. Технология компенсации окружающей среды позволяет применять систему даже в шумных производственных цехах. NanoMetric SV имеет функции 3-осевого измерительного микроскопа, строит 2D- и 3D-модели, определяет толщины пленок и обнаруживает самые мельчайшие дефекты благодаря использованию оптики с нанометровым разрешением (рис 4). Высокое разрешение по оси Z не зависит от используемого объектива.

## Инспекционный комплекс NanoMetric SV Pro

SV Pro – это напольная система с размерами 1000 × 900 × 1500 мм (Д × Ш × В) и весом 500 кг, которая позволяет контролировать пластины до 300 мм и имеет те же функциональные характеристики, как и NanoMetric SV.

Данные комплексы применимы для контроля пластин при небольших объемах и мелкой серии выпускаемой продукции. Такие приборы будут особенно интересны учебным организациям, небольшим дизайн-центрам и центрам разработки микроэлектроники. Только за 2022 год на территории России были введены в эксплуатацию более 12 таких комплексов (рис 5).



5 NanoMetric SV Pro

### T 2

Технические характеристики NanoMetric FA

Размеры контролируемых пластин	2", 4", 6", 8", 12"
Вакуумный держатель	Наличие
Загрузка и выгрузка	Ручная или автоматическая
Диапазон перемещения XYZ, мм	400/400/75
Максимальная скорость перемещения, мм/с	500
Материал основной рамы	Мрамор
Система гашения вибрации	Воздушноплавающая antivибрационная система
Грузоподъемность, кг	Не более 10
Размеры комплекса, мм	2047 x 1543 x 2000
Вес, кг	2000
Требования к сжатому воздуху	0,6 МПа; 60 л/мин
Рабочая среда	Температура 20 °C±1 °C/час, влажность 30-80 %, <0,002 g, менее 10Hz
Система измерения толщины	
Материал	Монокристаллы германия, кремния, карбида кремния, арсенида, фосфид галлия и др.
Датчик	Высокоточный конфокальный датчик белого света
Диапазон измерения, мкм	10 ~ 2000
Траектория сканирования	Полная карта, по линии, многоточечная
Точность, мкм	±0,25
Повторяемость (σ), мкм	0,2
Разрешение, нм	17
Измерение	Толщина, TTV, LTV, BOW, деформация, плоскостность, шероховатость
Измерительная система 3D-микротопографии	
Метод измерения	Высокоточный конфокальный датчик белого света
Объектив	10X (20X, 50X)
Поле зрения	0,96 x 0,96 мм (объектив 10x)
Турель	Ручная или моторизованная, до 5 объективов
Настройка положения	±2°
Диапазон сканирования по Z, мм	10
Разрешение сканирования	EVSI: 0,5 нм; EPSI: 0,1 нм
Латеральное разрешение, мкм	0,5 ~ 3,7
Скорость сканирования, мкм/с	2,5 ~ 5,0
Типы поверхности	Сверхгладкая поверхность, шероховатая поверхность; Отражательная способность 0,05 % ~100 %
Шероховатость RMS повторяемость, нм	0,005
Высота ступени	Точность 0,3 % Повторяемость 0,08 % 1σ



## 2D-параметры

СТАНДАРТ	ПАРАМЕТРЫ			
ISO 4287-1997		Профиль первичный	Профиль шероховатости	Профиль волнистости
	Амплитуда профиля	Pp, Pv, Pz, Pc, Pt, Pa, Pq, Psk, Pku	Rp, Rv, Rz, Rc, Rt, Ra, Rq, Rsk, Rku	Wp, Wv, Wz, Wc, Wt, Wa, Wq, Wsk, Wku
	Пик профиля	PPc	RPC	WPC
ISO 13565	ISO 13565-2	Rk, Rpk, Rvk, Mr1, Mr2, A1, A2, Rpk, Rvk		
ISO 12085	Параметры шероховатости	R, средняя глубина мотивов шероховатости AR, интервал между мотивами шероховатости Rx, максимальная глубина мотивов шероховатости		
	Параметры волнистости	W, средняя глубина волнистости мотивов AW, средний интервал мотивов волнистости Wx, максимальная глубина волнистых мотивов Wte, амплитуда верхней огибающей		
AMSE B46.1	2D	Rt, Rp, Rv, Rz, Rpm, RmaX, Ra, Rq, Rsk, Rku, tp, Htp, Pc, Rda, Rdq, RSm, Wt		
DIN EN ISO 4287-2010	Профиль первичный	Pa, Pq, Pp, Pv, Pz, Pc, Pt, Psk, Pku, Psm, PPc, Pdq, Pdc, Pmr,		
	Профиль шероховатости	Ra, Rq, Rp, Rv, Rz, Rc, Rt, Rsk, Rku, Rsm, Rpc, Rdq, Rdc, Rmr,		
	Профиль волнистости	Wa, Wq, Wp, Wv, Wz, Wc, Wt, Wsk, Wku, Wsm, Wpc, Wdq, Wdc, Wmr		
JIS B0601-2013	Профиль первичный	Pa, Pq, Pp, Pv, Pz, Pc, Pt, Psk, Pku, Psm, PPc, Pdq, Pdc, Pmr,		
	Профиль шероховатости	Ra, Rq, Rp, Rv, Rz, Rc, Rt, Rsk, Rku, Rsm, Rdq, Rdc, Rmr		
	Профиль волнистости	Wa, Wq, Wp, Wv, Wz, Wc, Wt, Wsk, Wku, Wsm, Wpc, Wdq, Wdc, Wmr		
GBT 3505-2009	Профиль первичный	Pa, Pq, Pp, Pv, Pz, Pc, Pt, Psk, Pku, Psm, PPc, Pdq, Pdc, Pmr,		
	Профиль шероховатости	Ra, Rq, Rp, Rv, Rz, Rc, Rt, Rsk, Rku, Rsm, Rdq, Rdc, Rmr		
	Профиль волнистости	Wa, Wq, Wp, Wv, Wz, Wc, Wt, Wsk, Wku, Wsm, Wpc, Wdq, Wdc, Wmr		

Стратегия развития микроэлектроники до 2030 года подразумевает создание промышленной базы для серийного производства. ООО «Остек-АртТул» подготовил решение для этих задач, представив инспекционный комплекс NanoMetric FA.

NanoMetric FA – это полноразмерные инспекционные машины, предназначенные для потокового контроля пластин в мелкосерийном и крупносерийном производствах. В основе измерения лежат интерференционный и конфокальный методы измерения (рис 5). Комплекс позволяет проводить измерения толщины пластины, TTV, LTV, BOW, WARP, в автоматическом режиме проводить анализ «годен/не годен» в соответствии со стандартами ISO/ASME/EUR/GBT. Также комплекс может быть

оснащен манипулятором для автоматической загрузки и выгрузки пластин.

Аналитические возможности инспекционных комплексов идеально вписываются в международные стандарты ISO/ASME/EUR/GBT, что в совокупности обеспечивает повышение эффективности и качества на всем производственном цикле. В таблицах 3 и 4 представлены параметры, определяемые комплексом в связке с уникальным программным обеспечением VisionX.

На сегодняшний день специалистами ООО «Остек-АртТул» проводится сертификация всей линейки интерференционных комплексов для последующего внесения их в государственный реестр средств измерений, что важно для наших заказчиков – ведь каждый измеренный параметр будет иметь метрологическое обеспечение.

T 4

3D-параметры

СТАНДАРТ	ПАРАМЕТРЫ	
ISO 25178	Высота	Sq, Ssk, Sku, Sp, Sv, Sz, Sa
	Объем	Vm, Vv, Vmp, Vmc, Vvc, Vvv
	Форма	Spd, Spc, S10z, S5p, S5v, Sda, Sha, Sdv, Shv
ISO 12781	Плоскостность	FLTt, FLTp, FLTv, FLTq
EUR 15178N	Амплитуда	Sa, Sq, Sz, Ssk, Sku, Sp, Sv, St
	Пространство	Str, Std, Sal
	Составной параметр	Sdq, Sds, Ssc, Sdr, Sfd
	Площадь, объем	Smr, Sdc
EUR 16145 EN	Амплитуда	Sa, Sq, Sy, Sz, Ssk, Sku
	Смешанный параметр	Ssc, Sdq, Sdr
	Функция	Sbi, Sci, Svi, Sk, Spk, Svk
	Пространство	Sds, Std, Stdi, Srw, Srwi
	Твердость	Hs, Hvol, Hv, Hps, Hpv, Hap, Hbp
ASME B46.1	3D	St, Sp, Sv, Sq, Sa, Ssk, Sku, SWt

**Инспекционные комплексы могут использовать в своей работе ученые, студенты, разработчики и специалисты по контролю качества продукции. Широкие возможности применения решают проблемы контроля топографии поверхности монокристаллических пластин при производстве полупроводниковых приборов, с которыми не могут справиться классические контактные или световые системы контроля. Также при своем исключительном диапазоне, разрешении и простоте использования системы идеально подходят для исследований, разработок, контроля качества в различных отраслях промышленности: машиностроении, энергетике, микромеханике, оптике, прецизионном машиностроении, биологии и медицине.**



6

NanoMetric FA

# Применение технологии Press Fit: причины и рекомендации

Текст: Николай Малиновский

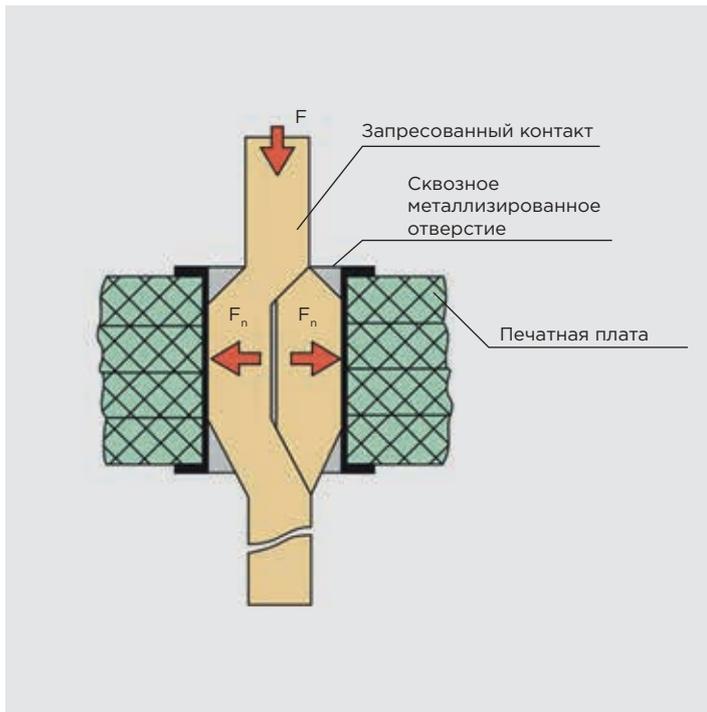
## Кратко о причинах проблем, поиск решения которых привел к созданию технологии Press Fit

История разработки технологии Press Fit начинается примерно с 70-х годов прошлого столетия. На том этапе технологического развития радиоэлектронной индустрии большинство сложных устройств и систем проектировалось по модульному принципу, что требовало применения различных много-контактных соединительных систем, в том числе, соединительных печатных плат (кросс-плат). Необходимость увеличения количества связей и, соответственно, сочленений неизбежно приводило к изготовлению многослойных печатных плат с большим количеством слоев (до 36). При этом возникала существенная проблема на этапе монтажа в отверстия большого количества разъемов на таких ПП, обладающих крайне высокой теплоемкостью. В некоторых случаях вообще невозможно было осуществить пайку, обеспечивающую необходимую надежность отдельного соединения и соединительной платы в целом. Невозможно было обеспечить без повреждения ПП требуемый прогрев, обеспечивающий протекание припоя на всю глубину монтажного отверстия.

В то время многие подобные соединители выполнялись методом объемного монтажа путем пайки или накрутки проводов непосредственно на монтажные части разъемов. Однако все перечисленные способы организации соединительных конструкций обладают высокой трудоемкостью при изготовлении, высокой вероятностью образования дефектов и не обеспечивают требуемую надежность.

Одним словом, пайка объединительных панелей создавала неразрешимые проблемы.

Попытки заменить паяные соединения впрессовыванием контактных штырей в металлизированные отверстия предпринимались давно, но безуспешно. Положительным результатам препятствовало явление релаксации: материал основания платы «плывет», ослабляя первоначально тугое соединение штырей с отверстиями. Через некоторое время материал расступается, и штыри выпадают из отверстий. Мало того, большие производственные погрешности при воспроизведении размеров элементов сочленения штырей и отверстий приводили к тому, что часть соединений изначально не получала тугой посадки.



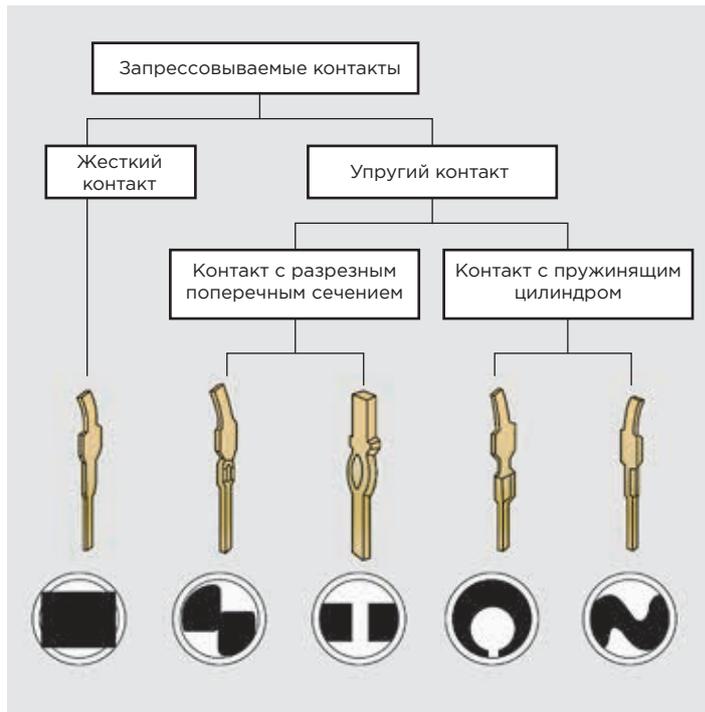
1 Принцип соединения по типу Press Fit

### Развитие технологии Press Fit

Положительный эффект наступил, когда научились на контактном штыре выполнять специальную пуклевку, создающую упругую деформацию при впредсовывании штыря в отверстие (рис 1). Упругая деформация пуклевки компенсирует релаксацию материалов и погрешности размеров отверстий плат. Формы таких пуклевок разнообразны (рис 2), но все они имеют широкую зону упругой деформации и поверхность сопряжения, достаточную для электрического и механического контакта штыря с отверстием.

На сегодняшний день технология Press Fit продолжает расширять области применения, а также значительно расширяется номенклатурный ряд конструкций всевозможных соединителей, т.к. доказано наличие множества преимуществ, по сравнению с паяными соединениями:

- высокая механическая прочность на растяжение;
- высокая устойчивость к вибрационным нагрузкам;
- отсутствие необходимости в нагреве для образования соединения (в ряде случаев данное обстоятельство играет решающую роль);
- коррозионная стойкость за счет герметичности контакта;
- экономичность;
- простота ремонта (благодаря отсутствию нагрева);
- гигиеничность производства (благодаря отсутствию флюсов и припоев);
- высокая надежность.



2 Классификация соединений Press Fit

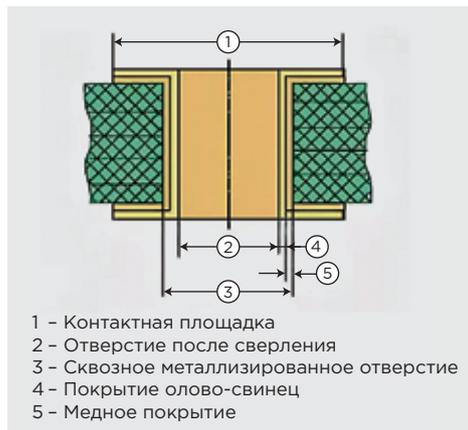
### Основные элементы технологии Press Fit

Запрессовываемый контактный штырь состоит из части для сочленения с ответным соединителем, запрессовываемой части (пуклевки), заходной части и части, предназначенной либо для монтажа накруткой, либо сочленения с другим соединителем (рис 3).

Часть контакта под монтаж накруткой является необязательной и, как правило, применяется в разъемах, предназначенных для соединительных плат.



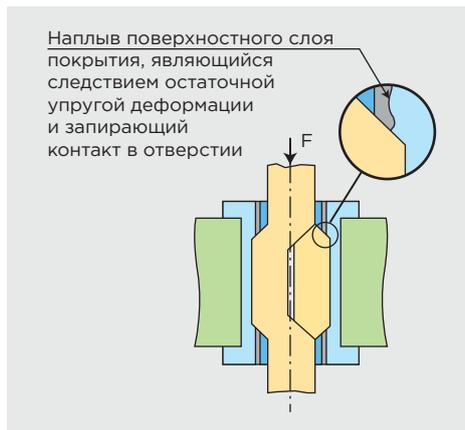
3 Назначение элементов конструкции контактного штыря



- 1 - Контактная площадка
- 2 - Отверстие после сверления
- 3 - Сквозное металлизированное отверстие
- 4 - Покрытие олово-свинец
- 5 - Медное покрытие

4

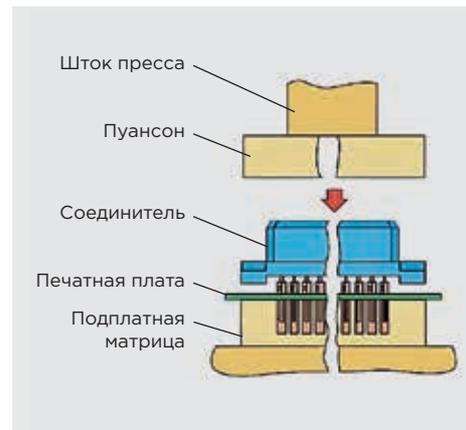
Структура сквозного металлизированного отверстия



Наплыв поверхностного слоя покрытия, являющийся следствием остаточной упругой деформации и запирающий контакт в отверстии

5

«Запирание» пуклевки в металлизированном отверстии



6

Оснастка, используемая для запрессовки контактов разъемов в платы

Динамично развивающиеся технологии в области радиоэлектроники постоянно совершенствуются, в том числе внося коррективы в конструкции разъемных соединений и форм контактов для Press Fit.

Сквозные металлизированные отверстия имеют структуру, представленную на рис. 4, и выполняются в печатных платах номинальной толщиной 1,5–6,4 мм, изготавливаемых из стеклоэпоксида типов G10, G11, FR5 и EP.

Требуемая толщина меди в сквозных металлизированных отверстиях под запрессовку больше, чем под пайку, а допуски на эту толщину более жесткие. Однако слишком толстое медное покрытие может привести к излишнему увеличению усилий запрессовки.

Оловянно-свинцовое покрытие не должно быть слишком толстым, так как в этом случае его частицы будут выдавливаются из отверстия запрессовываемым контактом и создадут опасность замыкания.

Оловянно-свинцовое покрытие может и не наноситься. В этом случае в отверстии будет чисто медное покрытие. Однако, как правило, оно присутствует, играя роль металлорезиста при травлении рисунка, а при запрессовке – «смазочного» покрытия.

Технология запрессовки требовательна к конечному диаметру металлизированного отверстия в печатной плате в большей мере, чем для процессов пайки. Она вынуждает назначать и соблюдать определенные допуски на всю структуру отверстия. Это касается и диаметра отверстия после сверления (в первую очередь), и толщины медного покрытия (во вторую), и толщины оловянно-свинцового покрытия (в третью) – то есть всех размеров, формирующих конечный диаметр отверстия.

При формировании отверстия под запрессовку его диаметр после сверления должен быть больше, чем при получении металлизированного отверстия под пайку. Диаметр сверления наиболее ответственен за усилие запрессовки и выпрессовки (демонтажа) контактных штырей.

Запрессовка контакта начинается с подачи на его опорные поверхности усилия запрессовки, под воздействием

которого предварительно установленный контакт начинает входить в сквозное металлизированное отверстие печатной платы. Сначала в соприкосновение с отверстием входит заходная часть, внедряющаяся в поверхностный слой покрытия отверстия, начинается формирование зоны электрического контакта за счет встречной упругой деформации запрессовываемой части контакта и боковых стенок отверстия. В ходе продолжающегося воздействия усилия запрессовки в отверстие внедряется вся запрессовываемая часть, которая благодаря ее деформации адаптируется к диаметру отверстия, не повреждая его. Таким образом обеспечивается плавное и равномерное возрастание давления на стенки отверстия, а в зоне контакта формируется соединение холодной сваркой. Упругая пуклевка контакта при скольжении по стенкам отверстия самостоятельно встает в вертикальное положение и образует плотное соединение со сквозным металлизированным отверстием. Плотность электрического контакта обеспечивается взаимными усилиями: со стороны штыря и со стороны отверстия. Наплыв поверхностного слоя покрытия боковых стенок отверстия на пуклевки штыря запирает штырь в отверстии (рис. 5).

### Компоненты оснастки

Основными компонентами комплекта для запрессовки одиночных контактов и многوشтыревых соединителей с запрессовываемыми контактами являются пуансон, передающий давление со штока пресса на соответствующие опорные поверхности контакта, и подплатная матрица, обеспечивающая дополнительную жесткость платы (рис. 6), чтобы она не прогибалась под воздействием усилия запрессовки.

Рекомендуется выполнять запрессовку соединителей на платы после установки и пайки компонентов. При пайке после запрессовки разъемов печатные платы нагреваются до температур, превышающих температуру стеклования связующего материала платы. Материал основания «плавает» и прессовое соединение ослабляется.

## О контрольных операциях

К сожалению, сегодня оценка качества соединений Press Fit выполняется лишь по микрошлифам, снимаемым с образцов-свидетелей, что, естественно, приводит к росту затрат на производство ответственных изделий электронной техники.

За рубежом широко применяется метод конечных элементов, позволяющий еще до запрессовки оценить параметры соединения, подобрать оптимальные условия его получения и на выходе получить результаты, отличающиеся достаточно высокой достоверностью. Однако и такой подход все же не дает возможности определить реальную картину прессового соединения.

## Перспективы технологии Press Fit

Соединения, выполняемые запрессовкой, обладают высоким уровнем надежности, способным конкурировать с паяными соединениями. При этом они лишены тех проблем, которые традиционно сопровождают процессы пайки. Данные соединения сравнительно просты в реализации, требуют минимального комплекта оборудования и отличаются экономической эффективностью, экологичностью и ремонтпригодностью.

## Технологическое оборудование

На текущий момент можно выделить три основных класса технологического оборудования, применяемого для запрессовки соединительных компонентов типа Press Fit в ПП:

- ручной механический пресс;
- полуавтоматический прецизионный пресс с электроприводом;
- автоматический пресс (в том числе, встраиваемый в сборочные линии).

Ручной механический пресс, как правило, применяется для изготовления единичных и мелкосерийных партий изделий.

Как правило, ручной пресс обеспечивает максимальное усилие запрессовки от 23 до 32 кН (2–3 т), а результат запрессовки (который зависит от точности позиционирования, юстировки пресса, скорости и усилий в процессе запрессовки) практически полностью определяется человеческим фактором. Исходя из этого, обеспечить низкий уровень дефектов и обеспечить повторяемость технологического процесса, достаточно затруднительно при серийном производстве.

Полуавтоматический прецизионный пресс с электроприводом, как правило имеет максимальное усилие запрессовки (в зависимости от модели: 1, 3, 5, 8 и 10 т). Управляется по отлаженным под конкретные задачи программам запрессовки, имеет встроенные датчики давления, обратные связи, что обеспечивает гарантированность повторяемости технологического процесса. Этот пресс обладает высокой прецизионностью хода штока пресса по оси Z (минимальный шаг может составлять 0,001 мм).

Существуют две основные концепции реализации полуавтоматического технологического процесса Press Fit.

Одна заключается в том, что матрица оснастки для конкретного типа разъема фиксируется на опорном столе пресса, а пуансон устанавливается и фиксируется на штоке пресса. При этом ПП укладывается в универсальную (регулируемую по глубине под конкретный размер ПП) раму, плоскость которой находится между матрицей и пуансоном. Рама с установленной ПП перемещается по осям X/Y, что позволяет позиционировать посадочное место для разъема на ПП относительно матрицы и пуансона. Точное окончательное позиционирование по X/Y осуществляется микровинтами. Существуют опции, позволяющие операцию позиционирования автоматизировать, если требуется установить значительное количество одинаковых разъемов.

Во второй концепции юстировочная рама для размещения ПП отсутствует. Пресс имеет достаточно большую поверхность стола основания, а на двух, синхронно перемещающихся штоках, закреплена платформа. Для таких прессов изготавливается подплатная матрица, соизмеримая с габаритами ПП и пуансон-вкладыш, который вкладывается в наживленный в посадочные отверстия ПП разъем. Данная подборка перемещается в зону под верхней платформой, и запускается автоматический режим запрессовки. Такой подход позволяет избежать операции точного позиционирования посадочного места под разъем на ПП с осью штока пресса.

Программирование цикла запрессовки и прецизионность хода штока пресса для обеих концепций примерно одинаковы.

Концепция с юстировочной платформой для размещения ПП предполагает, что после смены матрицы и пуансона выполняются отладочные операции. Таким образом, данная концепция пресса наиболее эффективна для запрессовки большого количества одинаковых разъемов. При необходимости запрессовки различного типа разъемов эффективность будет значительно снижаться за счет множества переналадок.

В концепции стол, над которым перемещаемая штоками платформа, ПП один раз укладывается на подплатную матрицу, а меняются только соответствующие пуансоны, вкладываемые непосредственно в одноименный корпус разъема. Для выполнения запрессовки подплатная матрица с ПП просто перемещается в зону действия верхней платформы, и педалью включается цикл программы запрессовки. Таким образом, отсутствуют операции юстировки и переналадки при смене пуансонов.

Выбор автоматического оборудования на текущий момент не велик и применяется оно, из экономических соображений, только при крупносерийном производстве.

*Специалисты Остек-СМТ готовы помочь с выбором подходящих систем для монтажа печатных плат и решением ваших производственных задач.*

# Как выбрать ТНТ-установщик?

Текст: Владимир Казанцев

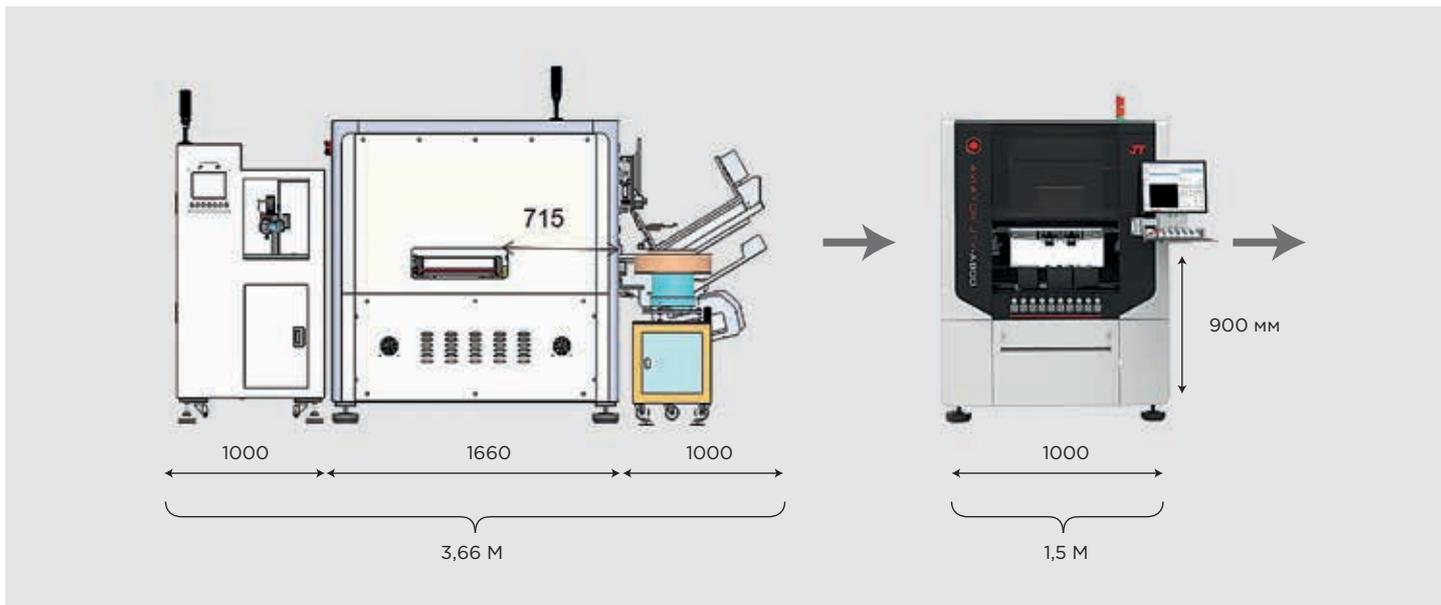
Развитие в России серийного производстве вычислительной техники сделало крайне актуальным вопрос автоматизации монтажа выводных (ТНТ) компонентов. Для этого, разумеется, существуют автоматические установщики. Но технологии не стоят на месте, и сегодня это уже не винтажные автоматы для монтажа аксиальных и радиальных компонентов, а нечто более гибкое и технологичное.

Для начала необходимо определиться, в каких случаях автоматические ТНТ-установщики (Инserterы) оправданы. Самым важным критерием является большой объем ТНТ-компонентов, которые ставить вручную сложно и дорого. Под «сложно» мы понимаем техническую и технологическую сложность компонентов. Особое внимание стоит уделить многовыводным компонентам, например, разъемам, которых в современной аппаратуре достаточно. А ставить их руками не всегда просто. А под «дорого» подразумевается необходимый штат набивщиков, которые должны в режиме 24/7 успевать за скоростными системами волновой или селективной пайки. Сотрудников часто требуется много, их еще надо найти. Поэтому, если выводных компонентов много, а их установка дорога обходится для компании и вызывает технологические сложности, то стоит, как минимум,

изучить тему Инserterов и их возможности для планирования развития производства.

Когда вы приняли решение, что Инserter для вашего производства актуален, необходимо ответить на ряд вопросов для подбора решения:

1. Выбрать изделия, желательно несколько, которые вы планируете автоматизировать для сборки на Инserterе. Критичными в данном случае являются габариты платы, мультипликация, наличие реперных знаков.
2. Будет ли плата собираться в оснастке (например, для пайки волной) или нет? Если в оснастке – то важны габариты оснастки, если нет – то важно наличие технологических полей на краях платы.
3. Определиться с производительностью или циклом сборки, а также количеством смен работы.
4. Выбрать компоненты на платах, которые предполагается ставить при помощи Инserterа. К сожалению, не всегда удастся автоматизировать монтаж всех компонентов из-за того, что не удовлетворены требования по конструкции печатной платы и упаковки компонентов. Требуется определить упаковку



1

Рабочая зона Инserterа

компонента и в дальнейшем ее не менять. Упаковка компонента очень критична, так как она определяет конфигурацию автомата. Ряд питателей, например, вибробункер, делается под конкретное исполнение компонента, и в дальнейшем их конструкция не подлежит изменению. Компоненты с радиальными и аксиальными выводами должны идти в ленте, а не в россыпи и т.д.

5. Определиться с формовкой компонента. Не все виды формовки могут быть реализованы в автоматическом питателе.
6. Заложить соответствующие площади и коммуникации. В отличие от автоматов установки компонентов для поверхностного монтажа, Инserterы, как правило, занимают большую площадь (за счет габаритов питателей), а также потребляют больше сжатого воздуха.

К автоматическому монтажу ТНТ-компонентов, как и к любой автоматизации, предъявляется ряд требований, которые необходимо соблюдать для качественного и быстрого процесса сборки. Большая часть этих требований касается упаковки и выводов компонентов. А также есть ряд требований к конструкции печатной платы.

Требования к упаковке компонентов:

- Для радиальных компонентов (электролитические алюминиевые конденсаторы, ...) – компоненты должны идти в ленте, шаг подачи компонента 12,7 или 15 мм. Диаметр выводов – не более 0,8 мм.
- Для радиальных компонентов (резисторы, ...) – компоненты должны идти в ленте. Ширина ленты может быть в пределах 63-65мм, 73-75 мм и 83-85 мм. Диаметр выводов – не более 0,8 мм.
- Если компоненты идут в пеналах ( микросхемы),

то выводы компоненты должны быть ориентированы вниз, ширина пенала в пределах 10-50 мм.

- Для компонентов в матричных поддонах – размер поддона должен быть в пределах 400 × 400 мм, выводы компонента в поддоне направлены вниз, и компонент зафиксирован в поддоне (не смещается в пределах ячейки).
- Если компоненты идут в россыпи (для вибробункера) – то выводы компонентов должны быть достаточно жесткими, чтобы не деформироваться в процессе перемещения по питателю. Также важно понимать, что вибробункер заказывается под конкретное исполнение компонента, и в дальнейшем не подлежит переналадке под другой компонент.

Требования к печатной плате:

- Диаметр монтажных отверстий должен быть больше диаметра вывода как минимум на 0,4 мм.
- Технологические поля на краях платы не менее 3 мм. Если нет технологических полей – то необходимо использовать специальную оснастку.
- Шаг выводов компонента должен соответствовать шагу монтажных отверстий.
- Расстояние между соседними корпусами компонентов должно быть не менее 3 мм (если монтаж осуществляется при помощи пневматического гриппера).
- Допуск к шагу выводов  $\pm 0,4$  мм от шага монтажных отверстий.

*Таким образом, если соблюдены все вышеперечисленные требования, можно выбрать Инserterы под ваши задачи. Специалисты Остек-СМТ готовы в этом помочь.*

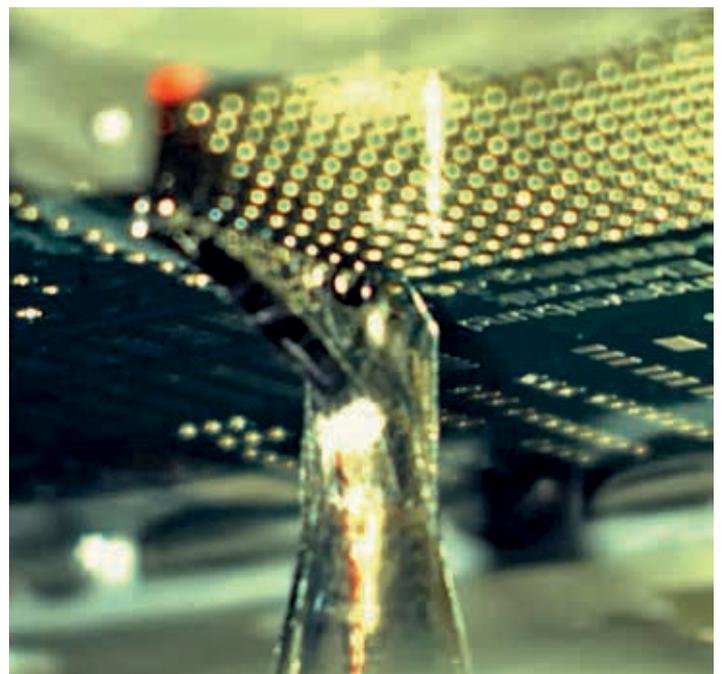
# Пайка с чистым и грязным азотом

Текст: Владимир Казанцев

Нашим специалистам часто задают вопросы о том, какая реально нужна чистота азота для селективной пайки, на что это реально (а не в теории) влияет и какие есть конкретные примеры.

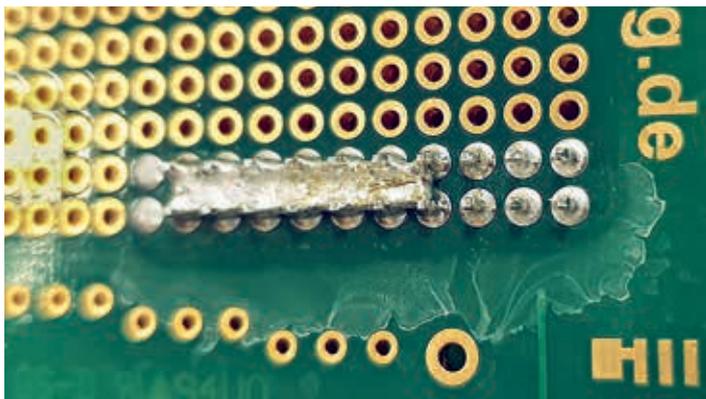
Прежде всего, давайте попробуем ответить на вопрос – нужен ли азот (пока что без привязки к чистоте азота) для селективной пайки? Или можно вполне без него обойтись? Проверить это можно очень просто, особенно если в наличии есть установка селективной пайки. Достаточно перекрыть доступ азота и попробовать спаять, например, PLD-разъем. Результат можно увидеть на рис **1** и **2**.

При пайке без азота вся поверхность припоя покрывается оксидной пленкой, которая приводит к сплошным перемычкам, причем, как правило, между всеми выводами разъема. Также важно иметь в виду, что без применения азота припой очень быстро зашламляется. И, как следствие, возникают дефекты пайки, загрязнение платы шламом, а также неспособность подачи припоя помпой. Т.е. мы приходим к выводу, что азот все же нужен.



**1**

Процесс селективной пайки без азота

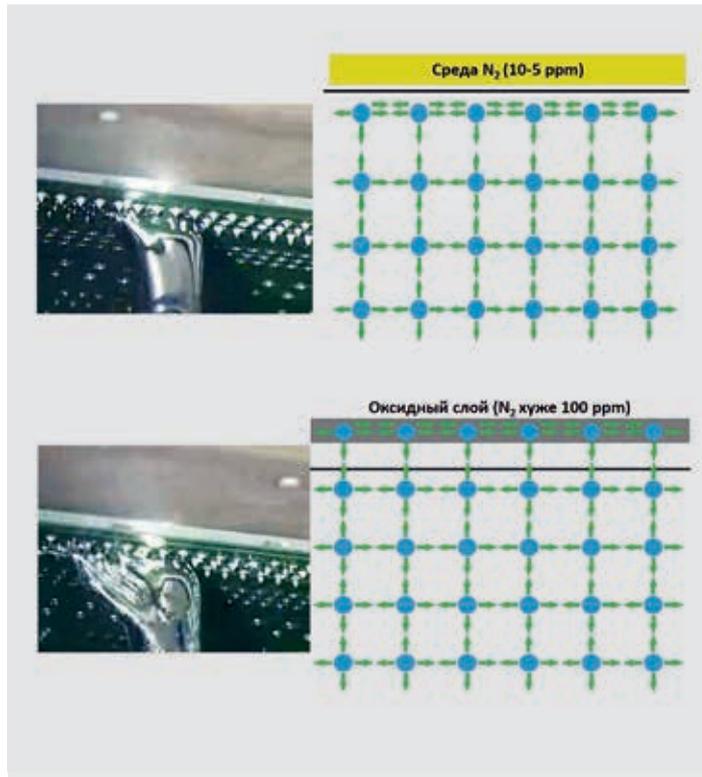


2  
Результат селективной пайки без азота

Теперь попытаемся ответить на вопрос – какой чистоты азот нужен? Большинство производителей оборудования твердят, что чистота азота должна быть не хуже чем 99,99..99,9995 % (100..5 ppm). А последние 10 лет почти все они твердят, что чистота азота должна быть ближе к 99,999..99,9995 % (10..5 ppm). На практике же, при чистоте азота хуже 99,99 % (100ppm) для припоя азота как будто бы и нет, и припой очень сильно окисляется.

И, как следствие, при пайке с использованием «грязного» азота (хуже 100 ppm или 99,99 %) опять имеем сплошные перемычки припоя. Примеры перемычек на разъемах DIN 41612 и PLD при пайке в среде азота с чистотой хуже 100 ppm (99,99 %) представлены на рис 4 и 5

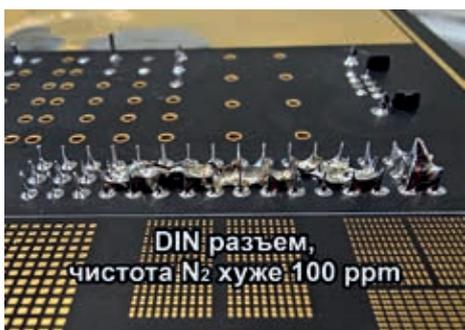
Все вышеописанные тесты были проведены на установке селективной пайки с электромагнитной помпой со смачиваемым волнообразователем. В процессе первого дня (8 часов) активных тестов ванну с припоем от шлама чистили три раза. Обычно рекомендуют чистить ванну от шлама один раз в смену (8 часов). Но из-за обильного шламообразования в определенный момент припой физически переставал протекать через канал подачи, и приходилось



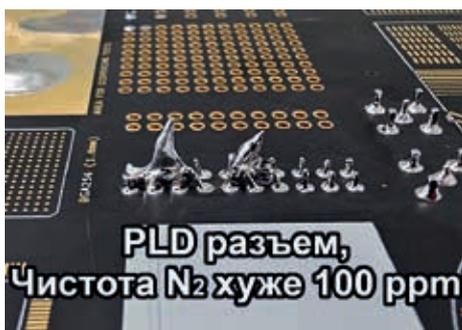
3  
Селективная пайка с «чистым» и «грязным» азотом

проводить внеочередное обслуживание. Также к концу дня активных тестов смачиваемое покрытие волнообразователя/насадки практически полностью разрушилось (рис 6), и припой переставал смачиваться на волнообразователе. И этот волнообразователь уже нельзя использовать для пайки. Для сравнения, при использовании азота с чистотой 10..5 ppm такие насадки в среднем служат не менее трех недель.

*Специалисты Остек-СМТ могут с уверенностью заявить, что азот для технологии селективной пайки жизненно необходим, причем чистота азота, как правило, должна быть не хуже 10 ppm.*



4  
Результаты пайки DIN-разъема с азотом хуже 100 ppm



5  
Результаты пайки PLD-разъема с азотом хуже 100 ppm



6  
Насадки с разрушенным смачиваемым покрытием

# Автоматический МОНТАЖ ТНТ-компонентов, проблемы «падающих» КОМПОНЕНТОВ

Текст: Владимир Казанцев

В этой статье разберем проблему «падающих» компонентов перед или во время пайки волной после автоматического монтажа и предложим пути решения.

Большинство современных универсальных (Odd-Form) автоматических установщиков ТНТ-компонентов не умеют делать подгибку выводов компонента снизу печатной платы. Как результат – часть компонентов во время транспортировки платы перед волновой или селективной пайкой, а также непосредственно во время пайки могут падать набор и смещаться на плате.

Чаще всего данная проблема актуальна для алюминиевых электролитических конденсаторов, соотношение высоты компонента к диаметру корпуса которых  $N_{\text{комп}}/корп > 3$ . Проблема также осложняется требованием к диаметру монтажного отверстия – оно должно быть больше диаметра вывода компонента не менее 0,4 мм. При таком зазоре есть риск того, что волна припоя может выдавить компонент. Как следствие, плата запаивается без компонента. Это может

стать значительной проблемой, особенно на больших партиях изделий.

Варианты решения проблемы «падающих на бок» компонентов при автоматизированной сборке:

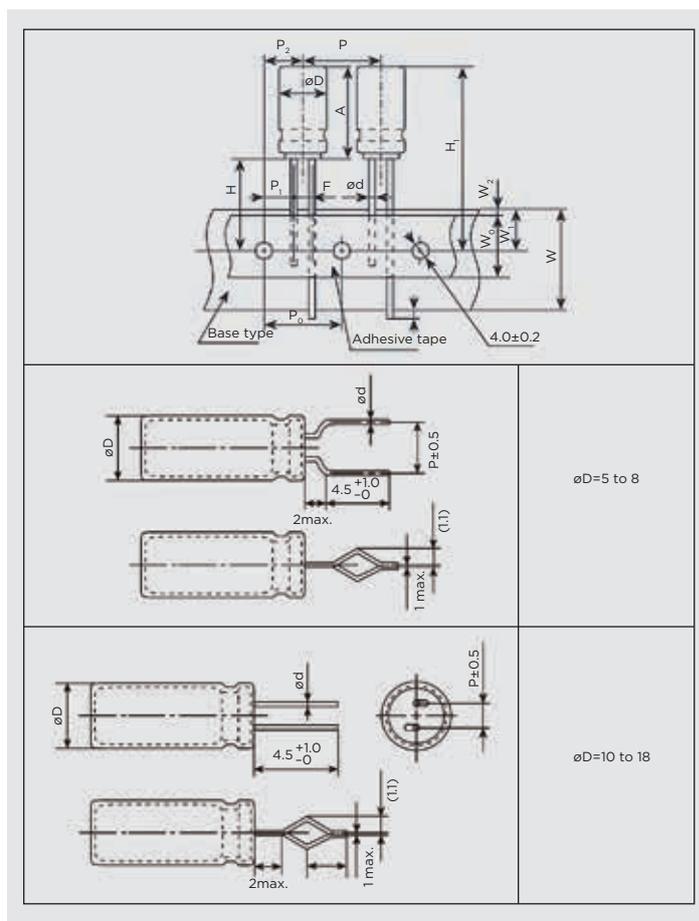
1. Ставить компонент на клей. Данный метод усложнит технологический процесс, появится дополнительная операция нанесения клея – чаще всего при помощи дозирования, реже при помощи трафаретной печати. Оба способа потребуют дополнительных инвестиций в оборудование и, как следствие, удорожание конечного изделия.
2. Покупать компоненты в специальной формовке в ленте. Некоторые производители компонентов дополнительно могут делать специализированную формовку компонентов в ленте. Как вариант, формовка, напоминающая зиг-замок – чтобы после монтажа компонент не выпадал из платы до и во время пайки волной. Нюанс в том, что по сути должно быть специсполнение, не у всех производителей компонентов может быть такая



1 ТНТ-компоненты на механических захватах автоматического установщика

опция, соответственно, увеличиваются сроки поставки и стоимость компонентов.

3. Формовать компоненты непосредственно в производстве. Тут может быть два варианта реализации. Первый – заказывать для автомата монтажа компонент питатель со специальной формовкой – чтобы перед монтажом питатель обрезал выводы и формовал их во что-то похожее на зиг-замок. Важно помнить, что если человеку, как правило, не составляет особого труда монтировать такой компонент, то с автоматом могут быть трудности (при прижимании компонента вывод подгибается и не влезает в монтажное отверстие). Второй способ – формовка и обрезка настольном устройстве. Правда, в этом случае автоматический монтаж практически невозможен, и придется монтировать компонент вручную.
4. Использование специализированной оснастки для поддержки компонентов сверху. По опыту посещения большого количества разных производств, в том числе нескольких десятков передовых китайских контрактных производств, данный способ является наиболее оптимальным для решения проблем «падающих на бок» компонентов до и во время пайки волной. После автоматического монтажа компонентов на платы сверху помещается специальная оснастка для поддержки компонентов. Оснастка может монтироваться автоматически или вручную. Чаще всего при пайке волной припоя плата идет в специализированной оснастке, и для фиксации верхней поддержки на основную оснастку обычно не возникает проблем.



2 ТНТ-компоненты со специальной формовкой выводов в ленте

*Полезные советы и материалы по актуальным технологиям, решениям и трендам рынка читайте в телеграм-канале «Академия технологий Остек-СМТ» и одноименном сообществе ВКонтакте.*

# Реалии вакуумной пайки поверхностного монтажа в России

Текст: Николай Малиновский

Вакуумная пайка, как таковая, применяется уже довольно давно, причём в разных областях: конструктивная пайка, микроэлектроника, радиоэлектроника и др. Производители оборудования по мере развития технологий, требований и роста спроса постоянно предлагают новые решения, улучшая их качество и возможности.

Рассмотрим современные аспекты применения вакуумной пайки при сборке (монтаже) печатных узлов (ПУ) по технологии поверхностного монтажа.

На текущий момент не утихают споры, продолжаются научные исследования и испытания на предмет влияния пустот, образующихся в паяных соединениях, на надёжность ПУ. Исследования показывают, что однозначного ответа нет.

На прочностные характеристики паяного соединения значительно влияют свойства образовавшихся пустот, а также их место расположения в объёме припоя паяного соединения. Например, паяное соединение, в котором равномерно распределено по всему объёму значительное количество очень мелких пустот, может оказаться прочнее, чем монолитная структура (без пустот). В этом случае работает «эффект пчелиных сот», которые, как известно, обладают значительной прочностью, обусловленной конструкцией.

Наиболее негативно на прочностные характеристики паяного соединения влияют большие пустоты, соприкасаю-

щиеся с монтажными площадками, так как они уменьшают площадь контакта припоя с ней.

Особо следует отметить, что паяные соединения ПУ должны, в определенных случаях, выполнять несколько функций:

- надёжное механическое соединение выводов компонентов с монтажными площадками ПП;
- обеспечивать требуемое сечение соединения для предотвращения возможного падения напряжения на соединении (как правило в силовой электронике);
- обеспечение качественного теплоотвода от компонента на теплоотводящую систему (например, во внутренние слои многослойной ПП).

На практике наиболее сложной задачей является исключение (или значительное уменьшение) пустот из паяных соединений, которые должны эффективно выполнять функцию теплопередачи от корпуса компонента к теплоотводу. Обилие пустот в таких паяных соединениях существенно снижает эффективность теплопередачи от кристалла компонента к радиатору, что, в свою очередь, приводит к его перегреву и выходу из строя.

Разнообразие причин образования пустот неоднократно описано в технической литературе. Если предположить, что в процессе сборки были соблюдены все технологические рекомендации (предварительная сушка ПП и компонентов, правила хранения и применения

паяльных паст и т.п.), то можно выделить, как основную, причину образования пустот – выделяющиеся пары флюса паяльной пасты. При этом, чем больше площадь спаиваемых поверхностей, тем меньше шансов на то, что пары флюса «выйдут» из паяного соединения. Для таких случаев вакуумная пайка практически основной способ по кардинальному уменьшению объема пустот (рис 1).

Производители технологического оборудования предлагают два основных варианта реализации вакуумной пайки для монтажно-сборочных производств ПУ:

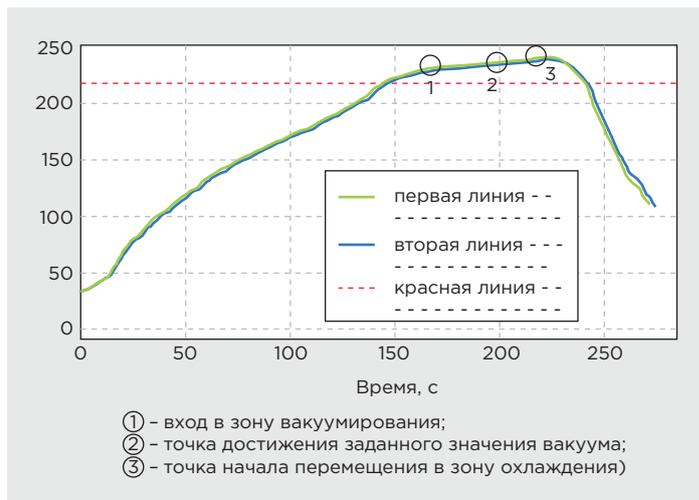
- печи для пайки в паровой фазе со встроенным модулем вакуумирования;
- конвекционно-конвейерные печи со встроенным в конвейер модулем вакуумирования (при этом конвейер печи имеет три независимых сегмента: 1-й в зонах нагрева и оплавления, 2-й внутри модуля вакуумирования и 3-й в зонах охлаждения).

Любое автоматическое технологическое оборудование, в том числе печи для группового оплавления со встроенным модулем вакуумирования, является всего лишь программируемым инструментом (с возможностью настройки и отладки требуемых режимов и алгоритмов), позволяющим выполнить не только требуемые задачи, но и обеспечить повторяемость процесса. При этом положительный и качественный результат от применения возможен только при глубоком понимании особенностей требуемого техпроцесса и, как следствие, умении качественно отладить требуемые параметра работы оборудования.

Даже применение простого древнейшего, инструмента – молотка – требует определенных навыков и знаний, чтобы получить желаемый и качественный результат с минимальными потерями. Не пытаться забить кривой гвоздь, понимать, что гвоздь не получится забить в бетонную или металлическую плиту, для выполнения полноценного удара держать молоток за конец ручки, уметь попадать по гвоздю, а не по пальцам и т.д. и т.п.

При принятии решения о применении вакуума в процессе группового оплавления, выборе конкретного оборудования, а также отладке (для конкретного изделия) оптимального технологического режима следует учесть следующие основные особенности пайки в вакууме:

- ПУ перемещается в модуль вакуумирования, когда припой находится в расплавленном состоянии, внутри которого находятся пустоты (пузырьки), образованные парами флюса и, возможно, влаги. Если в модуле вакуумирования создать очень быстрый (особенно скачкообразный) рост вакуума – это может способствовать образованию дефектов, вызванных взрывоподобным выходом пустот из расплавленного припоя.
- Необходимо обеспечить оптимальную скорость нарастания вакуума до заданного значения, чтобы, с одной стороны, не спровоцировать разбрызгивание жидкого припоя (что вызывает образование дефек-



1

Температурный профиль в конвекционно-конвейерной печи с модулем вакуумирования

тов), с другой стороны, нахождение ПУ в модуле вакуумирования должно быть ограничено по времени, чтобы не вызвать перегрев припоя.

- Как известно, в вакууме не происходят процессы теплопередачи, поэтому в модуле вакуумирования применяются инфракрасные нагреватели.

Конструкции ПУ, на которых реализован плотный монтаж (т.е. малые зазоры между паяными соединениями), более подвержены образованию дефектов от разбрызгивания припоя в момент резкого выхода газов из паяных соединений.

Таким образом, отладка оптимального температурного профиля в печах, имеющих модуль вакуумирования, более трудоемкий процесс, требующий учитывать не только свойства по теплоемкости конкретных ПП, но и особенности конструкции и требований к свойствам паяных соединений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение групповой пайки в вакууме на текущий момент не гарантирует снижение уровня образования дефектов для всего многообразия конструкций ПУ. В определенных случаях можно получить обратный эффект.

Пайка в вакууме, в большей степени, вынужденное решение – как один из инструментов для решения задач повышения надежности изделий в областях, где это необходимо:

- специальная техника с повышенными требованиями по надежности и срокам эксплуатации (включая медицинскую и для атомных электростанций);
- силовая электроника;
- техника авиационного и космического назначения;
- техника, не допускающая сбоев и отказов в течение длительного срока эксплуатации (наработка на отказ не менее 100 000 ч).

*Специалисты Остек-СМТ готовы помочь с выбором подходящих систем для поверхностного монтажа и решением ваших производственных задач.*

# Обзор линии поверхностного монтажа FLEX:SMT



В статье речь пойдет о комплексном решении на базе линии поверхностного монтажа FLEX:SMT.

Решение создано как ядро гибкого производства электроники с ответственным подходом к качеству продукции.



1

Линия поверхностного монтажа FLEX:SMT

При разработке решения команда наших специалистов глубоко проанализировала и изучила лучшие мировые практики, отечественный опыт, мнение заказчиков и тенденции в сфере электроники и сборочно-монтажных технологий.

В результате этой работы было создано решение FLEX:SMT. Комплекс позволяет эффективно решать большинство задач, которые могут стоять перед линией поверхностного монтажа, и включает только выверенные, действительно необходимые, компоненты и опции.

В базовой версии FLEX:SMT состоит из нескольких элементов:

- Конвейерные системы, рассчитанные на работу в условиях серийного производства и проработанные до мелочей.
- Автомат трафаретной печати с серьезным комплексом инструментов обеспечения качества и повторяемости этой крайне важной технологической операции.
- Два гибких автомата установки компонентов, обеспечивающих баланс функциональности и производительности.
- Десятизонная печь оплавления с активным охлаждением на базе жидкостного контура, позволяющая обеспечить качественную пайку и охлаждение широкого диапазона изделий.
- Автоматическая система трехмерной оптической инспекции с продвинутым комплексом программных инструментов управления качеством.
- Комплекс элементов цифрового производства для автоматизации операций, минимизации человеческого фактора и мониторинга работы линии.

Приобретение линии поверхностного монтажа – это серьезная инвестиция. Оборудование рассчитано на эксплуатацию в течение длительного периода времени, в России он составляет в среднем 10-15 лет. Поэтому при выборе конфигурации важно учесть тен-

денции на длинной дистанции. Тогда оборудование будет работать эффективно, без необходимости его замены или дорогостоящей модернизации.

При разработке решения FLEX:SMT было уделено внимание следующим тенденциям.

### Усложнение конструктива изделий

Избежать перспективы усложнения изделий практически невозможно. Конкуренция стимулирует расширение функциональных и технических возможностей продукции, улучшение массогабаритных характеристик, использование современных комплектующих и так далее. Все это отражается на конструкции изделий. Компоненты становятся компактнее, их количество растет, шаг выводов уменьшается, слоев у печатной платы становится больше.

Решение FLEX:SMT учитывает данную тенденцию и перспективы изменения комплектации и конструктива изделий. Это касается каждой единицы оборудования:

- Автомат трафаретной печати позволяет исключить дефекты при работе с компонентами с малым шагом.
- Автоматы установки компонентов позволяют работать с широким диапазоном компонентов, а количества позиций под компоненты даже в стандартной комплектации достаточно для широкого спектра продукции.
- Десятизонная печь оплавления готова к работе с теплоемкими многослойными платами, к их качественной пайке и охлаждению.
- Система оптической инспекции имеет камеры высокого разрешения для работы с актуальными и перспективными компонентами.

Таким образом, комплекс FLEX:SMT позволяет предприятию быть готовым к эффективному освоению новой продукции с более сложной конструкцией на всем жизненном цикле эксплуатации оборудования.

## Повышение требований к системе обеспечения качества

По мере усложнения конструктива изделий растет и риск возникновения производственного брака и, как следствие, снижения надежности продукции. Чтобы уменьшить этот риск, необходимо выстроить многоуровневую систему предупреждения технологических дефектов и контроля качества.

Для этого в решении FLEX:SMT реализован сбалансированный комплекс мер, позволяющий эффективно работать в том числе и с изделиями 2 и 3 класса сложности по стандарту IPC-610.

Комплекс мер включает:

- Инструменты мониторинга параметров технологического процесса в реальном времени.
- Аппаратные решения, позволяющие повысить уровень качества и повторяемость технологического процесса.
- Средства предупреждения ошибок персонала.
- Инструменты контроля нанесения припоя и качества пайки.
- Программные средства анализа данных контроля качества и онлайн-мониторинга.

Решение FLEX:SMT позволяет не просто выявлять возникшие дефекты, но и эффективно управлять качеством, анализируя состояние техпроцесса и предупреждая возникновение брака.

## Развитие цифровых технологий управления производственными процессами

Цифровые инструменты обеспечения качества и эффективности позволяют сделать прозрачнее производственные процессы, минимизировать риск ошибки человека, повысить производительность оборудования и сотрудников, обеспечить мониторинг ключевых показателей производства и их последующий анализ.

В решение FLEX:SMT включены два больших цифровых блока.

Во-первых, полноценная система прослеживаемости компонентов. Она позволяет организовать уникальную маркировку и идентификацию компонентов, предупреждение ошибок оператора при установке компонентов на автомат-установщик, автоматическую привязку и формирование перечня компонентов на плате, а также последующую аналитику.

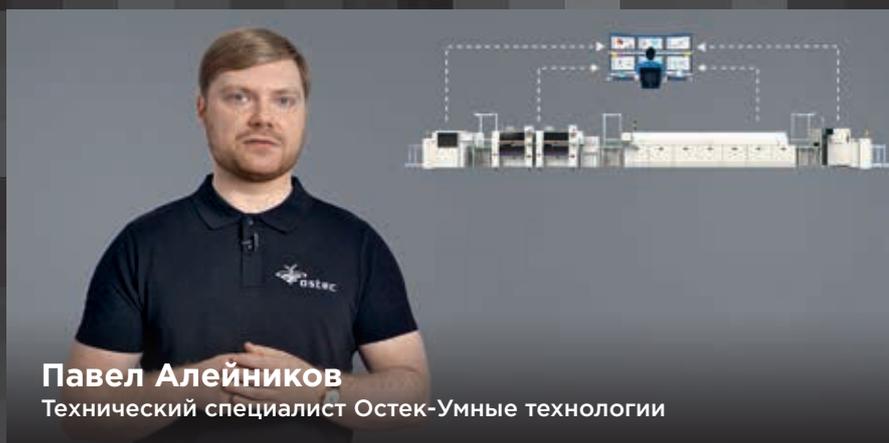
Во-вторых, диспетчерский центр, на экраны которого выводятся в удобной и наглядной форме ключевые индикаторы. Пользователь в режиме реального времени может получать актуальную информацию о производительности линии, объемах выпуска продукции, показателях качества, параметрах технологического процесса, состоянии оборудования и многом другом.

Важным приоритетом при проработке FLEX:SMT было обеспечение одновременно высокого технического уровня решения и инвестиционной привлекательности предложения. Однако для ряда предприятий, в том числе производственных стартапов, необходимо двигаться поступательно.

Специально для таких запросов специалисты компании проработали решение FLEX:SMT Start. Комплекс позволяет с минимальными инвестициями начать производство относительно простых изделий, а в дальнейшем дооснастить линию до полного решения FLEX:SMT.

FLEX:SMT – это хорошо проработанный комплекс, неотъемлемой частью которого является мощная программа технической и сервисной поддержки. Решение поможет многим предприятиям быстро построить эффективное сборочно-монтажное производство.

*Специалисты «Остек-Умные технологии» готовы рассказать подробнее о FLEX:SMT и помочь с решением ваших производственных задач.*



**Павел Алейников**  
Технический специалист Остек-Умные технологии



смотреть видеобзор

ostec-smart.ru/media

# FLEX — РАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПЕРЕДОВЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

Когда нет ничего лишнего, но точно есть все нужное



РЕШЕНИЯ ДЛЯ СБОРОЧНО-МОНТАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ЭЛЕКТРОНИКИ

Остек-Умные технологии: [flex@ostec-group.ru](mailto:flex@ostec-group.ru) | [ostec-flex.ru](http://ostec-flex.ru)

# Линия выводного монтажа FLEX:THT



В статье мы расскажем о решении семейства FLEX для монтажа и пайки выводных компонентов FLEX:THT.

Решение автоматизирует процесс пайки компонентов, монтируемых в отверстия, и актуально при производстве широкого спектра высокотехнологичной продукции. В первую очередь, 2 и 3 класса сложности по стандартам IPC.



1  
Линия выводного монтажа FLEX:THT

В качестве приоритетов при разработке решения были выбраны высокое качество пайки и универсальность решения. Специалисты компании учли и проанализировали обратную связь от многих предприятий и мировую практику применения данной технологии.

Наш опыт десятков проектов в области автоматизации пайки выводных компонентов показывает, что для решения обозначенных задач наиболее эффективной в отечественных условиях является технология роботизированной селективной пайки мини-волной припоя.

Ключевые преимущества технологии:

- Высокие гибкость и универсальность, сопоставимые с ручной пайкой.
- Отсутствие необходимости изготовления оснастки, маскирования и адаптации дизайна платы, что часто требуется при пайке широкой волной припоя.
- Высокая повторяемость результатов пайки, так как робот после отладки программы в точности воспроизведет ее необходимое количество раз.
- Возможность индивидуального программирования параметров флюсования и пайки для каждой точки или компонента.

Благодаря этим и многим другим преимуществам в последние 10-15 лет как в России, так и в мире активно растет количество применений систем селективной пайки. На многих предприятиях электроники такие системы уже стали основным инструментом для решения задач пайки выводных компонентов.

Решение FLEX:THT состоит из нескольких элементов:

- Конвейерные рабочие места набивки компонентов, оснащенные интерактивным модулем с электронной документацией
- Конвейерная система селективной пайки мини-волной припоя.

- Рабочее место визуального контроля  
Рассмотрим каждый элемент.

### Конвейерные рабочие места

Для производств мелкой и средней серии в подавляющем большинстве случаев набивка выводных компонентов осуществляется вручную. Такой подход обеспечивает высокую гибкость и экономически хорошо обоснован.

В решении FLEX:THT на каждом рабочем месте установлен монитор, подключенный к программно-аналитическому комплексу «Умное рабочее место». На экране отображается актуальная операционная карта, чертеж или изображение изделия, что позволяет сотруднику при сборке свериться с документацией и не ошибиться. Также комплекс помогает сократить время на выполнение операций.

В качестве дополнительной меры перестраховки на рабочем месте перед установкой селективной пайки может применяться специализированная система технического зрения, которая автоматически проверяет корректность сборки платы и установки компонентов. Система может обнаружить отсутствие компонента, лишний компонент, нарушение полярности или некорректную установку. При обнаружении ошибки система подаст сигнал и заблокирует перемещение платы далее по конвейеру до устранения ошибки.

### Конвейерная система селективной пайки мини-волной припоя

Главным элементом решения FLEX:THT является установка селективной пайки. Рассмотрим подробнее ключевые особенности ее конфигурации.

**Первое:** система имеет две ванны припоя, что позволяет одновременно использовать два различных волнообразователя, рассчитанных на разные задачи. Например, широкий – для пайки многовы-

водных разъемов и узкий – для пайки одиночных выводов. Такая комбинация дает возможность с хорошей производительностью паять широкий спектр компонентов в одном цикле.

**Второе:** система компенсации коробления плат. Коробление платы проявляется при использовании тонких печатных плат, при наличии фрезеровки плат в групповой заготовке, использовании габаритных плат, а также после одного или двух циклов пайки оплавлением вследствие деформации под действием температуры. В результате, положение точки пайки по высоте может отличаться от запрограммированного положения, из-за чего возникает производственный брак.

В данной системе селективной пайки имеется специальный модуль измерения профиля платы. Результаты измерения позволяют скорректировать положение волнообразователя с учетом фактической геометрии платы и обеспечить качественную пайку в случае ее изгиба.

**Третье:** наличие нагрева плат сверху в зоне предварительного нагрева и непосредственно в зоне пайки.

Для успешной и качественной пайки многослойных, теплоемких и насыщенных плат необходимо обеспечить качественный и глубокий нагрев платы. Более того, крайне важно поддерживать температуру платы в процессе пайки. Правильная температура обеспечивает капиллярный эффект при заполнении припоем переходных отверстий, что формирует надежное паянное соединение в соответствии с требованиями стандарта IPC-610 для изделий 2 и 3 класса.

**Четвертое:** гарантия стабильной геометрии мини-волны для обеспечения планируемого уровня качества и прогнозируемого результата пайки.

Для этого в предлагаемую систему селективной пайки включен следующий комплекс средств и технических решений:

- Передовые электромагнитные насосы, обеспечивающие постоянство волны припоя и отсутствие вибраций.
- Автоматический питатель припоя, обеспечивающий стабильный остаток припоя в ванной и исключая «просадку» волны.
- Система автоматического контроля высоты мини-волны.
- Автоматическая система очистки волнообразователя.

Работая вместе, эти технические решения позволяют сохранить максимально возможную повторяемость пайки, обеспечивая одинаковый результат пайки от платы к плате.

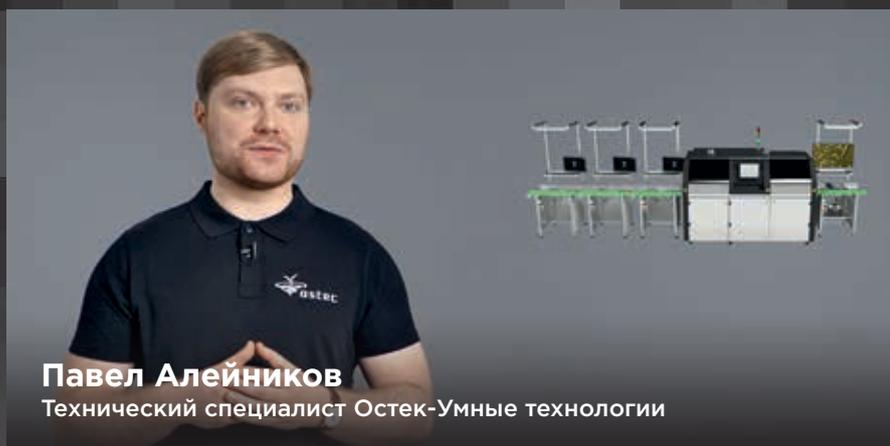
**Пятое:** возможность масштабирования по мере увеличения объемов производства благодаря модульной архитектуре и возможности увеличивать количество модулей пайки. Модернизация может быть выполнена непосредственно на предприятии заказчика.

### Рабочее место визуального контроля

Следующий важный элемент линии – станция визуального контроля. Рабочее место расположено после системы селективной пайки и оснащено большим монитором и камерами высокого разрешения, размещенными под платой. Это обеспечивает высокую информативность и удобство, облегчая задачу визуальной оценки результатов пайки.

Линия выводного монтажа FLEX:THT позволяет обеспечить высокий уровень гибкости, эффективности и качества. Это действительно хорошо проработанный комплекс, неотъемлемой частью которого является мощная программа технической и сервисной поддержки.

*Специалисты «Остек-Умные технологии» готовы рассказать подробнее о FLEX:THT и помочь с решением ваших производственных задач.*



**Павел Алейников**

Технический специалист Остек-Умные технологии



смотреть видеобзор

ostec-smart.ru/media



## РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ FLEX: РОБОТОИНСПЕКЦИЯ ●●●



- Широкий спектр применений инспекции
- Свобода выбора угла камеры и подсветки
- Инспекции в труднодоступных местах
- Программирование без CAD-данных
- Возможность встраивания в конвейер
- Легкое перемещение по цеху

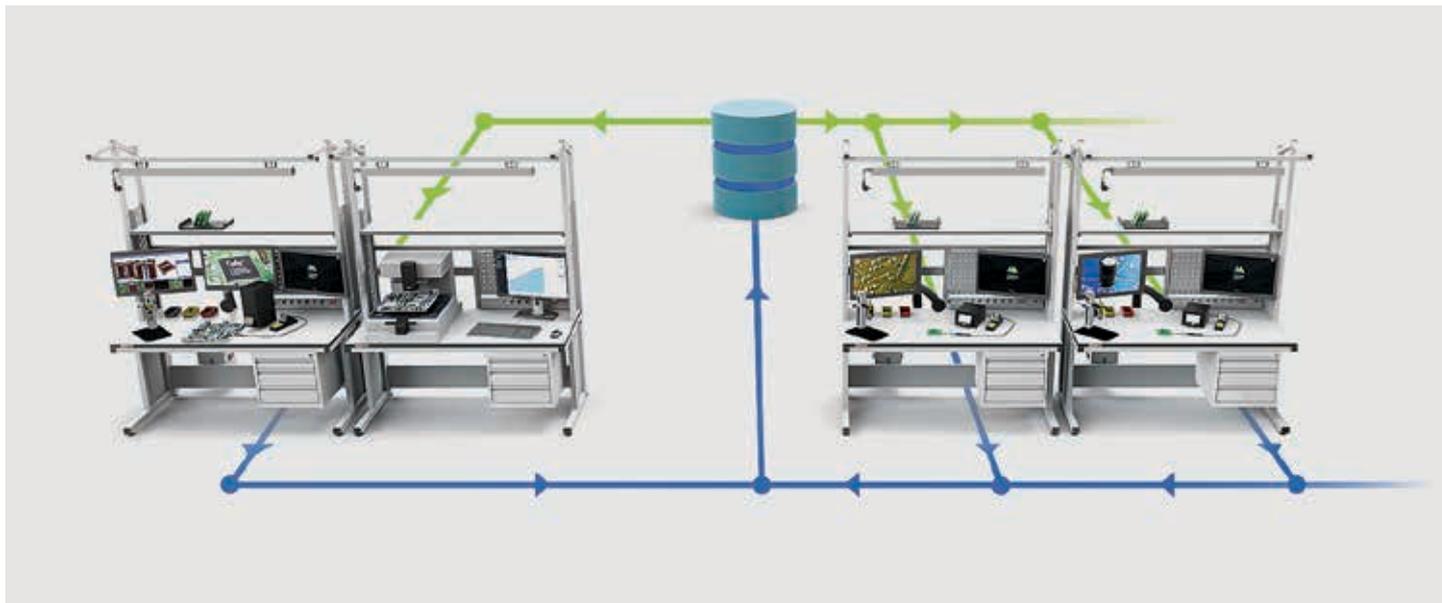


Решения для сборочно-монтажных производств электроники  
Остек-Умные технологии: [flex@ostec-group.ru](mailto:flex@ostec-group.ru) | [ostec-flex.ru](http://ostec-flex.ru)

# Обзор решения для организации участка ремонта FLEX:Ремонт

”

В статье речь пойдет о решении в семействе FLEX для организации участка ремонта. Какие бы усилия в области обеспечения качества и предупреждения производственного брака не предпринимались, дефекты были, есть и будут. И их нужно устранять. Ремонт имеет огромное значение в вопросе обеспечения качества и надежности продукции. По мере развития производственных технологий, требований к управлению качеством и степени автоматизации эволюционировали и требования к организации ремонта.



Комплексное решение для организации участка ремонта FLEX:Ремонт

Команда «Остек-Умные технологии» разработала комплексное решение FLEX:Ремонт для выполнения ремонтных операций на высоком уровне с учетом текущих требований.

В состав решения FLEX:Ремонт входят элементы, позволяющие построить участок с учетом специфики и объема задач конкретного предприятия:

- Рабочее место сложного ремонта, ориентированное на работу с микросхемами и сложными разъемами.
- Рабочее место простого ремонта, ориентированное на работу с простыми компонентами.
- Система управления участком ремонта.

При проработке решения специалисты компании руководствовались несколькими базовыми требованиями и приоритетами. Далее расскажем о них подробно.

### Информационное обеспечение

Для выполнения ремонта крайне важно обеспечить сотрудника всей необходимой информацией в максимально удобном виде.

Для этого на рабочих местах в решении FLEX:Ремонт расположены мониторы, на которые выводится сводная информация с систем контроля (оптического и рентгеновского), а также схемы и техническая документация. Это позволяет сотруднику оперативно принять решение и исключить ошибку.

Интерфейс решения FLEX:Ремонт показывает:

- Ремонтруемый компонент с характером дефекта пайки.
- Изображение компонента без дефекта для сравнения.
- 3D-изображение компонента.
- Паспортные данные о плате.

- Подтверждение устранения дефекта после ремонта с сохранением всей истории проведенных работ.

### Передовое ремонтное оборудование

Современные компоненты часто весьма чувствительны и требуют точного соблюдения технологических требований для сохранения их работоспособности, что возможно только с использованием современного ремонтного оборудования.

Для ремонта микросхем и разъемов решение FLEX:Ремонт использует современные ремонтные центры гибридного типа, оснащенные как инфракрасным, так и конвекционным нагревом. Это позволяет легко решать широкий спектр ремонтных задач, обеспечивая максимально деликатное обращение с компонентами.

Также стоит отметить высокую точность совмещения компонента и платы, обеспечиваемую точной механикой и использованием системы технического зрения.

Конфигурация инструментов и оснастки на рабочих местах проработана с учетом многолетнего опыта нашей команды и ориентирована на решение основных задач ремонта. В случае необходимости конфигурация инструментов может быть индивидуально доработана с учетом потребности заказчика.

### Паспортизация

Современный уровень производства требует обязательной паспортизации и прослеживаемости всех ключевых операций и регламентируется, в том числе, стандартом IPC-1782. Это дает требуемую степень прозрачности производственных процес-



Фиксация результата ремонта в системе «Умное рабочее место»

сов, возможность анализа причинно-следственных связей и, в конечном счете, обеспечивает высокое качество продукции.

Процесс паспортизации операций ремонта в решении FLEX:Ремонт пошагово реализован следующим образом:

1. Сначала сканируется штрихкод платы. Так мы определяем изделие, которое будет ремонтироваться, начало операции и сотрудника, выполняющего операцию.
2. После окончания ремонта осуществляется фотофиксация результатов и сохранение в базе данных. Для этого на каждом месте ремонта расположен цифровой микроскоп, подключенный к компьютеру.
3. Далее делается отметка в системе о результатах ремонта. Так мы фиксируем, что все прошло успешно, либо помечаем плату как неремонтопригодную.

Все зафиксированные данные сохраняются в цифровом паспорте изделия и доступны для последующего анализа.

## Эргономика

Большое внимание было уделено эргономике рабочего места сотрудников. Важно, чтобы они имели удобный доступ к инструментам, и перед их глазами находилась вся необходимая для работы информация.

Состав и конфигурация каждого рабочего места продуманы до мелочей: хорошо освещены, предоставляют удобный доступ к инструментам и расходным материалам, к цифровой информации на сенсорных экранах. При необходимости конфигурация индивидуально дорабатывается с учетом потребностей заказчика.

В этом вопросе был учтен передовой европейский опыт по организации рабочих мест.

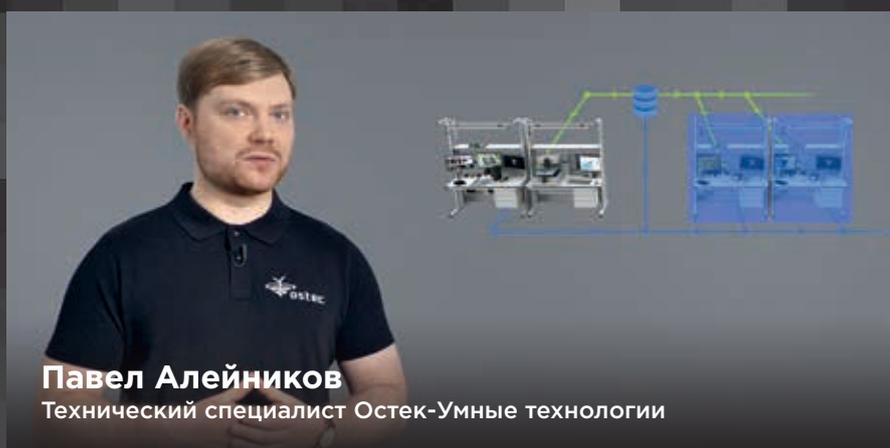
## Комплексная программа поддержки

Программа технологической и сервисной поддержки, включенная в решение, направлена на достижение целевых производственных показателей в заданные сроки. В состав программы помимо гарантийных работ входят:

- Комплекс работ по вводу в эксплуатацию.
- Многоуровневая программа обучения и развития персонала.
- Консультирование по технологическим вопросам.

Решение FLEX:Ремонт позволит организовать современный участок ремонта на предприятии в соответствии с актуальными мировыми требованиями и тенденциями в области организации производственных операций. Тем самым будет обеспечено высокое качество, предсказуемость и эффективность столь важной технологической операции.

*Специалисты «Остек-Умные технологии» готовы рассказать подробнее о FLEX:Ремонт и помочь с решением ваших производственных задач.*



**Павел Алейников**  
Технический специалист Остек-Умные технологии

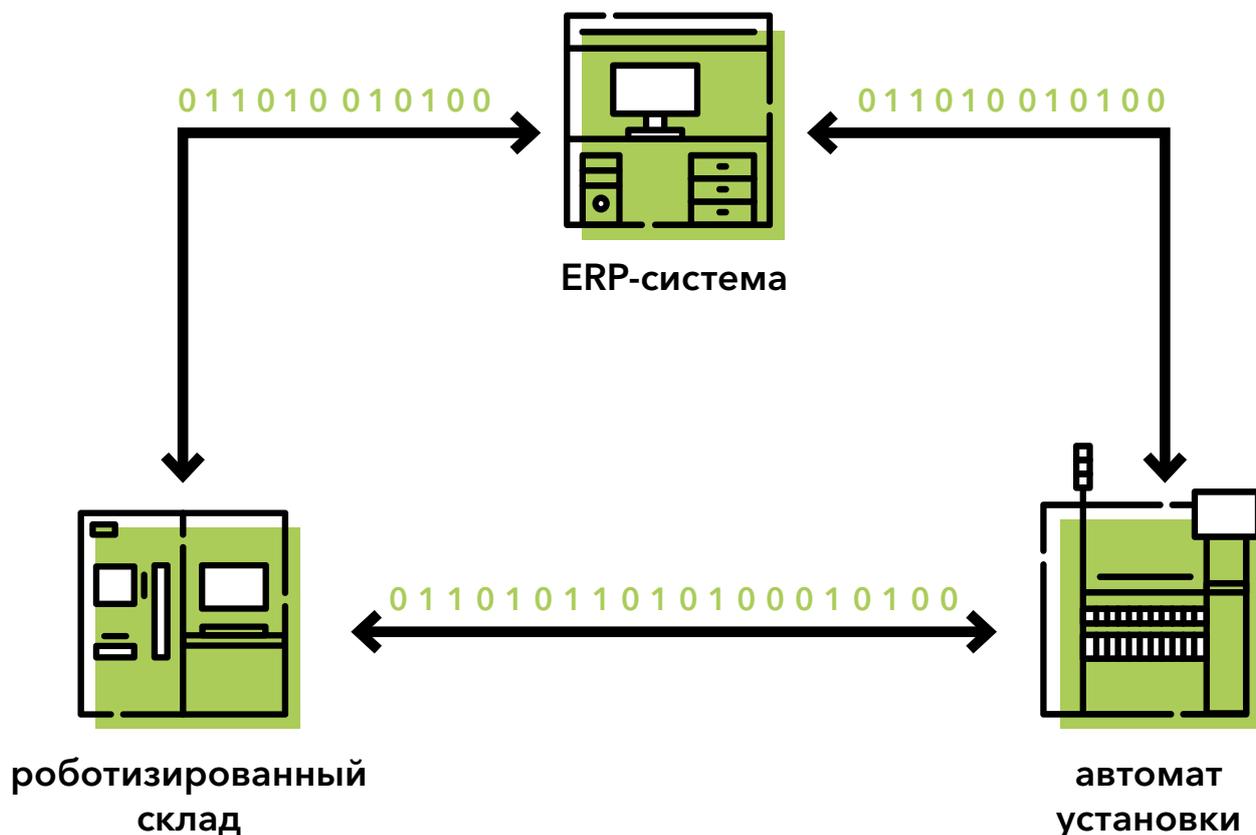


смотреть видеобзор

ostec-smart.ru/media

# Склад 4.0

Комплексное решение  
для цифрового сборочного производства

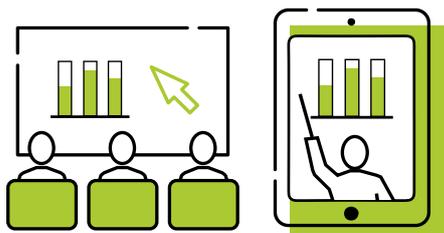


Узнать больше

## Соответствие концепции «Индустрия 4.0»

- 100% учет и контроль комплектующих
- Управление запасами Just-in-Time
- Сокращение простоев линии до 70%
- Сведение к нулю числа ошибок оператора
- Исключение брака из-за нарушений при хранении

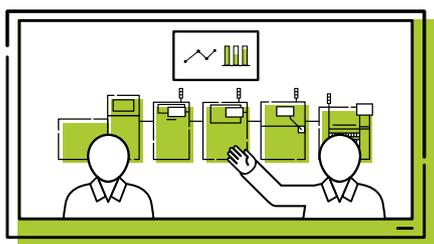
# АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОСТЕК-СМТ



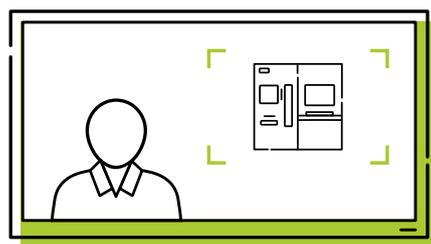
СЕМИНАРЫ  
ОНЛАЙН И ОФЛАЙН



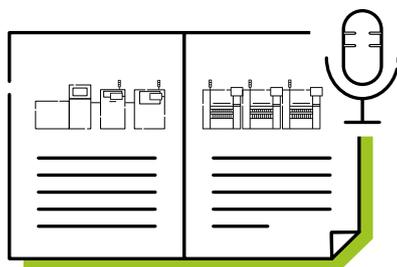
ПРОФИЛЬНЫЕ КАНАЛЫ  
В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ



РЕПОРТАЖИ И КЕЙСЫ  
С ПРОИЗВОДСТВ



ВИДЕООБЗОРЫ  
РЕШЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ



ЭКСПЕРТНЫЕ  
СТАТЬИ И ИНТЕРВЬЮ



ВИДЕОПРЕЗЕНТАЦИИ  
И ЗАПИСИ ВЕБИНАРОВ

