

05 (45) декабрь 2019

# ВЕКТОР

ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ  
Научно-практический журнал

## ПЕРСПЕКТИВЫ

Дмитрий Суханов

**12** ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ.  
ГОТОВО ЛИ К ЭТОМУ ШАГУ  
МИКРОЭЛЕКТРОННОЕ  
СЕРИЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО?

## ТЕХНОЛОГИИ

Юрий Ковалевский

**16** «ЛИСА», «ПУМА», «ТАРАНТУЛ»:  
ГИБКОСТЬ И АДАПТИВНОСТЬ  
ПОЧТИ КАК В ЖИВОЙ ПРИРОДЕ

## ОПТИМИЗАЦИЯ

Денис Поцелуев

**32** ВЫБИРАЯ ВЛАГОЗАЩИТНОЕ  
ПОКРЫТИЕ. ЦЕНА ≠ СТОИМОСТЬ



## Essemtec Fox

Универсальный сборочный центр



Максимум функций на 1 м<sup>2</sup>

### Установка + дозирование

на одном автомате, 5 видов головок

### Быстрая переналадка

революционно удобный интерфейс

### Компактность + точность

1 м<sup>2</sup>, 180 питателей, 45 мкм при 3 сигма

### Диапазон компонентов

от 01005 до 80 x 80, высота до 25 мм

### Простое обслуживание

Подробнее на [fox.ostec-smt.ru](http://fox.ostec-smt.ru)





## ” **Дорогие читатели!**

От всей души поздравляем вас  
с самым добрым и сказочным  
праздником – Новым годом!

*Этот праздник всегда наполнен белым  
пушистым снегом, яркими огнями гирлянд, запахом  
и красотой новогодней елки, улыбками и счастьем  
близких!*

*Мы желаем вам и вашим родным крепкого здоровья,  
благополучия, радости и тепла, исполнения всех желаний!*

*Наступление нового года мы всегда связываем с ожиданием  
и верой в лучшее – пусть на смену всему хорошему, что уходит  
со старым годом, придет еще лучшее, совершенное и интересное!  
Мы желаем, чтобы вы всегда верили в будущее и стремились вперед,  
к новым успехам и достижениям!*

*Желаем вам профессиональных и творческих успехов, реализации  
всех задуманных планов и начинаний, новых побед и свершений!*

**Ваш Остек**

# В НОМЕРЕ

## НОВОСТИ

- 6 PRODUCTRONICA 2019 | SEMICON EUROPA 2019: УСКОРЯЯ ИННОВАЦИИ
- 10 ОСТЕК НА ФОРУМЕ «МИКРОЭЛЕКТРОНИКА 2019»
- 11 ИТОГИ ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ЦИФРОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ»
- 12 ОСТЕК-СМТ ПОЛУЧИЛ ПАТЕНТ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
- 12 ИТОГ И СЕМИНАРА, ПРОВЕДЕННОГО КОМПАНИЯМИ ОСТЕК-ЭК И KULISCHE&SOFFA
- 13 СЕССИЯ «МАРКЕТИНГ: ИДЕЯ, ПРОДУКТ, ПРОДВИЖЕНИЕ»

## ПЕРСПЕКТИВЫ

**ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ. ГОТОВО ЛИ К ЭТОМУ ШАГУ МИКРОЭЛЕКТРОННОЕ СЕРИЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО? . . . . . 14**

Автор: Дмитрий Суханов



ПЕРСПЕКТИВЫ стр. 14

## ТЕХНОЛОГИИ

**«ЛИСА», «ПУМА», «ТАРАНТУЛ»: ГИБКОСТЬ И АДАПТИВНОСТЬ ПОЧТИ КАК В ЖИВОЙ ПРИРОДЕ . . . . . 18**

Автор: Юрий Ковалевский

**МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ЗАЗОРА МЕЖДУ ПОДЛОЖКОЙ И КРИСТАЛЛОМ. ЧАСТЬ 2. НЕТЕКУЧИЕ И НАНОСИМЫЕ НА УРОВНЕ ПЛАСТИНЫ АНДЕРФИЛЛЫ . . . . . 22**

Автор: Александр Скупов



КАЧЕСТВО стр. 26

## КАЧЕСТВО

**МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ INNOVALIA METROLOGY – СИНОНИМ УНИВЕРСАЛЬНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ. . . . . 26**

Автор: Алексей Белоусов



ОПТИМИЗАЦИЯ стр. 30

## ОПТИМИЗАЦИЯ

### ЦИФРОВИЗАЦИЯ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА РЯЗАНСКОМ РАДИОЗАВОДЕ . . . . . 30

Авторы: Денис Чернов, Роман Лыско

### ВЫБИРАЯ ВЛАГОЗАЩИТНОЕ ПОКРЫТИЕ. ЦЕНА ≠ СТОИМОСТЬ . . . 34

Автор: Денис Поцелуев

## ТЕХПОДДЕРЖКА

### ПАРАМЕТРЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ . . . . . 38

Авторы: Аркадий Медведев, Аркадий Сержантов, Екатерина Шкундина

## АВТОРЫ НОМЕРА

### Дмитрий Суханов

Главный специалист поддержки  
Технического управления  
ООО «Остек-ЭК»  
micro@ostec-group.ru

### Юрий Ковалевский

Журнал «Электроника: НТБ»  
journal@electronics.ru

### Александр Скупов

Главный специалист технического  
сопровождения  
ООО «Остек-Интегра»  
materials@ostec-group.ru

### Алексей Белоусов

Главный специалист технической  
поддержки отдела метрологических  
решений  
ООО «Остек-АртТул»  
info@arttool.ru

### Денис Чернов

Руководитель направления  
автоматизации рабочих мест  
ООО «Остек-СМТ»  
urm@ostec-group.ru

### Роман Лыско

Начальник отдела автоматизации  
рабочих мест  
ООО «Остек-СМТ»  
urm@ostec-group.ru

### Денис Поцелуев

Начальник отдела продаж  
ООО «Остек-Интегра»  
materials@ostec-group.ru

### Аркадий Медведев

Начальник отдела научных разработок  
ООО «Остек-СТ»  
ost@ostec-group.ru

### Аркадий Сержантов

Главный технолог  
ООО «Остек-СТ»  
ost@ostec-group.ru

### Екатерина Шкундина

Инженер отдела главного технолога  
ООО «Остек-СТ»  
ost@ostec-group.ru



# productronica SEMICON® EUROPA 2019





# productronica SEMICON® EUROPA 2019





## PRODUCTRONICA 2019 | SEMICON EUROPA 2019: УСКОРЯЯ ИННОВАЦИИ

Выставки Productronica и Semicon Europa, которые одновременно проходили в выставочном центре Мюнхена с 12 по 15 ноября, по праву считаются главной площадкой в Европе для демонстрации новых решений, технологий, оборудования и услуг для производства электроники и микроэлектроники. В 2019 году выставки собрали более 1 500 компаний-экспонентов и более 44 000 посетителей из 96 стран мира.

Неподготовленному посетителю иногда сложно понять, как можно обойти все стенды и посмотреть новинки, тем более, что не всегда компании открыто о них заявляют, опасаясь конкурентов.

Представляем вашему вниманию некоторые наблюдения и тренды рынка производства электроники, которые мы заметили в этом году.

### Компоненты 0201M

0201M – это чип-компонент в метрическом обозначении, размеры которого составляют всего 250 × 125 мкм. Если раньше производители заявляли минимальный компонент 01005 в дюймовом выражении (400 × 200 мкм), то теперь почти все окончательно перешли на метрическую систему, и в спецификациях на оборудование можно встретить 0402 (400 × 200 мкм), 03015 (300 × 150 мкм) и 0201 (250 × 125 мкм).

В частности, о возможности установки 0201M на своем оборудовании заявили компании Hanwha



Techwin и FUJI Corporation. А новый установщик Hanwha HM520, который как раз способен устанавливать столь малые компоненты, удостоился престижной награды Global Technology Award 2019.

### Тотальная автоматизация

Не секрет, что рынок производства электроники в Европе живет «под диктовку» производителей автомобильной электроники. Их требования – одни из самых жестких. И когда производители SMT-оборудования рассказывают о своих новинках, они непременно упоминают, что данные новинки крайне востребованы среди производителей электроники для автомобилей. Такими требованиями являются автоматизация процесса и максимальное исключение влияния человека на процесс производства.

Компания KURTZ ERSA представила роботизированную установку компонентов ERSA Roboplace, где робот устанавливает ТНТ-компоненты на плату перед операцией селективной пайки или пайки волной. Если раньше ERSA представляла прототипы, то теперь это полностью законченное решение, которое успешно используется как раз производителями автомобильной электроники.

Но, конечно, одной из главных сенсаций выставки по автоматизации производства стала презентация на стенде FUJI Corporation нового установщика NXTR, а точнее, целой экосистемы, в которую включены автоматизированные склады, роботы, перевозящие питатели по цеху, новый принтер и модульный установщик компонентов.





Главная идея в том, что питатели, в которых заканчиваются компоненты, заменяются автоматически в процессе работы автомата без участия человека. Также может проходить и переналадка на новый тип продукции.

**Роботы, перевозящие по цеху... что угодно...**

На предыдущих выставках перемещение роботов по стендам вызывало

неподдельный интерес и было новшеством. Теперь такие роботы стали обыденным явлением. Они присутствовали на стендах FUJI, ASYS, NUTEK и других компаний и занимались перевозкой компонентов, питателей, магазинов с печатными платами, паяльной пасты и прочего. Эти роботы не просто притягивают внимание, а уже являются полноценными работниками на производстве.

**Печи оплавления с вакуумным модулем**

Теперь это тренд, которому следуют практически все производители печей оплавления. Попробуем с первого раза угадать, кому нужен вакуумный модуль для удаления пузырьков воздуха из паяных соединений в печи? Правильно – производителям автомобильной электроники. Но не только. Основными покупателями таких печей являются производители

промышленной электроники, особенно высокомоощных изделий, так как именно в таких изделиях любые неровности в паяных соединениях влияют на правильную работу устройства и могут привести к проблемам при эксплуатации.

Компания KURTZ Ersa представила новую печь оплавления припоя EXOS с вакуумным модулем после зоны пайки. По словам производителя, отличие вакуумного модуля Ersa от других подобных решений в том, что не плата перемещается в вакуумный модуль, а сам вакуумный модуль опускается сверху на плату. Таким образом, сокращается время цикла и исключается вибрация. Чтобы плата не остывала, а припой оставался жидким, внутри вакуумного модуля есть инфракрасный нагреватель.

Многие задаются вопросом: как можно остановить плату в печи при работе вакуумного модуля, если платы двигаются одна за другой. Ersa на входе в печи сделала независимый сегмент конвейера, который работает как буфер. Плата перемещается на этот сегмент и ждет необходимое время, которое рассчитывается самой системой исходя из длины плат, скорости конвейера и времени остановки





в вакуумном модуле. Оператору не нужно думать и считать вручную, соответственно, будет меньше ошибок и дефектов.

### 3D AOI Arena

Журнал по электронике EPP Europe организовал целое шоу, где представители 10 компаний-производителей автоматических оптических инспекций (АОИ) рассказывали на примере реального изделия о преимуществах своих систем. Компания Viscom достойно представила свой флагман S3088 Ultra Gold. Шоу получилось интересным и полезным. Хотя было заметно, что для представителей компаний-производителей АОИ такая презентация – это серьезное испытание.

### Industry 4.0, HERMES, IPC CFX

Готовность оборудования к Индустрии 4.0 декларируется практически всеми производителями. Оборудование способно собирать и передавать необходимые данные в общую базу или другому оборудованию. Передача данных происходит по протоколу

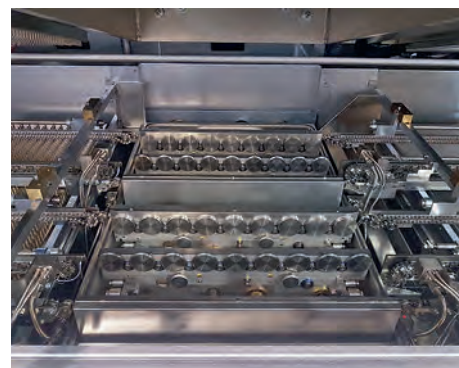
HERMES 9852, который приходит на смену протоколу SMEMA в оборудовании, а также с помощью технологии IIoT (промышленного интернета вещей) IPC CFX. Причем, если изначально HERMES и IPC CFX разрабатывались как два отдельных проекта, то сейчас они объединены в единую мощную систему.

На Productronica 2019 был отдельный стенд с оборудованием различных вендоров, который демонстрировал работу этой системы, имитируя реальное производство.

### Российская делегация на выставках

В состав российской делегации выставок SEMICON Europa и Productronica 2019 вошли представители Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга России, Торгового представительства России в ФРГ, российские компании ГК Остек, Industry Hunter и многие другие.

Российская сессия вызвала большой интерес у посетителей, на ней присутствовали более 60 делегатов, среди которых были представители ведущих европейских кластеров, заместитель



Торгпреда России в Германии П. Рубцов, представители мировых компаний-производителей и поставщиков оборудования и технологий для всей цепочки поставок микроэлектроники, полупроводников, приложений и др.

Сессия была организована компанией Business Media Russia (организатор SEMIEXPO Russia, партнер SEMI в России и странах СНГ), модератором выступила Анна Рубас, директор SEMIEXPO Russia. Мероприятие прошло при поддержке Корсорциума РЭП и дизайн-центров, Группы компаний Остек, Минпромторга России. Информационным партнером мероприятия выступила интернет-платформа Industry-hunter.com.

Сессия получила много положительных отзывов. Сергей Алексеев, директор по развитию Ассоциации консорциумов, дизайн-центров и предприятий электронной промышленности, сказал: «Для нашей Ассоциации подобные мероприятия являются действенным инструментом для определения механизмов, позволяющих более эффективно выводить высокотехнологичную продукцию гражданского производства на зарубежные рынки».

Антон Большаков, директор по маркетингу ГК Остек, отметил: «Сессия, партнёром которой стала Группа компаний Остек, привлек-





ла полный зал международных участников. Спасибо за блестящую организацию».

Для Группы компаний Остек эта групповая поездка на выставки – юбилейная. Начиная с 2011 года, Остек готовит деловую программу, включающую визиты к ведущим производителям технологического оборудования, электроники и радиоэлектронной аппаратуры и посещение стендов тематических разделов



выставки. Вместе с нами выставки посетили уже более 650 специалистов.

В этом году в деловую программу были включены:

- Посещение Института встраиваемых систем и коммуникационных технологий Фраунгофера (FhG ESK), специализирующегося на разработках и исследованиях в области встраиваемых систем и телекоммуникационных технологий.

- Визит в компанию Christian Koenen GmbH, где производят сложные трафареты и сетки для нанесения технологических материалов.
- Посещение компании Zestron, занимающей лидирующие мировые позиции в области разработки и реализации технологий отмытки.
- Посещение стендов таких тематических разделов выставки, как: производство ГИС, электронных компонентов и микросборок, печатных плат, в т. ч. со встроенными компонентами, сборка печатных узлов, трехмерные схемы на пластиках, кабельные / жгутовые изделия, электрическое тестирование, параметрический контроль, технологии испытаний.



*Ждем вас с 16 по 19 ноября 2021 года на следующих выставках, которые представят очередные новые решения, тренды и прорывные технологии в Мюнхене!*

*В обзоре использованы материалы с сайта [www.industry-hunter.com](http://www.industry-hunter.com)*

## ОСТЕК НА ФОРУМЕ «МИКРОЭЛЕКТРОНИКА 2019»

С 30 сентября по 5 октября 2019 года в г. Алуште прошел Международный форум «Микроэлектроника 2019».

Формат конференции охватывал огромный пласт актуальных проблем активно развивающейся отечественной микроэлектроники и задал эффективный положительный импульс её развитию. В этом году в мероприятии приняли участие более 550 представителей микроэлектронной индустрии из России, стран ближнего зарубежья, Европы и Юго-Восточной Азии. Программа форума включала пленарное заседание, круглые столы, «Фестиваль инноваций» и научные доклады по тематике развития отрасли.

Группа компаний Остек принимала активное участие в этом мероприятии: представители ООО «Остек-Электро» и ООО «Остек-ЭК» выступили с докладами на важные для отрасли темы.



Специалисты «Остек-Электро» представили доклады в секции «Технологическое и контрольно-измерительное оборудование для производства микросхем и полупроводниковых приборов», а также продемонстрировали на своем стенде специализированное оборудование: зондовую станцию EverBeing, адаптеры MicroContact, проб-карты и СВЧ-зонды Picoprobe (GGB), измеритель параметров ферромагнитных сердечников Ш1-23, адаптер SMD-компонентов, установку измерения удельного и поверхностного сопротивления ИУС-7, систему периферийного сканирования JTAG. Посетители стенда смогли поработать на оборудовании, пообщаться со специалистами компании, обсудить с ними различные технологические решения.

Эксперты «Остек-ЭК» выступили с докладами в секции «Технологии и компоненты микро- и нанoeлектроники». Новейшее

технологическое решение «Технология гетерогенной интеграции полупроводников группы АИВВ на кремний» партнера Остек-ЭК, компании EV Group, Австрия, которому была посвящена важная часть доклада Д. Суханова «3D-интеграция микросхем при помощи многоуровневой сборки» было принято как итог работы секции и внесено в «Программу рекомендаций по развитию отечественных технологий микроэлектроники на ближайшие 10 лет» с рекомендациями к реализации в государственной программе.

Все участники международного форума «Микроэлектроника 2019» отметили пользу проведения таких мероприятий и определили статус форума как площадки, позволяющей представителям профильного сообщества собраться вместе, обменяться опытом и видением актуальных проблем отрасли.



## ИТОГИ ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ЦИФРОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ»

31 октября 2019 компания Остек-СМТ при поддержке секции № 17 НТС Госкорпорации «Роскосмос» провела практическую конференцию «Цифровые производственные технологии в приборостроении». В мероприятии приняли участие более 100 конструкторов, инженеров, технологов и руководителей предприятий аэрокосмической, авиационной и приборостроительной отраслей.

В ходе конференции участники обсудили результаты перспективных исследований и испытаний элементов СВЧ-трактов, корпусов с каналами жидкостного охлаждения, кронштейнов, изготовленных с применением аддитивных технологий, способы механической обработки и нанесения покрытий, использование рентгеновской компьютерной томографии для реверс-инжиниринга и неразрушающего контроля качества изделий со сложной геометрией.

Также обсуждались актуальность и важное практическое значение внедрения современных программных средств разработки, аддитив-

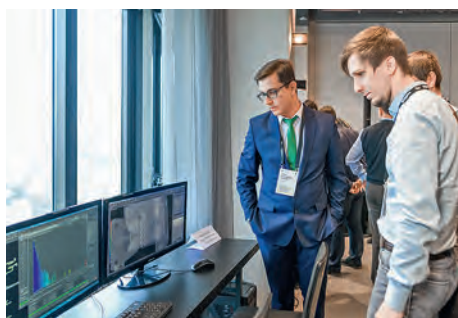


ных технологий и рентгеновской компьютерной томографии для проектирования и опытного производства перспективных изделий в приборостроении, необходимость повышения квалификации специалистов и отраслевой кооперации при разработке изделий, исследовании новых материалов и оптимизации технологических процессов.

В практической части конференции участники ознакомились с возможностями настройки параметров печати и подготовки рабочих программ в ПО Autodesk Netfabb и Renishaw QuantAM для оптимизации аддитивного производства изделий, выполнили анализ результатов рентгеновской

компьютерной томографии изделий приборостроения при помощи специализированного ПО Volume Graphics и провели измерение электрических параметров волноводов, изготовленных по аддитивным технологиям, на векторном анализаторе цепей.

По итогам мероприятия было принято решение о формировании рабочей группы в составе представителей Госкорпорации «Роскосмос» и Остек-СМТ для разработки и утверждения дорожной карты внедрения комплексных решений аддитивного производства и рентгеновской компьютерной томографии в производственные процессы предприятий приборостроительной отрасли; а также решение об организации консорциума с целью повышения эффективности отраслевого взаимодействия для комплексной подготовки специалистов, разработки перспективных изделий, сокращения затрат их опытного производства и ввода в эксплуатацию.



## ОСТЕК-СМТ ПОЛУЧИЛ ПАТЕНТ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

В сентябре 2019 года Федеральной службой по интеллектуальной собственности на ООО «Остек-СМТ» зарегистрирован патент на изобретение «Способ учета и контроля рабочего времени на основе применения энергосберегающего режима электрического паяльного оборудования».

Изобретение является частью функционала программно-аналитического комплекса «Умное рабочее место» и обеспечивает учет и контроль работы сотрудника путем отслеживания интервалов активности цифрового паяльного оборудования.

## ИТОГИ СЕМИНАРА, ПРОВЕДЕННОГО КОМПАНИЯМИ ОСТЕК- ЭК И KULICKE&SOFFA

7 ноября в офисе ГК Остек прошел семинар, организованный компаниями Остек-ЭК и Kulicke & Soffa, который был посвящен особенностям автоматической микросварки тонкой и толстой проволокой по технологии клин-клин и шарик клин, лентой, а также высокопроизводительным сборочным линиям по технологии Flip-Chip.

Одним из главных спикеров на семинаре выступил Андреас Файт, представитель Европейского офиса Kulicke&Soffa, который дал краткий экскурс в историю становления компании, прокомментировал тенденции мирового рынка, а также рассказал о разработках в области унификации средств производства.

Данные этого мониторинга передаются через ПК рабочего места на сервер UPM, где происходит их обработка. Изобретение позволяет отслеживать и минимизировать непроизводственные затраты времени, повышая производительность ручного труда.

Умное рабочее место – продукт собственной разработки команды Остек-СМТ, предназначенный для повышения эффективности ручного труда. UPM выводит участки ручных операций на принципиально новый производственно-организационный уровень и повышает производительность ручного труда на предприятиях. Решение отличается простотой и легкостью



внедрения, оно позволяет оцифровать процессы на каждом рабочем месте, снижая риск невыполнения



Вторую часть семинара провёл руководитель продаж Европейского и Азиатского регионов Саймон Бродхарст по прямой линии из Сингапура. Его презентация была посвящена решениям компании в области автоматической микросварки и высокопроизводительным сборочным линиям.

В перерывах между выступлениями проходили оживленные дискуссии

гостей семинара и представителей Kulicke&Soffa и Остек-ЭК. Практическая часть мероприятия прошла в демозале Остека, где гостям была продемонстрирована работа установки автоматической микросварки.

*Для получения более подробной информации о предлагаемых решениях направляйте запросы на электронную почту: [micro@ostec-group.ru](mailto:micro@ostec-group.ru).*



## СЕССИЯ СООБЩЕСТВА ПО РАЗВИТИЮ ГРАЖДАНСКОЙ ПРОДУКЦИИ РОСТЕХА «МАРКЕТИНГ: ИДЕЯ, ПРОДУКТ, ПРОДВИЖЕНИЕ»

6 декабря 2019 года Маркетинговое агентство Группы компаний Остек и Академия Ростех провели сессию на тему «Маркетинг: идея, продукт, продвижение». В мероприятии приняли участие 80 представителей государственной корпорации Ростех: заместители генеральных директоров по направлению гражданской продукции, маркетологи и инженеры.

Идея сессии возникла в ответ на запрос Сообщества по развитию гражданской продукции Госкорпорации Ростех о развитии маркетинговых компетенций в области поиска идей гражданских продуктов, об исследованиях потребителей и рынков, разработке продукта и его продвижения, о том, как создать результативную и эффективную проектную команду.

Как сказал во вступительном слове ведущий эксперт сессии Антон Большаков, директор по маркетингу ГК Остек: «Формат встречи сообщества подразумевает активный диалог, обмен опытом и мнениями. Эта сессия – хорошая база для результативного старта в новом

году». В программе дня удалось не только затронуть теорию, но и, главное, практику маркетинга на промышленных предприятиях, собрать экспертные мнения и провести онлайн опросы.

Спикерами выступили Антон Большаков, Николай Батраков, Николай Желясков, Вячеслав Кузнецов из Маркетингового агентства ГК Остек, Артур Пищик из Управления маркетинга АО «Росэлектроника», Денис Шлесберг из брендингового и креативного агентства Артоники и Олег Ена из Проектного офиса ФИПС.

Мероприятие получило высокие оценки участников: «Актуальность тематики сессии на высоте. Все вопросы в точку и содержание на 99 % применимо на практике и очень полезно для работы над гражданскими продуктами».

Маркетинговое агентство ГК Остек благодарит Веру Орлову, менеджера проектов Академии Ростеха, за возможность провести заседание сессии и высокий уровень организации. В завершающем слове Вера Орлова отметила, что сейчас формируется программа, и в следующем году Академия Ростеха продолжит проводить заседания сообщества по развитию гражданской продукции, которые члены сообщества очень ждут: «Интересная сессия, много новой информации. Буду ждать следующей встречи для получения новой дозы знаний».

А главным итогом и результатом заседания стали отзывы о практиче-

ской применимости представленного материала и намерении участников сессии использовать эти знания на практике и развивать маркетинг, без которого невозможно решить задачу увеличения доли выпуска гражданской продукции, на своих предприятиях: «Прекрасная сессия, много полезных знаний! Есть практические вещи, которые обязательно найдут отражение в моей профессиональной деятельности. Спасибо!»

Получив отзывы об актуальности и востребованности сессии, Маркетинговое агентство ГК Остек решило повторить его в формате бесплатного открытого семинара. Программа семинара будет дополнена с учетом пожеланий участников сессии, в частности, будет добавлен доклад по коммерческому и технологическому аудитам.

Открытый семинар пройдет 12 февраля 2020 года в конференц-зале ООО Предприятие Остек по адресу: ул. Молдавская, д. 5, стр. 2. Программа семинара будет опубликована на сайте [www.ostec-group.ru](http://www.ostec-group.ru).

*Для регистрации направляйте заявки на электронную почту: [marketing@ostec-group.ru](mailto:marketing@ostec-group.ru) с указанием названия вашей организации, ФИО, должности и контактного телефона или обращайтесь по телефону +7(495) 788 4444, доб.: 7152.*



## ПЕРСПЕКТИВЫ

# ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ. ГОТОВО ЛИ К ЭТОМУ ШАГУ МИКРО- ЭЛЕКТРОННОЕ СЕРИЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО?

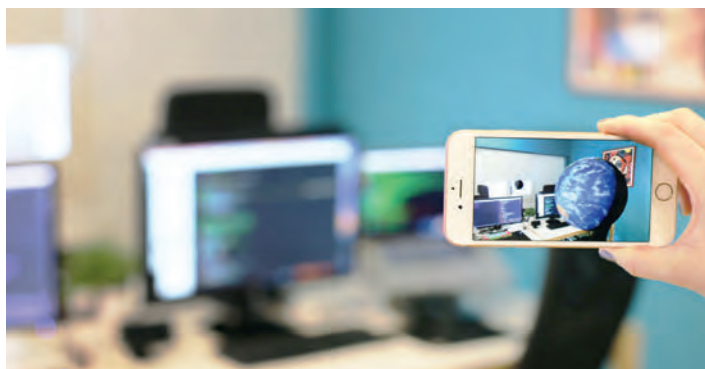


Текст: Дмитрий Суханов

”

Дополненная реальность (Augment reality) все больше проникает в нашу жизнь – нашу реальность. Раньше, лет 15 назад, об этом мечтал каждый фанат компьютерных игр, и мы даже не могли себе представить возможность использования этой технологии в повседневной жизни. Технология была доступна немногим из-за высокой стоимости, а воспользоваться ею можно было только в специализированных игровых центрах или в так называемых кинотеатрах 5D. Сейчас все кардинально изменилось. Практически каждый обладатель смартфона последнего поколения может получить такую технологию в свое личное пользование, и системы помощи водителю в последние несколько лет невозможно представить без этой опции.





1

Дополненная реальность в смартфоне. Источник: <https://www.iphones.ru/iNotes/812739>

## Что же объединяет в себе технология дополненной реальности?

Ответ прост – виртуальное и реальное. Взаимодействие в реальном времени программных данных и действительности позволяет получить совмещенную информацию и расширить восприятие реального мира (рис 1 и 2). Чтобы воспользоваться этой «чудо-технологией», результатом которой является введение в поле восприятия любых сенсорных данных для дополнения сведений об окружающем мире, необходимо наличие специальных устройств и, конечно же, программного обеспечения. На данный момент широкое использование получили различного рода очки, шлемы и проекция на поверхности, в основном стеклянные.

Многие производители современных электронных систем ведут исследования по внедрению в крупносерийное производство специальных стекол, которые являются основой всех устройств дополненной реальности. Одна из таких компаний – это немецкая фирма Schott AG<sup>1</sup>. Совместная работа компаний Schott AG и EV Group<sup>2</sup>, проведенная в «Центре компетенции EVG NILPhotonics®», открытом инновационном инкубаторе по наноприпечатной литографии (НИЛ), на единственной доступной в мире опытной линии НИЛ формата 300 мм продемонстрировала готовность 300-мм наноприпечатной литографии для крупносерийного производства различного рода стекол для дополненной реальности: «Ведущий поставщик оборудования для сращивания пластин и литографии на рынках МЭМС, нанотехнологий и полупроводников сегодня объявила о совместном проекте с компанией SCHOTT, одной из ведущих мировых технологических групп в области специальных стекол и стеклокерамики с целью демонстрации готовности наноприпечатной литографии (НИЛ) размером 300 мм (12 дюймов) для формирования рисунка на стеклянных пластинах с высоким показателем преломления в крупносерийном производстве волноводов/световодов для очков



2

Дополненная реальность на лобовом стекле автомобиля. Источник: <https://3dnews.ru/944595>

дополненной реальности следующего поколения»<sup>3</sup>. Итогом совместной работы стали стеклянные пластины с высоким показателем преломления SCHOTT RealView™ размером 300 мм, с нанесением рисунка по технологии EVG SmartNIL®.

## Что же такое технология EVG SmartNIL®?

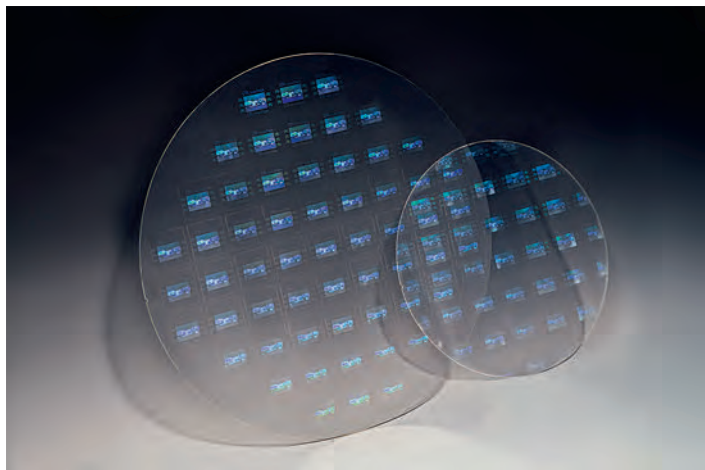
Перед тем как перейти к технологии EVG SmartNIL®, рассмотрим базовую технологию, то есть наноприпечатную литографию (НИЛ). НИЛ на уровне пластины все больше становится основной технологией для новых устройств и применяется в широком спектре на мировом рынке микроэлектроники. Например, она позволяет легко реплицировать сложные структуры (для которых обычно требуются технологии прямого формирования рисунка – установки электронно-лучевой литографии), что делает возможным ее использование в крупносерийном производстве. Технология взята на вооружение ведущими производителями устройств дополненной реальности, оптических датчиков и биомедицинских чипов, которые используют ее преимущественно уже сегодня.

НИЛ оказалась наиболее экономически эффективным способом использования наноразмерных рисунков на больших площадях, поскольку она не ограничена сложной оптикой, которая требуется для классической фотолитографии, и может обеспечить оптимальную точность рисунка для структур размером до 100 нм в крупносерийном производстве. Если речь идет об опытном и мелкосерийном производстве, то данная технология позволяет получить структуры размерами вплоть до 25 нм. Дополнительным плюсом НИЛ является возможность использования реплицированного слоя в качестве функционального слоя изделия для многих устройств. Таким образом, использу-

<sup>1</sup> <https://www.schott.com>

<sup>2</sup> EV Group, Австрия – партнер Остек-ЭК в области литографических процессов более 15 лет, <https://www.evgroup.com>

<sup>3</sup> ST. FLORIAN, Austria, August 28, 2019 – EV Group (EVG)



3

Технология EVG SmartNIL®. Источник: <https://www.evgroup.com>

емые материалы должны обеспечивать не только соответствующие функциональные свойства, но и хорошую способность к формированию отпечатка наноимпринта и, соответственно, надежность.

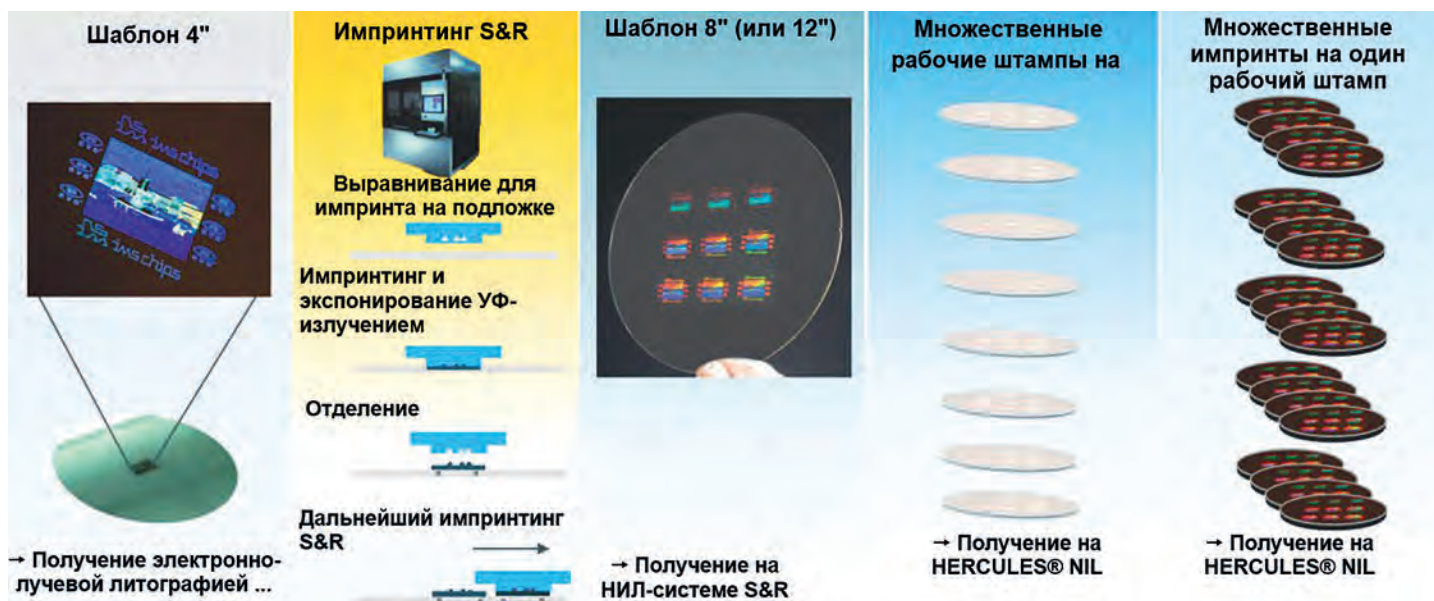
На сегодняшний день поставщики материалов для микроэлектронных производств следуют этой тенденции в сегменте фотонных изделий и предлагают полимеры с широким диапазоном показателей преломления. Необходимые материалы, резисты, а также стеклянные подложки предлагаются с необходимыми показателями преломления, то есть полностью совместимые с технологической цепочкой НИЛ.

EVG SmartNIL® – это технология импринтинга в полном поле, основанная на воздействии ультрафиолета, которая обеспечивает мощную литографическую технику следующего поколения с практически неограниченными раз-

мерами структуры и геометрическими возможностями (рис 3). Поскольку SmartNIL включает в себя многократную обработку мягких штампов, он также обеспечивает непревзойденную производительность со значительными преимуществами в отношении стоимости владения, сохраняя при этом масштабируемость и простоту обслуживания. Кроме того, срок службы мастер-шаблона продлевается до периодов, сопоставимых с масками (фотошаблонами), используемыми для оптической литографии.

Новые разработки приложений часто тесно связаны с достижениями в развитии возможностей оборудования. SmartNIL служит ключевой технологией для многих инноваций в области дисплеев, биотехнологий и фотонных приложений. Например, SmartNIL обеспечивает непревзойденный конформный импринтинг по всей площади для выполнения наиболее важных критериев для поляризаторов на стеклянных подложках. Также идеально подходит для высокоточного структурирования микрожидкостных чипов со сложными наноструктурами для поддержки производства устройств для фармацевтических исследований и медицинской диагностики следующего поколения. Кроме того, последние разработки в SmartNIL предлагают дополнительные степени свободы для производства инновационных фотонных структур с наивысшей функциональностью, наименьшими форм-факторами и большими объемами, которые являются ключевыми для включения дифракционных оптических элементов, оптических волноводов и других используемых микро- и нанофотонных элементов для 3D-зондирования и биометрической аутентификации.

Для обеспечения серийного производства на пластинах 200 / 300 мм, как правило, необходимо использовать не только НИЛ на уровне пластины, но и мастеринг – изготовление мастер-штампов для масштабирования шаблонов с единичными компонентами на полностью заполненные

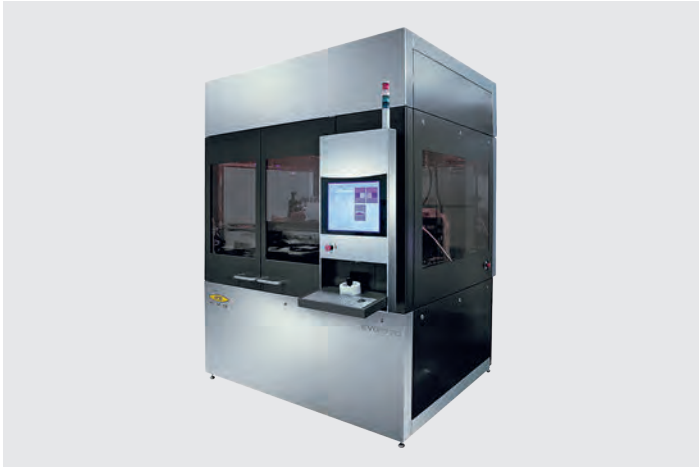


4

Общая схема полной технологической цепочки для крупносерийного производства с помощью SmartNIL на пластинах 8" или 12".

Источник: <https://www.evgroup.com>





5 Система мультиплицирования НИЛ EVG 770. Источник: <https://www.evgroup.com>



6 Автоматизированный комплекс HERCULES NIL 300mm. Источник: <https://www.evgroup.com>

рисунком (структурами) пластины и дальнейшей надежной репликации рабочих штампов с производством компонентов на уровне пластины. Общий технологический процесс показан на рис 4 в виде схемы необходимых технологических этапов.

Представленный базовый процесс использовался для подробной оценки НИЛ-технологии с материалами с высоким показателем преломления. Начальной точкой служит шаблон с одним кристаллом, полученный с помощью электронно-лучевой литографии. Этот шаблон несколько раз реплицируется на НИЛ-системе мультиплицирования EVG 770 (Step and Repeat S&R) для создания шаблона на уровне пластины (рис 5). Полученный шаблон S&R служит основой для последующего производства на уровне пластины. Преимущество S&R-мастеринга заключается в том, что все устройства являются репликами одного компонента, который можно оптимизировать для получения наилучших рабочих характеристик. Кроме того, S&R-мастеринг обеспечивает высокую экономическую эффективность и упрощает масштабирование на пластины размером 200 / 300 мм и больше.

Полностью интегрированная НИЛ-система EVG Hercules® фактически является полноценной производственной линией. Система включает все необходимые виды предварительной обработки, такие как очистка, нанесение покрытия и сушка, а также поддерживает фирменную технологию серии EVG SmartNIL. Систему используют в качестве первого этапа для производства так называемого «рабочего штампа», который затем служит для нанопринтинга готовых компонентов.

До этого момента использование НИЛ для нанесения рисунка на стеклянные подложки со структурами фотонных изделий ограничивалось размером подложки в 200 мм. Переход на обработку 300-миллиметровых пластин – важный шаг к выводу очков дополненной реальности на массовый потребительский и промышленный рынки. Однако обеспечение высокого качества подложки и однородно-

сти процесса при увеличении размера подложки влечет дополнительные трудности, для преодоления которых используется сложная автоматика и средства управления процессом. Технология EVG SmartNIL® – результат многолетних исследований, опытно-конструкторских работ и практических испытаний для решения задач формирования нанорисунка.

Применение в полевых условиях автоматизированного комплекса HERCULES NIL 300mm (рис 6), позволяющего использовать SmartNIL® в производстве на 300-миллиметровых пластинах, подтвердило возможность легкого масштабирования технологии от образцов уровня одного кристалла до подложек большой площади. Система HERCULES NIL 300mm сможет удовлетворить производственные потребности для широкого спектра устройств и приложений, включая оптические компоненты очков дополненной и виртуальной реальности, а также 3D-датчики, биомедицинские устройства, нанофотонику и плазмонику.

Готовность к серийному производству устройств дополненной реальности подтверждена масштабированием производства до 300-миллиметровых стеклянных пластин с высоким показателем преломления, что особенно важно для обеспечения объемов продукции и уменьшения ее стоимости, что, в свою очередь, необходимо для удовлетворения растущего рыночного спроса на современные и перспективные передовые устройства дополненной реальности. Совместная работа компаний EVG и SCHOTT, итог которой был продемонстрирован на Китайской Международной Выставке Оптоэлектроники (China International Optoelectronic Expo (CIOE)) в начале сентября 2019 года, показал полную готовность оборудования и цепочки поставок для производства стекла с высоким коэффициентом преломления размером 300 мм и серийного производства устройств дополненной реальности нового поколения. ▢

В статье использованы материалы с сайта компании EV Group: <https://www.evgroup.com>.

## ТЕХНОЛОГИИ

# «ЛИСА», «ПУМА», «ТАРАНТУЛ»: ГИБКОСТЬ И АДАПТИВНОСТЬ ПОЧТИ КАК В ЖИВОЙ ПРИРОДЕ

Текст: Юрий Ковалевский

”

Швейцарская компания Essemtec, специализирующаяся на оборудовании для поверхностного монтажа и хранения компонентов, в течение последних нескольких лет представила рынку ряд установок на основе новой платформы. Исторически компания ориентировалась на небольшие производства, и хотя оборудование Essemtec становится всё производительнее, двигаясь в сторону сегмента с более крупными сериями, оно продолжает традиции высокой гибкости и адаптивности. Об эволюции решений компании, особенностях ее нового оборудования, а также о том, как она отвечает специфическим потребностям заказчиков, рассказал региональный менеджер по продажам Essemtec AG Штефан Сарновски (Stefan Sarnovsky).



**Господин Сарновски, компания Essemtec существует на рынке с 1991 года. В то время поверхностный монтаж был достаточно молодой и активно развивающейся технологией. Каким было оборудование Essemtec тогда и как изменились решения компании за эти годы?**

В самом начале своего пути компания Essemtec была очень небольшой. Первой ее продукцией было относительно простое оборудование для ручной установки компонентов – манипуляторы Expert. Эти манипуляторы пользовались спросом, и мы продавали их достаточно долгое время. Но наши заказчики развивались, у них росли потребности, и Essemtec в стремлении удовлетворить новые требования своих клиентов начал создавать автоматические установки для поверхностного монтажа. Неизменными все эти годы остаются высокие требования к качеству нашего оборудования: разработка, сборка и проверка оборудования происходит в Швейцарии. Благодаря этому заказчик получает большую экономию в процессе эксплуатации нашего оборудования.

Я пришел в Essemtec в 2004 году, и тогда предложение компании уже включало автоматическое оборудование для установки компонентов. Первым таким оборудованием стали установки FLX, затем появились автоматы CSM. Оставаясь семейным бизнесом, компания росла очень быстро, и в определенный момент для перехода на новый уровень развития ей потребовались дополнительные инвестиции. Поэтому в 2013 году владельцами компании было принято решение о ее продаже новым инвесторам. К этому моменту Essemtec представил на рынке ряд нового оборудования, включая высокопроизводительную установку дозирования Scorpio и автомат установки компонентов Paraguda с производительностью 10 200 комп. / ч по стандарту IPC-9850. Решение о смене владельцев дало компании финансовые возможности для продолжения быстрого развития, и недавно Essemtec выпустил оборудование на совершенно новой платформе – автоматы установки компонентов Puma и Fox, а также установки нанесения материалов дозированием Spider и Tarantula.

**В чем заключается новизна этой платформы?**

Прежде всего, в ней применяются линейные двигатели. Как известно, приводы такого типа обладают рядом преимуществ: они обеспечивают высокую точность и очень быстрое перемещение, требуют меньшего объема обслуживания. Но, с другой стороны, большие ускорения вызывают вибрацию установки, поэтому мы используем в этой платформе специальные станины из минерального литья, которые абсорбируют вибрацию, создаваемую быстрым перемещением головки.

Кроме того, в платформе реализован ряд наших новейших ноу-хау. Это позволило создать оборудование, с одной стороны, гибкое, а с другой – высокопро-

изводительное, что также позволяет нам отвечать растущим потребностям наших заказчиков. Если изначально Essemtec ориентировался практически исключительно на производителей с малыми объемами производства, то сейчас мы можем предложить успешные решения для средних и даже относительно крупных компаний.

В частности, автомат Fox<sup>4</sup> обладает максимальной производительностью 18 800 комп./ч и производительностью по IPC-9850A для чип-компонентов 15 000 комп./ч. У автомата Puma<sup>4</sup> с четырехшпиндельной головкой и опциональным дозатором эти характеристики составляют, соответственно, 18 100 и 14 200, а у Puma<sup>2</sup> с двухшпиндельной головкой – 11 200 и 9 600 комп. / ч, при этом Puma<sup>2</sup> позволяет устанавливать два дозатора, обеспечивая возможность нанесения двух разных материалов, например паяльной пасты и клея, в рамках одной операции вместе с установкой компонентов. Точность установки по осям X и Y у всех исполнений Puma и Fox составляет ±50 мкм при 3σ. И все эти автоматы выпускаются в исполнениях для работы как в линии, так и вне линии с повышенным количеством позиций питателей.

**Как эволюционировали системы дозирования Essemtec и когда появились у вашей компании комбинированные решения, совмещающие установку компонентов и дозирование в одной единице оборудования?**

Essemtec разрабатывает и выпускает оборудование для дозирования много лет. К моменту моего прихода в компанию у нее уже были такие системы, имевшие обозначение CDS6700. Комбинация установки компонентов и дозирования тоже имеет достаточно длительную историю: это было реализовано уже в автоматах FLX и CSM.

Начиная с самых первых дозаторов, компания предлагала решения для нанесения как паяльной пасты, так и клея. Это были достаточно простые дозаторы – шнековые и пневматические. По современным представлениям они обладали довольно ограниченными параметрами, но в то время и потребности заказчиков были существенно ниже, и их такие решения вполне удовлетворяли. Сейчас спектр дозаторов значи-



Штефан Сарновски



Интерфейс программного обеспечения на центре Essemtec Fox

тельно расширился, у них улучшились характеристики, и в наших установках, включая комбинированные Puma и Fox, могут применяться в том числе очень быстрые и точные струйные пьезоэлектрические дозаторы с производительностью 150 тыс. доз/ч.

За годы технология дозирования очень сильно развилась, и, конечно, этот процесс не прекращается. Мы будем создавать и предлагать рынку новые решения с еще более высокими характеристиками.

**В каких случаях вы порекомендовали бы производителю применять комбинированную систему, в каких – отдельную установку дозирования, а в каких – трафаретную печать? Какие на данный момент существуют ограничения у дозаторов в отношении размеров компонентов?**

На выбор решения влияет множество факторов: размер доз или отпечатков, серийность, требуемые производительность и точность, применяемые материалы. Мы всегда стараемся детально обсуждать с заказчиками их конкретные процессы и уже затем предлагать наиболее подходящие для них решения.

Если мы говорим про дозирование паяльной пасты, эта технология ориентирована в первую очередь на прототипирование, а также на производства небольших и средних размеров. Дозирование клея активно применяется и крупными производителями. Мы видели у некоторых наших клиентов потребность в нанесении всего нескольких доз материала на плату в тех случаях, когда они что-то меняли в конструкции либо им требовалось приклеить небольшое количество компонентов на сборке. При этом было нецелесообразно каждый раз разрабатывать новый трафарет, но и приобретать отдельную установку для дозирования смысла не имело. Для таких случаев комбинированные установки оказались очень хорошим решением.

Что касается ограничения по размерам компонентов, на данный момент наши струйные дозаторы могут наносить дозы паяльной пасты типа 6 размером 500 мкм, а при использовании микрошнековых дозаторов достижимы размеры доз 350 мкм. Это позволяет применять их для компонентов размером 0402. Мы работаем над тем, чтобы сделать этот процесс более стабильным для изделий с компонентами малых размеров, планируем достичь размеров дозы менее 250 мкм. Но для хорошего результата необходимы определенные усилия и со стороны производителей паяльных паст.

При работе с мелкими компонентами можно достичь лучшего результата, если отказаться от паяльной пасты, поскольку ограничения возможностей дозирования во многом определяются фракцией припоя. Например, для монтажа можно использовать проводящий клей, что позволит уменьшить размер доз.

**Еще один вопрос про компоненты малого размера. Автоматы Puma и Fox могут устанавливать компоненты в корпусах 01005, но для этого требуется опциональный инструмент. В чем особенность установки данных компонентов с точки зрения производителя оборудования?**

Для таких компонентов требуется высокая точность, специальный захват, а также адаптированные под них питатели. Основную проблему составляют не столько техническое зрение и установка, сколько манипулирование этими компонентами и их захват. Они очень легкие, и их может просто сдуть потоком воздуха. Они выпадают из карманов ленты при ее перемещении. Поэтому все соответствующие узлы оборудования должны быть определенным образом адаптированы.

**В настоящее время производителями оборудования уделяется большое внимание программному обеспечению. Этому вопросу близка и тема «Индустрии 4.0», поскольку данная концепция предполагает работу с различными цифровыми данными. Какие достижения в этой области у компании Essemtec?**

Программное обеспечение с уверенностью можно назвать одной из наших сильных сторон. Еще на более ранних установках – Paraquada и Cobra – мы внедрили наше собственное специализированное ПО, отличающееся высоким уровнем интуитивности и простотой использования. Оно ориентировано на пользователей, которые часто меняют управляющие программы, переходят с одного типа изделия на другой, позволяя делать это очень быстро, с легкостью создавать новые программы, описывать компоненты. ПО обладает интуитивно понятным руководством пользователя на русском языке.



Что касается «Индустрии 4.0», несмотря на то, что большого спроса на соответствующие решения от небольших компаний не наблюдается, сектор поверхностного монтажа в целом движется в этом направлении, и заказчики, заглядывающие в будущее, интересуются всем, что позволит им следовать этому тренду.

Безусловно, мы следим за данным трендом и поддерживаем обмен данными в обоих направлениях: и горизонтальном, и вертикальном. Всё наше оборудование может быть связано посредством нашего ПО и обмениваться необходимой информацией.

Для обеспечения горизонтального взаимодействия с оборудованием других производителей мы внедрили интерфейс Hermes и будем поддерживать другие стандарты, если они получат широкое распространение в промышленности.

В отношении обмена данными по вертикали наша система e-MIS, а также ПО для управления складом, которое применяется в наших системах хранения Cubus, позволяют выполнять практически все необходимые задачи информационного обмена с внешними системами, используемыми заказчиками. Также при необходимости мы можем обеспечить обмен по протоколу SECS / GEM.

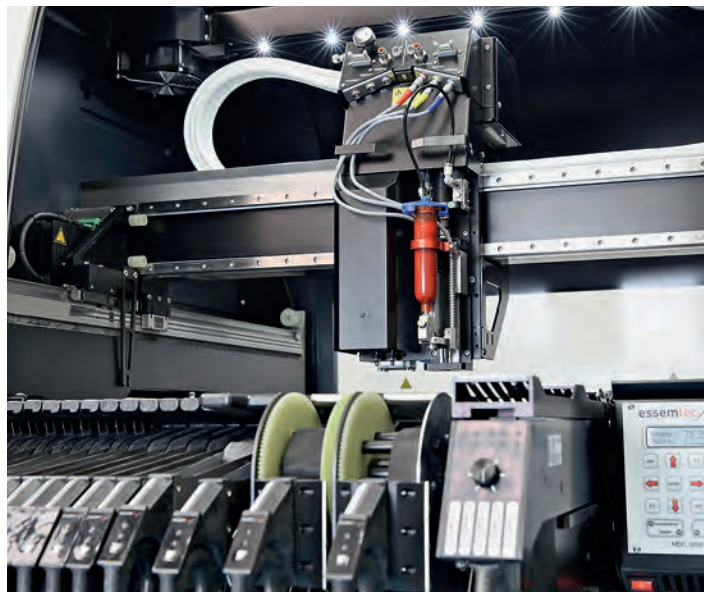
**Ваша компания, как уже говорилось, во многом ориентирована на небольшие и средние производства. Наверняка, у таких заказчиков часто возникают потребности в специализированных решениях.**

Да, каждый такой заказчик обладает своими особенностями, и очень трудно сделать стандартное оборудование, которое полностью удовлетворило бы всех. Но наша сильная сторона в том, что мы – относительно небольшая компания: в нашем штате порядка 100 человек, поэтому мы очень гибкие и можем предлагать специализированные решения, адаптировать оборудование под конкретные задачи и условия.

У нас есть и готовые решения для ряда достаточно специфических задач. Например, мы можем предложить оборудование для работы с очень большими платами – 610 × 560 мм, а при пошаговом перемещении – с платами длиной до 1 800 мм. Это находит применение, в частности, в сборке светодиодных изделий. Если вы работаете с гибкими платами, вы можете воспользоваться вакуумным столом и т. п. Но я хотел бы подчеркнуть, что мы всегда готовы к подробному обсуждению потребностей заказчика, чтобы предложить оптимальное для него специализированное решение.

**Есть ли примеры специализированных решений Essemtec, созданных по запросам российских компаний?**

Мы рассматриваем российский рынок как очень важный для Essemtec. В течение 15 лет моей работы в компании я наблюдал рост как самого рынка в России, так и технических требований, предъявляемых




Универсальный сборочный центр Essemtec Fox: дозирование и установка

российскими заказчиками. Это касается в том числе требований к производительности, которые мы удовлетворяем, создавая более быстрые установки и двигаясь в сторону сегмента оборудования для более крупных производств.

Essemtec работает на локальных рынках через партнеров – это часть политики компании. И я считаю, что нам повезло с партнером в России – ГК Остек. У нас получилось очень хорошее сочетание: Essemtec – компания, занимающая лидирующие позиции в своей области, и Остек, обладающий грамотной командой и очень сильными позициями на российском рынке приборостроения.

Что касается специализированных решений, в России всегда требуется что-то особенное. Иногда мы можем решить задачу на основе уже существующих опций, иногда мы предлагаем новое специализированное решение, исходя из анализа компонентов, материалов, процессов заказчика. Так мы поступаем во всем мире, и Россия – не исключение. Например, у нас были случаи, когда российские компании запрашивали решения для нанесения очень специфических материалов, и, изучив эти материалы, мы такие решения предлагали.

**В заключение хотелось бы задать вопрос про названия установок. Почему они взяты из мира животных?**

Мне кажется, это очень интересное маркетинговое решение. Мы начали использовать названия животных несколько лет назад, и главная цель этого была в том, чтобы подчеркнуть гибкость и адаптивность нашего оборудования. Ведь в том, как приспособиться к условиям окружающей среды, у природы нет равных, не так ли? 

# МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЗАПОЛНЕНИЯ ЗАЗОРА МЕЖДУ ПОДЛОЖКОЙ И КРИСТАЛЛОМ.

ЧАСТЬ 2. НЕТЕКУЧИЕ И  
НАНОСИМЫЕ НА УРОВНЕ  
ПЛАСТИНЫ АНДЕРФИЛЛЫ

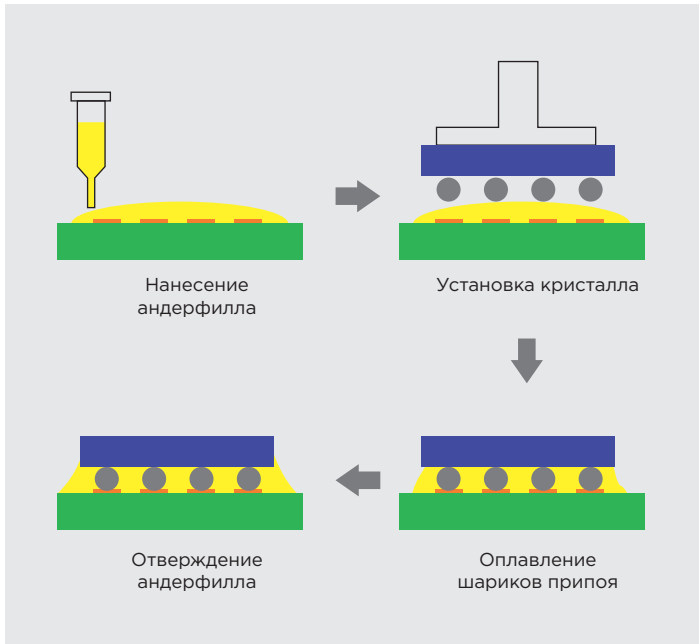


Текст: Александр Скупов



Данная статья – продолжение публикации «Материалы для заполнения зазора между подложкой и кристаллом. Часть 1. Андерфиллы капиллярного растекания», в которой говорилось об андерфиллах капиллярного растекания. В этом материале мы рассмотрим нетекучие андерфиллы (no flow) и наносимые на уровне пластины.





1 Нанесение нетекучего андерфилла

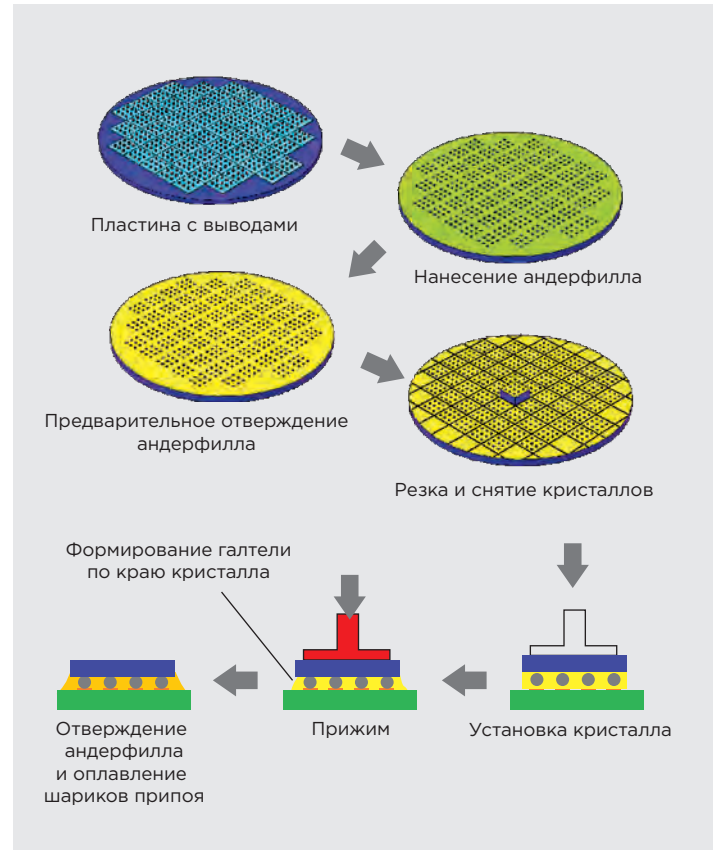
В предыдущей статье<sup>1</sup> были рассмотрены андерфиллы капиллярного растекания. Эти материалы наносятся вдоль кромки установленного кристалла в жидком виде и под действием капиллярных сил затягиваются в зазор между кристаллом и подложкой. Такие андерфиллы сравнительно просты для применения, но их использование может стать ограниченным в следующих случаях:

- большой размер кристалла (более 20 мм);
- большое число выводов, расположенных с малым шагом;
- сверхмалый размер шариков припоя на перевернутом кристалле ( $\leq 10$  мкм).

Во всех перечисленных случаях при растекании капиллярного андерфилла высока вероятность образования пустот и неоднородностей распределения наполнителя в материале. Для минимизации возможных дефектов приходится использовать материал с очень малым размером частиц наполнителя. Это приводит к увеличению вязкости материала и, как следствие, существенно уменьшает скорость затекания. При требуемой высокой производительности такой материал становится малоприменимым для применения.

Решение описанной проблемы – использование материала, который не требует капиллярного растекания. Такие материалы существуют, они наносятся на подложку либо кристалл (в том числе на уровне пластины) до его монтажа и оплавления шариков припоя. К ним относятся:

- нетекучие (no flow);
- андерфиллы, наносимые на уровне пластины (wafer-level underfill – WLUF).



2 Нанесение андерфилла на уровне пластины

Основные виды и свойства этих материалов будут описаны далее.

## Нетекучие андерфиллы

Технологический процесс монтажа кристалла с использованием нетекучего андерфилла представлен на рис. 1. Материал наносится перед монтажом кристалла, после чего происходит одновременное оплавление выводов и отверждение полимера.

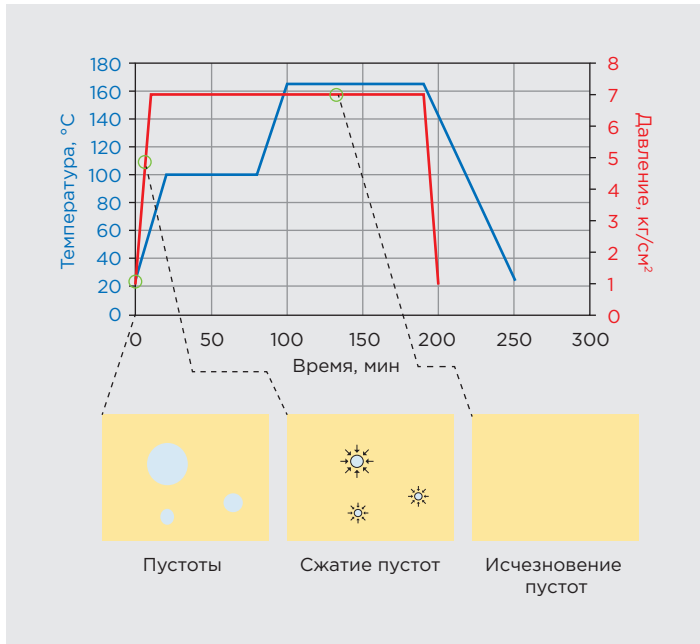
Состав нетекучих андерфиллов оптимизирован таким образом, чтобы обеспечить качественное смачивание припоем всех поверхностей при оплавлении до желирования материала, когда его вязкость станет слишком высокой для перемещения припоя.

Проблема образования пустот актуальна для нетекучих андерфиллов, но не так остра, как для капиллярных. Для уменьшения образования пустот рекомендуются качественная отмывка и сушка подложки и максимально точная установка кристалла с минимальным наклоном и смещением при установке.

Нетекучие андерфиллы, как правило, не содержат в себе наполнитель<sup>2</sup>. В противном случае он препятствовал бы смачиванию контактных площадок припоем при оплавлении выводов. Однако отсутствие

<sup>1</sup> "Вектор высоких технологий" № 5 (40) декабрь 2018

<sup>2</sup> Materials for Advanced Packaging, edited by D. Lu and C.P. Wong, Springer, 2008



3

Исчезновение пустот в андерфилле во время отверждения под давлением

наполнителя не позволяет добиться желаемых термо-механических свойств. Материал без наполнителя часто бывает слишком жёстким и хрупким, также не всегда возможно достичь желаемого КТР. Это очень критично для больших кристаллов, поскольку при изменении температуры такой андерфилл склонен к образованию трещин, что ведёт к отказу устройства. Примером нетекучего андерфилла является Indium NF260, свойства которого приведены в Т1.

Для устранения проблем с нетекучими андерфиллами и внедрения в их состав наполнителя есть несколько подходов:

- Первый – монтаж кристалла под давлением, когда предварительно нанесённый андерфилл имеет в своём составе наполнитель в виде сферических частиц  $\text{SiO}_2$ , подобно андерфиллам капиллярного растекания.
- Второй подход заключается в последовательном нанесении двух слоёв андерфилла. Тонкий первый слой не содержит наполнителя для обеспечения контакта выводов, а его вязкость такова, что не позволяет проникнуть частицам наполнителя из верхнего слоя за время проведения технологического процесса.
- Третий подход заключается в использовании в качестве наполнителя наноразмерных частиц. В этом случае они легко вытесняются припоем при оплавлении выводов.

Однако ни один из этих подходов не реализован в коммерчески доступных продуктах.

Применение нетекучего андерфилла является довольно простым и производительным процессом,

который приближает монтаж кристалла к технологиям SMT. Это в будущем открывает путь к дальнейшей миниатюризации электроники и использованию «голых» кристаллов при монтаже на плату вместе с пассивными компонентами.

Несмотря на удобство и простоту технологии использования нетекучего андерфилла его главным недостатком является сложность добавления наполнителей для коррекции свойств, непосредственно влияющих на надёжность устройств. Максимальное содержание наполнителя в таких андерфиллах не превышает 60 %, а этого недостаточно для полного контроля над модулем упругости и КТР. Но все равно нетекучие андерфиллы могут быть успешно применены для кристаллов небольшого размера с очень малыми выводами.

## Андерфиллы, наносимые на уровне пластины

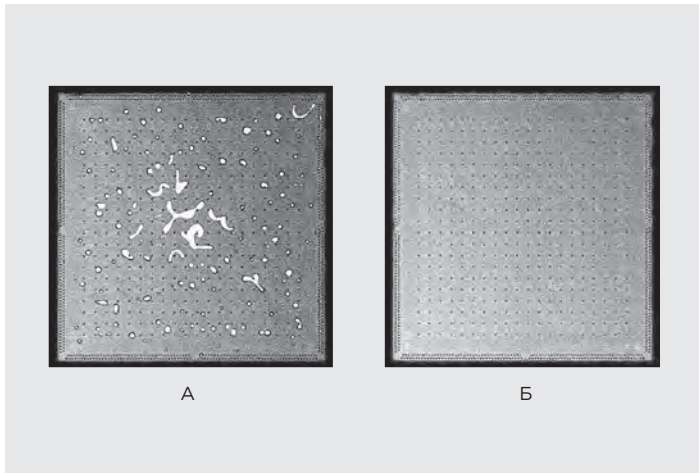
Типичный технологический маршрут применения материалов этого семейства представлен на рис 2. Андерфилл наносится на пластину, затем происходит его предварительное отверждение, а после разделения пластины и монтажа кристалла – оплавление выводов и финальное отверждение.

Для нанесения андерфилла на пластину могут быть использованы различные методы: трафаретная печать, центрифугирование, ламинирование.

Все андерфиллы для нанесения на уровне пластины являются материалами с двухэтапным отверждением (англ.: B-stage). В одном случае первичное отверждение происходит за счёт испарения растворителя (сушка), в другом – за счёт химической реакции (полимеризация). Полимеризация наиболее предпочтительный механизм первичного отверждения, поскольку в случае с растворителем повышается вероятность образования больших пустот в материале при финальном отверждении. Первичное отверждение позволяет зафиксировать механические свойства андерфиллов для облегчения манипуляций с ними и осуществления стандартной резки алмазным диском с охлаждением потоком воды. Очень важно точно контролировать время и температуру первичного отверждения, чтобы материал, с одной стороны, достиг механической прочности, с другой – сохранил способность к деформации и адгезии во время последующего монтажа кристалла на подложку. Как и в случае нетекучих андерфиллов, оплавление выводов совмещено с финальным отверждением андерфилла после монтажа кристалла, и андерфилл имеет в своём составе флюсующие добавки.

Для подавления возможного образования пустот в материале для андерфиллов, наносимых на уровне пластины, существует способ отверждения при повышенном давлении. Для этого используется специальная камера, позволяющая достигать давления в





4 Андерфилл до отверждения (А) и после отверждения под давлением (Б)

несколько атмосфер. Механизм предотвращения образования пустот таким способом показан на рис 3. На первом этапе вязкость материала небольшая, поэтому пустоты легко растворяются в андерфилле. Затем, когда андерфилл постепенно отверждается, и материал становится твёрдым, пустоты не могут снова появиться в нём из-за механической прочности. Таким образом, если в материале присутствовали мелкие воздушные пузыри, то газ из них оказывается распределён внутри материала без образования объёмных структур. Рентгеновский снимок кристалла с андерфиллом до отверждения под давлением и после показан на рис 4.

Преимущества использования андерфилла, наносимого на уровне пластины: большое содержание наполнителя в таком материале, а также простота процесса, полная совместимость с SMT-технологиями, высокая производительность за счёт группового нанесения материала на все кристаллы сразу ещё до разделения пластины.

В настоящий момент на рынке мало коммерчески доступных продуктов из семейства андерфиллов, наносимых на уровне пластины. Ведущие компании, поставляющие материалы для сборки и корпусирования, активно ведут разработки в этом направлении. Например, компания Namics ведёт лабораторное тестирование подобного материала и готовит его анонс в ближайшее время.

## Заключение

В настоящее время наблюдается тенденция к уменьшению размеров выводов и шага при их расположении на перевёрнутом кристалле (flip-chip), которая делает сложным или невозможным применение андерфиллов капиллярного растекания. На замену приходят нетекучие андерфиллы, которые существенно упрощают технологический процесс монтажа кристалла, но имеют сложности по достижению желаемых термомеханических свойств. В этой ситуации в электронике для микросхем с большим числом выводов и их плотным

### Т 1

Свойства нетекучего андерфилла Indium NF260<sup>1</sup>

ПАРАМЕТР	ЕДИНИЦА ИЗМЕРЕНИЯ	ЗНАЧЕНИЕ
Цвет	-	янтарный
Вязкость при 25 °С	кcPs	28
Срок годности при -40 °С	мес	6
Время жизни при 25 °С	ч	24
Твёрдость	Шор D	>90
Температура стеклования	°С	96
Теплопроводность	Вт/м·К	0,17
КТР (α1)	10-6 °С <sup>-1</sup>	65
КТР (α2)		275

<sup>1</sup> Materials for Advanced Packaging, edited by D. Lu and C.P. Wong, Springer, 2008

расположением самым актуальным сейчас является использование андерфиллов, наносимых на уровне пластины.

При выборе нетекучих и наносимых на уровне пластины андерфиллов важны те же самые физические свойства, что и для капиллярных андерфиллов (КТР, модуль упругости, температура стеклования, влагопоглощение, адгезия). Конкретный тип андерфилла выбирают исходя из его физических свойств, конструкционных особенностей сборки: материал подложки, размер кристалла, шаг и расстояние между выводами, высота зазора; условий эксплуатации изделия и желаемой производительности технологической линии. □

*Группа компаний Остек сотрудничает с производителями андерфиллов, ведущими передовые разработки и исследования в этой отрасли для удовлетворения потребностей наиболее продвинутых производителей микросхем. При необходимости специалисты Остека могут оказать технологическую поддержку в области применения материалов для создания выводов припоя на уровне пластины, совместно с производителями провести исследования и тесты, подобрать оптимальный технологический маршрут и материалы.*

# КАЧЕСТВО

## МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

## INNOVALIA METROLOGY –

## СИНОНИМ УНИВЕРСАЛЬНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ



Текст: Алексей Белоусов

**В** современных условиях на рынках товаров и услуг поставщику необходимо эффективно решать задачу контроля продукции на соответствие требованиям технической документации. Рассмотрим эту задачу на примере отраслей промышленности, связанных с механической обработкой.

Наиболее сложными для измерения являются зубчатые колеса, корпусные детали (например, корпуса редукторов), детали свободной формы (турбинные лопатки, детали кузовов). Сложность заключается в большом количестве требований к взаимному расположению различных элементов и поверхностей этих деталей. Проконтролировать соответствие детали по данным пара-

метрам не всегда возможно с помощью простых средств измерения и контроля (калибры, ручной измерительный инструмент). Поэтому возникает потребность в измерительной системе, которая сможет справиться с подобной задачей и не повлечет резкого увеличения себестоимости выпускаемой продукции.

Одним из решений может стать координатно-измерительная машина (КИМ). Она обладает рядом преимуществ по сравнению с другими измерительными системами: высокая точность, удобство, скорость, отсутствие влияния человеческого фактора (субъективная погрешность), ведение баз данных и их анализ. Съём первичной измерительной информации проводится либо



контактным методом (с помощью щупа), либо с помощью лазерного сканера.

На данный момент самое широкое распространение получили мобильные (КИМ-рука) и стационарные порталные КИМ. Конструктивно порталные КИМ состоят из неподвижного гранитного стола, подвижного портала с пинолью и измерительной головкой, стойки с контроллерами и ПК оператора. Элементы подвижного портала могут быть изготовлены из натурального гранита (наиболее распространённое конструктивное решение) или других материалов (алюмооксидная керамика). Большинство производителей выбирает гранит в качестве материала для изготовления ответственных деталей (базовая плита, пиноли), т. к. он обладает низким коэффициентом температурного расширения, что положительно сказывается на точности измерительной системы в целом.

Высокую точность измерений на порталной КИМ обеспечивают:

- прецизионные направляющие, выполненные из натурального гранита;
- жесткая конструкция портала;
- плита, исключая деформацию основания и направляющих портала, которая возникает под действием веса детали;
- опоры, изготовленные с большим запасом по прочности для поддержания базовой плиты в горизонтальном положении независимо от воздействия веса измеряемой детали;
- высокоточные фотоэлектрические системы измерений перемещений узлов КИМ по всем координатам.

Высокая скорость перемещения портала обеспечена электроприводами на базе высокомоментных двигателей с плавной регулировкой скоростей перемещения подвижных узлов КИМ в широком диапазоне. Автоматическое управление перемещениями этих узлов выполняется через специальные контроллеры, на которые поступают сигналы от подключенного к ним компьютера, осуществляющего также обработку результатов измерений и формирование отчетов. КИМ является универсальным средством измерения и контроля благодаря большому количеству модулей в программном обеспечении. Измерительные головки комплектуются большим набором щупов, что позволяет проводить измерение в различных отверстиях, проточках и других труднодоступных местах.

Однако каждый из производителей данных машин придерживается определенных принципов при разработке и изготовлении своих систем. Их можно разделить на три группы по способу создания машин:

- машины изготавливаются из элементов, заказанных у сторонних поставщиков, включая разработку программного обеспечения;
- все элементы, включая ПО, разрабатываются и изготавливаются самим производителем;
- производитель использует в конструкции машины



1

Портальная КИМ Spark

элементы, изготовленные сторонними поставщиками, а ПО, ответственные детали КИМ (базовая плита, портал, пиноль оси Z) и ряд дополнительных приспособлений и аксессуаров разрабатывает и изготавливает самостоятельно.

Каждый из подходов обладает рядом достоинств и недостатков. В первом случае заказчик защищен от длительных простоев машин в случае выхода из строя элементов КИМ, т.к. он может заказать их не только у производителя КИМ, но и у непосредственного производителя этих элементов. При таком подходе производители комплектующих будут максимально унифицировать функционал оборудования и ПО, но при этом разрабатываются специализированные модули. Их цена будет весьма высокой, что отрицательно скажется на себестоимости продукции, производимой заказчиком.

При втором способе основными недостатками являются высокая стоимость и невозможность покупки вышедших из строя элементов у сторонних поставщиков. В результате заказчик сталкивается с проблемой простаивающей КИМ и производственного процесса.



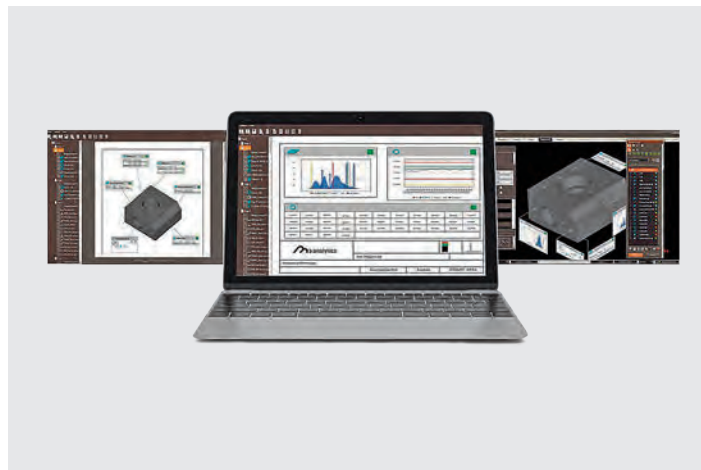
2

Мобильная КИМ Innovalia Metrology серии M3 Arm в составе рабочего места

При третьем способе заказчик имеет возможность заказать вышедшие из строя элементы у сторонних поставщиков. Также разработка производителем ответственных узлов КИМ (базовая плита, портал, пиноль и др.), ПО и других комплектующих и аксессуаров позволяет ему оперативно реагировать на отзывы и предложения по их доработке или исправлению. Для заказчика данный аспект имеет важное значение, потому что у него есть возможность напрямую отправлять свои информационные запросы по ПО и комплектующим, а также закупить все необходимое оборудование у одного производителя. Это удобно и защищает от конструктивной несовместимости, которая может возникнуть при закупке элементов разных производителей.

Именно таким поставщиком является компания Innovalia Metrology, которая уже более 40 лет занимается разработкой, производством и внедрением не только средств метрологического обеспечения – мобильных и стационарные (портальные, мостовые и др.) координатно-измерительные машины, программное обеспечение и т. д. – но и вспомогательного оборудования для оснащения измерительных лабораторий.

Портальные КИМ серии Spark, производимые компанией, обладают рядом преимуществ по сравнению с другими аналогичными машинами от других поставщиков (рис 1). Измерительные компоненты КИМ Spark (измерительные головки, датчики, линейки с энкодерами) изготавливаются британской компанией Renishaw. Ответственные узлы стационарных КИМ (плита, портал и пиноль оси Z), универсальное программное обеспечение (с одинаковым интерфейсом для стационарных и мобильных КИМ), калибровочные аксессуары, крепежная оснастка, мобильные КИМ (рис 2) и лазерные сканеры разрабатываются и производятся самой компанией



3

Пример работы M3 Analytics

Innovalia Metrology. Это дает возможность заказчику полностью оснастить свои лаборатории, т.к. управляющее программное обеспечение позволяет проводить обработку измерительной информации, получаемой с мобильных и портальных КИМ, на одном ПК. В данном случае существенно сокращается время инструктажа операторов машин, также есть возможность для операторов заменять друг друга на рабочих местах в случае необходимости.

Для эффективного решения задач по оптимизации производственных процессов и управлению качеством необходимо обрабатывать огромные объемы информации, поступающей с каждого участка контроля, со всех средств измерений и измерительных систем, а также отслеживать их состояние и при этом обеспечивать доступ с нескольких персональных компьютеров сотрудников предприятия.

В составе программного обеспечения, разработанного компанией Innovalia Metrology, по требованию заказчика может быть поставлена программа для управления качеством на предприятии, которая называется M3 Analytics. Данный продукт позволяет в режиме реального времени проводить сбор информации с каждого средства измерений, используемого на предприятии. После анализа полученной информации система формирует цветной графический отчет с гистограммами для лучшей визуализации результатов и своевременно предупреждает о рисках возникновения брака на предприятии (рис 3). Работа с M3 Analytics позволяет увеличить производительность, снизить себестоимость продукции и уровень брака, исключить влияние человеческого фактора. Программа может работать в онлайн и оффлайн режимах, позволяет формировать базы данных и вводить индивидуальные настройки пользователя.

Лазерный сканер (рис 4), производимый Innovalia Metrology, конструктивно совместим с измерительной головкой Renishaw на стационарной КИМ и может уста-





4

Лазерный сканер Optiscan

навливаясь на любую мобильную КИМ. Данная особенность позволяет использовать сканер на этих двух типах машин, а также совмещать использование контактных и бесконтактных датчиков в рамках одной измерительной программы на стационарной КИМ в автоматизированном режиме без ограничения количества замен.

Многие предприятия производят широкий ассортимент продукции по габаритным размерам и форме, среди них немалую часть составляют малогабаритные и легковесные детали. Проблема контроля таких деталей заключается в их малой массе, потому что зачастую этой массы не хватает, чтобы деталь фиксировалась под действием собственного веса и не смещалась под действием измерительного усилия КИМ, что может привести к потере достоверности результатов замеров. Для обеспечения высокой точности измерений необходимо максимально надежно зафиксировать деталь. Innovalia Metrology разработала универсальные комплекты крепежной оснастки (рис 5) под различные габариты измеряемых деталей для максимального удобства потребителя, что позволяет избежать неудобства закупок товаров у разных производителей.

Помимо малогабаритных деталей в ассортименте продукции предприятия нередко есть зубчатые колеса, и поэтому очень актуальна задача их контроля. В этом случае у предприятия есть выбор: либо закупать специализированное оборудование для установки на рабочий стол КИМ вместе с соответствующими модулями ПО, либо покупать отдельную машину для измерения зубчатых колес, либо отдавать детали для измерения на сторону. Во всех случаях существует риск: в первом – резкое увеличение себестоимости поставляемой продукции и снижение ее конкурентоспособности на рынке из-за возросшей цены; во втором – большая вероятность недогрузки зубоизмерительной машины и, соответственно, отрицательный экономический эффект от внедрения данного оборудования; в третьем – увеличение сроков




5

Набор универсальной крепежной оснастки

отгрузки готовой продукции либо недостоверный результат контроля. Зубчатые колеса – это детали весьма специфичные для измерения и контроля, что является причиной высокой стоимости машин для их измерения и нераспространенности таких машин.

Компания Innovalia Metrology занимается проектированием и выпуском специализированных поворотных столов (рис 6), которые обладают достаточным запасом прочности для размещения зубчатых колес, а также разработкой и внедрением соответствующих модулей ПО. Благодаря приемлемой цене и высокому качеству этого оборудования его покупка не приведет к существенному росту себестоимости выпускаемой продукции.

Немаловажное значение для производств имеют вопросы не только стоимости, но и качества и сервиса измерительных систем, потому что цена повлияет на конечную стоимость выпускаемой продукции и ее конкурентоспособность на рынке, а качество – на срок службы и расходы по обслуживанию и ремонту. Чтобы обеспечивать уровень этого сервиса, наши специалисты регулярно проходят обучение на производственной площадке Innovalia Metrology с максимально углубленным изучением возможностей и особенностей поставляемого оборудования.

Возможность решить задачу контроля соответствия своей продукции требованиям технической документации с помощью оборудования от одного производителя, его доступность и качество метрологических решений, уровень сервиса, предлагаемые компаниями Innovalia Metrology и Остек-АртТул, позволят предприятиям-заказчикам повысить эффективность своих производств, конкурентоспособность продукции и приобрести репутацию надежного партнера и поставщика для своих клиентов в жестких условиях современного рынка товаров и услуг. 

# ОПТИМИЗАЦИЯ

# ЦИФРОВИЗАЦИЯ СБОРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА РЯЗАНСКОМ РАДИОЗАВОДЕ

Текст: **Денис Чернов**  
**Роман Лыско**

”

Удача любого стартапа во многом зависит от первого внедрения. Даже самые передовые и интересные разработки могут вызывать скепсис со стороны заказчиков. Часто это связано с желанием вживую увидеть работу нового продукта, тем более промышленный туризм всё больше развивается в нашей стране. Новая разработка Остек-СМТ, программно-аналитический комплекс «Умное рабочее место», прошла уже довольно длинный путь от идеи до реального продукта и внедрена на АО «Рязанский Радиозавод», одном из ведущих предприятий по выпуску средств радиосвязи пятого поколения.





1

«Умная линия» Рязанского радиозавода

Группа компаний Остек уже более 15 лет сотрудничает с Рязанским радиозаводом. Среди реализованных проектов запуск двух высокопроизводительных автоматов установки компонентов, конвекционной печи оплавления паяльной пасты, системы селективной пайки, паяльно-ремонтного центра, поставка решений для электрического контроля и испытаний, производств печатных плат, а также ручного паяльного оборудования. Предприятие активно развивается и наряду с обновлением и расширением парка оборудования внедряет решения по автоматизации и цифровизации производственных процессов. Завод перешел в стадию промышленной эксплуатации автоматизированной системы управления предприятием «М-3», а на автоматической линии по монтажу печатных плат развернут программно-аналитический комплекс «Умная линия» (рис 1).

«Умная линия» позволяет получать оперативную информацию о готовности продукции, параметрах работы оборудования, незапланированных сбоях и остановках, собирать аналитику, необходимую для упреждающих действий. В ближайшее время в технологический процесс предприятия будет встроена интеллектуальная система хранения компонентов.

В рамках технического перевооружения сборочного производства в 2019 году заводом проведен комплексный ремонт цеха 015. В ходе ремонтных работ смонтированы новые инженерные системы цеха, включая систему

вытяжной вентиляции, создана необходимая сетевая инфраструктура, а компания «Остек-СМТ» оснастила все 66 рабочих мест промышленной антистатической мебелью GEFESD и элементами антистатической защиты. 20 рабочих мест дополнительно оснащены сенсорными мониторами, компьютерами и сканерами штрихкода. На этих автоматизированных рабочих местах развернут программно-аналитический комплекс «Умное рабочее место» (рис 2).

Это внедрение является первым в России, а Рязанский радиозавод первым в стране начал досконально отслеживать весь процесс производства продукции. С помощью устройств, установленных на рабочих местах, осуществляется отображение и сбор информации. Все данные собираются в едином информационном центре предприятия, где происходит их обработка и хранение. Диспетчерский экран, установленный в цехе, в режиме реального времени отображает информацию о состоянии участка и диаграммы о выпуске готовой продукции и выполнении плановых показателей (рис 3). Расположение большого экрана в цехе повышает уровень информированности и вовлеченности в рабочий процесс сотрудников сборочного производства, что положительно влияет на эффективность работы в подразделении.



2

Умные рабочие места



3  
Диспетчерский экран

*«Внедрение комплекса «Умное рабочее место» на сборочно-монтажном производстве завода позволит нам усилить контроль за производством, а также повысить качество и конкурентоспособность выпускаемой продукции», – говорит первый заместитель генерального директора, исполнительный директор АО «Рязанский Радиозавод» Алексей Сергеевич Широков.*


Одна из основных задач комплекса «Умное рабочее место» на производстве радиозавода – повышение эффективности ручного труда при производстве радиоэлектроники. В числе прочего это достигается за счет снижения производственных затрат времени на организацию процесса. Так при выполнении работы сотрудники сборочного подразделения получают технологическую документацию через интерфейс «Умного рабочего места». Алгоритм построен таким образом, что полностью исключена вероятность использования на рабочем месте устаревшей документации, а затраты времени на поиск и актуализацию сводятся к минимуму. Это, безусловно, способствует повышению качества производимой продукции и позволяет снизить себестоимость продукции за счет уменьшения возможных дефектов.

Программно-аналитический комплекс «Умное рабочее место» интегрирован с системой управления предприятием «М-3». Между приложениями настроен двусторонний обмен данными, позволяющий синхронизировать информацию в режиме реального времени. Системы обмениваются справочниками сотрудников и номенклатуры, из «М-3» в «Умное рабочее место» поступают сформированные сменные задания для каждого сотрудника, а в обратную сторону направляется информация о дате и исполнителе каждой операции, о количестве выпущенной готовой продукции и выполнении плана. Ранее вся эта информация поступала к сотрудникам участка и обратно в систему управления предприятием исключительно вручную на бумажных носителях. Очевидно, что внедрение «Умного рабочего места» существенно сократило время на выдачу

сменных заданий на рабочие места и на внесение итоговой информации в «М-3».

«Умное рабочее место» обеспечивает пооперационный учет процесса изготовления изделий на заводе. При работе сотрудник самостоятельно в режиме реального времени делает отметки о начале и окончании операции с изделием. Причем система фиксирует и дату, и время. Следовательно, постоянно поступает информация о фактической трудоёмкости операций и изделий в целом. Ранее сотрудники фиксировали в бумажном паспорте изделия только дату окончания операции, а фактическая трудоёмкость периодически измерялась секундомером. В «Умном рабочем месте» бумажный паспорт заменён на цифровой. Теперь цифровой паспорт изделия для каждой операции содержит не только имя исполнителя и дату, но и точку начала операции и статус операции. Так, если операция по каким-либо причинам приостановлена, например, из-за нехватки комплектации, то соответствующая отметка обязательно устанавливается. При пополнении комплектации приостановленные изделия легко можно найти в системе и запустить в работу. Поскольку «Умное рабочее место» интегрировано с системой управления предприятием, информация о каждой операции автоматически попадает в «М-3». Мастер только проверяет выполнение и закрывает наряд. Ранее ему приходилось делать это вручную, что занимало много времени – на участке более 20 сотрудников и они сдавали работу одновременно в конце смены.

В течение нескольких месяцев эксплуатации будет собрана реальная статистика об увеличении показателей эффективности. На текущий момент ожидается снижение трудоёмкости изделий до 15–20 %.

Цифровизация ручного производства дает предприятию ряд таких конкурентных преимуществ, как сокращение сроков выполнения заказов, снижение влияния человеческого фактора, обеспечение прослеживаемости процесса сборки изделий и возможность получать оперативную информацию об изделии в течение всего жизненного цикла, повышение качества продукции и имиджа предприятия. 

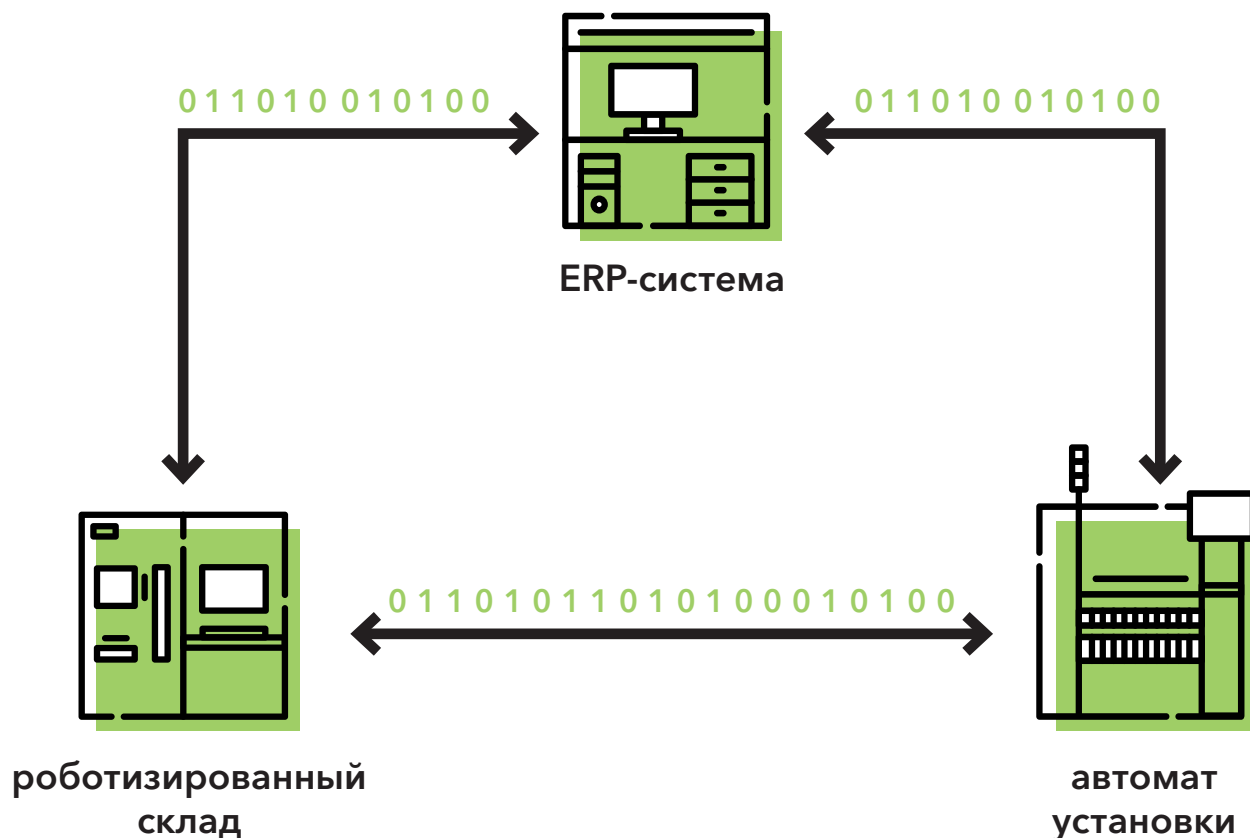
*Внедрение программно-аналитического комплекса «Умное рабочее место» является важным шагом в развитии сборочно-монтажного производства Рязанского радиозавода. Предприятие планирует в ближайшее время увеличить количество автоматизированных рабочих мест. В ходе пилотной эксплуатации специалистами завода и Остек-СМТ будут выявлены все тонкости и особенности в работе комплекса и определены наиболее приоритетные задачи в области развития функционала.*

*Группа компаний Остек и АО «Рязанский радиозавод» планируют и дальше развивать сотрудничество в области автоматизации и цифровизации производственных процессов.*



# 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

# ОПТИМИЗАЦИЯ

# ВЫБИРАЯ ВЛАГОЗАЩИТНОЕ ПОКРЫТИЕ. ЦЕНА ≠ СТОИМОСТЬ



Текст: Денис Поцелуев

”

Защита печатных узлов от различных негативных факторов внешней среды – один из ключевых аспектов в процессе производства радиоэлектронной аппаратуры. Особенно если речь идет о производстве электроники ответственного и специального назначения. Правильно подобранные влагозащитное покрытие и технологический процесс существенно повышают надежность и длительность работы электронных устройств в неблагоприятных условиях. Ключевой вопрос в том – как не ошибиться при выборе покрытия? Какому алгоритму следовать? Какие параметры или аспекты учитывать? Как правильно работать с ценовой информацией? В данной статье будут кратко рассмотрены методы выбора влагозащитных покрытий и более детально – аспекты формирования стоимости и влияние покрытий на цену изделия.





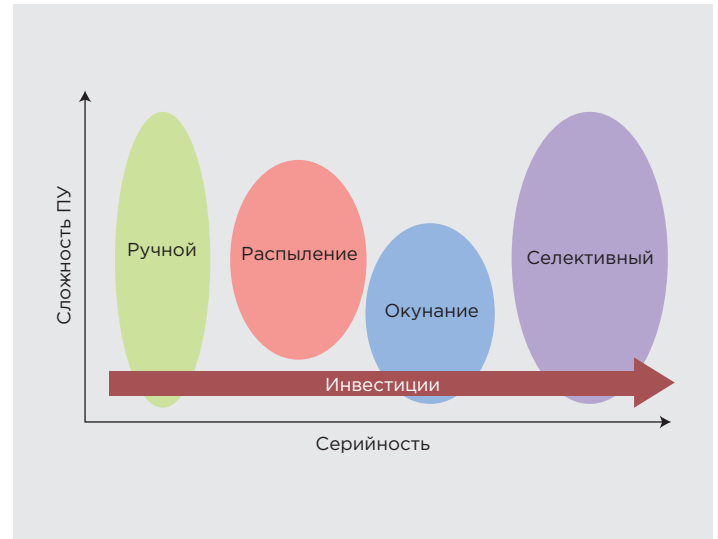
1

Алгоритм выбора влагозащитного покрытия

Сегодня на рынке представлен широкий ассортимент технологических материалов, предназначенных для защиты электроники от негативных воздействий окружающей среды: уретановые и акриловые лаки, полиуретановые и силиконовые компаунды, эпоксидные смолы, парилен. Наряду с большим разнообразием покрытий самым распространенным материалом для защиты печатных узлов от неблагоприятных воздействий окружающей среды остаются лаки – уретановые и акриловые влагозащитные покрытия.

Рассмотрим сначала, какие типы влагозащитных лаков бывают. Влагозащитные покрытия разделяют на две большие группы: уретановые и акриловые. Внутри этих групп идет более узкое деление: по вязкости (лак/гель), основе (вода/растворитель), способу применения, наличию сертификата UL. В отдельную группу можно выделить покрытия ультрафиолетового отверждения из-за специализированного метода отверждения, однако по своим характеристикам они ближе к уретановым покрытиям. Сложно не запутаться в таком многообразии, учитывая, что разных типов лаков более 50 вариантов. Поэтому у технологов очень часто возникают вопросы по методике правильного выбора влагозащитных покрытий.

Для выбора влагозащитного покрытия не существует определенных регламентов, методологии или правил, поскольку процессы производства электроники специализированы и зачастую крайне индивидуальны. Но существуют общие рекомендации, благодаря которым можно упростить процесс выбора. Схематично алгоритм выбора влагозащитного покрытия представлен на рис 1. Однако данную схему необходимо дополнить комментариями. Сначала требуется определить диапазон рабочих температур, в которых будет эксплуатироваться электроника. Так как мы говорим о полимерных лаках, диапазон допу-



2

Методы нанесения влагозащитных покрытий – ключевые факторы

стимых рабочих температур у них составляет от -65 до +125 С. Если температурные условия превышают 125 С, то следует рассматривать силиконовые влагозащитные покрытия.

Далее необходимо определить требования к химической стойкости, т.е. будет ли печатный узел подвергаться воздействию химических веществ, солей, грибковых образований и т.п. Наибольшая устойчивость к воздействию химических веществ заявлена для уретановых лаков и лаков ультрафиолетового отверждения, а вот акриловые покрытия рекомендуется использовать только для защиты от повышенной влажности.

Следующий шаг – определить желаемый или требуемый тип полимеризации или отверждения. Под существующие способы отверждения (воздухом, влажностью, температурой, ультрафиолетом) или их комбинацию подходят определенные типы покрытий. Как правило, данная информация указана в листе технической информации на продукт. Если возникли затруднения, настоятельно рекомендуем воспользоваться консультацией специалиста.

По способу или методу нанесения ограничений меньше, но они все же есть. Для большинства методов нанесения (кистью, распылением, селективным нанесением, окунанием) подходят практически все влагозащитные покрытия. Тем не менее, лаки на водной основе, как правило, ограничены для применения на установках селективного нанесения, а лаки ультрафиолетового отверждения не рекомендуется наносить методом окунания. Метод нанесения влагозащитного покрытия оказывает определяющее воздействие на себестоимость единицы изделия и стоимость технологического процесса в целом. Все производственные факторы учесть очень сложно, но можно ориентироваться на два ключевых: сложность печатного узла и серийность (рис 2).

## Т 1

Сравнение методов нанесения влагозащитных покрытий

МЕТОД НАНЕСЕНИЯ	КИСТЬ	РАСПЫЛЕНИЕ	СЕЛЕКТИВНОЕ НАНЕСЕНИЕ	ОКУНАНИЕ
Акриловые	Да	Да	Да	Да
Полиуретановые	Да	Да	Да	Возможно
На основе растворителей	Да	Да	Да	Да
На водной основе	Да	Да	Нет (как правило)	Да
УФ-отверждение	Да	Да	Да	Да (в зависимости от оборудования)
Преимущества	Низкие затраты	Средние затраты	Высокая скорость и повторяемость	Высокая скорость, покрытие с двух сторон
Недостатки	Зависимость от оператора	Избыток лака, маскирование	Высокие капитальные затраты	Дизайн плат

Ручное нанесение и нанесение путем распыления – две самые распространенные технологии нанесения влагозащитных покрытий. Их преимущества в том, что они не требуют серьезных инвестиций в оборудование, просты в применении, подходят для печатных узлов разной сложности. Однако они имеют и свои недостатки: низкая повторяемость процесса, высокий расход материала, невысокая производительность, отсутствие контроля толщины покрытия.

При средней и высокой серийности производства рекомендуется рассмотреть нанесение влагозащиты окунанием и селективным методом. К преимуществам можно отнести низкие переменные затраты, высокую производительность, контроль толщины покрытия. Недостатки – более высокие затраты на оборудование, создание специализированного программного обеспечения и требования к высокой квалификации персонала. Сравнение различных методов нанесения в обобщенном виде приведено в **Т 1**.

Итак, можно считать, что с выбором покрытия мы определились и остановились на нескольких вариантах. Но в итоге выбор надо сделать в пользу одного продукта, и его цена здесь играет не последнюю роль. А цена за единицу измерения (как правило, литр) зачастую оказывает определяющее влияние на выбор и сравнение различных лаков. В условиях жесткой конкуренции и стремлении снизить производственные затраты производители электроники при выборе ориентированы на минимальную стоимость за литр. В этом нет ничего плохого, но, если не учитывать некоторые технические моменты, самый дешевый продукт может оказаться дорогим и наоборот: **ЦЕНА ≠ СТОИМОСТЬ**.

При выборе и сравнении влагозащитных покрытий часто не учитывается такое свойство материала как

содержание твердых частиц. Твердые частицы – это основа лака, которая после полимеризации остается на поверхности печатного узла. Их содержание может существенно различаться в зависимости от продукта. Исторически все защитные покрытия производят с содержанием частиц меньше 100 % по нескольким причинам:

- для снижения вязкости с целью удобного нанесения;
- для повышения адгезионных свойств путем добавления специальных присадок.

Более 75 % влагозащитного покрытия составляют различные присадки и агенты, которые не влияют на конечные свойства покрытия, но критически необходимы для производственного процесса. Таким образом, сравнение цены без учета содержания количества твердых частиц во влагозащитном покрытии получится некорректным. Давайте рассмотрим это на примере **Т 2**.

Покрытия ультрафиолетового отверждения, как правило, существенно дороже традиционных акриловых или уретановых и нередко вызывают «ценовой шок» у представителей отделов закупок. Но по факту покрытия УФ-отверждения могут обеспечить большую выгоду и наименьшие затраты на единицу изделия в процессе производства.

Конечно, УФ-покрытия подходят не для каждого технологического процесса и требуют специализированного оборудования. Но приведенная выше методика эффективна также и для сравнения традиционных влагозащитных покрытий. Очень яркий пример можно привести с влагозащитными покрытиями в аэрозольных баллонах. Это довольно популярный и, на первый взгляд, выгодный способ защитить печатный узел

Т 2

Сравнение цены с учетом содержания твердых частиц во влагозащитном покрытии

ВЛАГОЗАЩИТНОЕ ПОКРЫТИЕ	СОДЕРЖАНИЕ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ	ЦЕНА	СТОИМОСТЬ
Покрытие на основе синтетического каучука	25 %	₽X/литр	X/.25 = ₽4X
Уретановое покрытие на основе растворителей	40 %	₽1,1X/литр	1.1X/.40 = ₽2.75X
Покрытие ультрафиолетового отверждения	100 %	₽2X/литр	2X/1.0 = ₽2X

уретановым или акриловым лаком из аэрозольного баллона. Но давайте обратимся к нашему опыту и проанализируем количество твердых частиц. Количество твердых частиц в стандартном аэрозольном баллоне составляет порядка 6–8 %. Но помимо баллона в лаке еще присутствует пропеллент-вытеснитель, чтобы пользователь смог его распылять (рис 3). Поэтому из заявленных 250 или 400 мл объема баллона самого лака, по факту, находится гораздо меньше. С учетом всех этих факторов стоимость покрытия площади печатного узла в пересчет на литры увеличивается в 4–6 раз по сравнению со стандартным методом ручного нанесения или распыления через пульверизатор.

Безусловно, существует еще множество факторов, которые можно и нужно принимать во внимание при выборе влагозащитных покрытий: компетенции поставщика, уровень сервиса и технологической

поддержки, репутация и профессионализм компании, технологичность и свойства материала, требования по безопасности для персонала и так далее. Но так как вопросы цены и стоимости имеют первостепенное значение, необходимо под разными углами оценивать задачи по выбору технологических материалов и правильно интерпретировать цену в стоимость. ▢

**ООО «Остек-Интегра» является официальным эксклюзивным дистрибьютором компаний DOW (влагозащитные покрытия под маркой Dowsil®) и Chase Corporation (влагозащитные покрытия под маркой HumiSeal®). Накопленный опыт и знания, широкая номенклатура материалов, наличие сертифицированного специалиста IPC и собственного отдела технологической поддержки, доступ к исследовательским центрам мирового уровня позволяют компании решать индивидуальные уникальные задачи различного уровня сложности.**



3

Конструкция аэрозольного баллона

*По любым вопросам, касающимся технологических материалов и связанных с ними процессов, обращайтесь по телефону ООО «Остек-Интегра»: +7 (495) 788-44-44 или по электронной почте: materials@ostec-group.ru. Ознакомиться с основной номенклатурой поставляемых технологических материалов можно на сайте [www.ostec-materials.ru](http://www.ostec-materials.ru).*



## ТЕХПОДДЕРЖКА

# ПАРАМЕТРЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Текст: Аркадий Медведев  
Аркадий Сержантов  
Екатерина Шкундина



Техническая революция заставляет искать новые подходы к организации производства, в частности, к цифровизации производства печатных плат и химических процессов. Эти процессы с трудом поддаются цифровизации из-за большого количества факторов управления, их разнообразия и тесной взаимозависимости. Тем не менее, более 70 % процессов в производстве печатных плат – химические. Поэтому разговор об их цифровизации актуален, и в статье мы обсудим, в первую очередь, те параметры, которыми нужно управлять, чтобы прийти к цифровизации электрохимических процессов.

**Т 1**

Скорость осаждения наиболее распространенных металлов, выраженная в граммах

МЕТАЛЛ	МАССА (Г) ЗА ОДИН АМПЕР/Ч	АМПЕР/Ч
Медь	1,186	1,88
Олово	2,214	0,82
Свинец	3,865	0,73
Никель	1,095	2,00
Золото	7,348	0,65

### Внешние и внутренние параметры управления

При рассмотрении процессов управления мы руководствуемся сложившейся практикой управления гальваническими процессами. Они делятся на внутренние и внешние. Внутренние – те, что являются основой управления самим процессом, например, состав ванны, плотность тока, время осаждения, температура, активация приэлектродных пространств. Внешние параметры, такие как пластичность, сплошность осадков и др., по существу являются лишь признаками правильности процессов, заставляющих реагировать на те или другие свойства электрохимических осадков.

### Базовые основы электрохимических процессов осаждения металлов

Плотность тока. Электрохимическое (гальваническое) покрытие является результатом восстановления металла электрическим током из электролита, содержащего ионы этого металла. Масса гальванического осадка зависит от тока и времени и выражается законом Фарадея:

$$M = ItA / nF, \text{ где:}$$

M – масса металла, г

I – ток, А

t – время, с

A – атомный вес металла

n – число электронов, задействованных в восстановлении ионов металла

F – постоянная Фарадея (96 485 г/моль).

Осаждение происходит на катоде (отрицательном электроде). Соответственно, толщина осаждения определяется временем и током, направленным к поверхности, на которой происходит осаждение металла. А используя приведенную формулу, можно легко рассчитать массу осажденного металла, распределенную по осаждаемой поверхности. Массу можно пересчитать в толщину покрытия на известной площади. Исходя из закона Фарадея, рассчитывается скорость осаждения наиболее распространенных металлов (**Т 1**).

По этим расчетам для осаждения осадка меди толщиной 25 мкм потребуется 1,88 А на  $\text{дм}^2$  в течение 1 часа

**Т 2**

Электрохимические эквиваленты и выход по току при плотности тока 2 А/дм<sup>2</sup>

МЕТАЛЛ	ЭЛЕКТРОЛИТ	ЭЛЕКТРО-ХИМИЧЕСКИЙ ЭКВИВАЛЕНТ, E <sub>e</sub>	ВЫХОД ПО ТОКУ, %
Никель	Кислый	1,95	95
Медь	Кислый, серноокислый	1,186	100
Золото	Цианистый	7,357	65
Золото	Железо-синеродистый	2,452	99
Олово	Станатный		80
Олово	Сульфатный		95
Серебро	Роданисто-синеродистый		98

<sup>2</sup> Ю. Перелыгин, «Зависимость катодного выхода по току металла при электролизе». Альманах современной науки и образования, № 6 (73) 2013.

(60 мин). Однако при электролизе во многих случаях вещества выделяется меньше, чем должно получиться согласно законам Фарадея. Это объясняется тем, что наряду с основными электродными процессами окисления или восстановления при техническом электролизе практически всегда протекают побочные или параллельные реакции – вместе с металлом на катоде осаждаются и водород, как результат гидролиза воды. Это явление у химиков называется «выход по току», который никогда не бывает ровно 100 %. Кроме плотности тока, а лучше сказать – напряжения на электродах, выход по току зависит от электрохимического потенциала осаждаемого металла и состава электролита. В **Т 2** для примера показана эта зависимость.

Технологам известно, что чем меньше плотность тока, тем лучше рассеивающая способность. Но это соотношение не беспредельно, осаждение начинается при определенных значениях тока, которые обеспечивают определенные условия осаждения, связанные с электрохимическим потенциалом осаждаемого металла. Уменьшение плотности тока требуется для улучшения рассеивающей способности электролита и предотвращения подгара меди. В технологиях печатных плат с глубокими отверстиями практикой установилась плотность тока 2 А/дм<sup>2</sup>.

### Общие вопросы медного гальванопокрытия для печатных плат

Медь – это наиболее широко используемый материал в структуре печатных плат. Обладает высокой электропроводностью, прочностью и пластичностью при низкой стоимости, легко осаждается из простых растворов и лег-

ко поддается травлению. Стандарты устанавливают, что гальванически осажденная медь должна иметь чистоту не менее 99,5 %, толщину 25 мкм и пластичность 8 %. По мере загрязнения электролита в работе пластичность неизбежно падает, но для металлизации глубоких отверстий она не должна быть меньше 6 %<sup>2</sup>. Требования по обеспечению хорошей пайки также указывают на необходимость толщины слоя меди 25 мкм и гладких стенок отверстий.

Процесс гальванической металлизации обычно рассматривается как этап, определяющий производительность процесса изготовления печатных плат. Гальваническое покрытие медью быстро стало ограничивающим фактором в обеспечении объемов производства. Металлизация глубоких отверстий при высоком характеристическом отношении, воспроизведение проводников и зазоров шириной в 75 мкм, формирование микропереходов лазером, а также переходы на внутренних слоях вынуждают технологов искать новые подходы к традиционным методам металлизации.

Кроме толщины также необходимо контролировать физические свойства осажденной меди, особенно прочность на растяжение и удлинение, чтобы платы могли выдерживать без разрушения нагревы, которые используются во время монтажа электронных сборок и в дальнейшем в процессе эксплуатации. Успешная система меднения должна обеспечить осаждение меди с прочностью на растяжение в диапазоне от 220 до 270 МПа и относительное удлинение в диапазоне от 10 до 25 %.

**Перемешивание электролита.** Перемешивание раствора является неотъемлемой частью успешной металлизации отверстий. Перемешивание покачиванием – наиболее распространенный метод обмена раствора в прикатодном пространстве и в отверстиях. Однако большое содержание в электролите серной кислоты делает его вязким, что не способствует продавливанию электролита в тонкие отверстия. Поэтому дополнительно используются высокопроизводительные циркуляционные эжекторные системы, которые интенсивно перемешивают электролит и побуждают обмен электролита во внутренней части отверстий.

**Разнообразие составов электролитов.** По мере увеличения плотности межсоединений в конструкциях многослойных печатных плат используются глухие (не сквозные) металлизированные отверстия в качестве переходов со слоя на слой. Составы электролитов ванн для заполнения переходов обычно содержат высокую концентрацию меди (до 50 г/л металла) и низкую кислоты (примерно 100 г/л). Эти процессы чаще используют отдельно только для заполнения микропереходов. Для этой разновидности процесса характерно преимущественное осаждение меди в отверстия относительно меди, осаждаемой на поверхность. Такое разнообразие электролитов усложняет производство, делает его плохо управляемым. Патентованные

составы электролитов с добавками сегодня являются непременным условием для заполнения отверстий различного диаметра и глубины. Типичные системы содержат специальные базовые электролиты с выравнивающими и блескообразующими добавками. Процессы способны одновременно металлизировать сквозные отверстия и заполнять переходы, хотя слишком большое характеристическое отношение ограничивает эти возможности<sup>3</sup>.

### **Панельная металлизация в сравнении с металлизацией по рисунку схемы**

Панельная металлизация (тентинг-процесс) не предполагает формирование рисунка, поэтому имеет однородную геометрию поверхности; при хорошо отработанном процессе металлизации можно достигать менее чем 10 % вариации толщины в пределах поверхности заготовки и от одной заготовки к другой. Проблема в том, что нужно добиться хорошей рассеивающей способности и избежать чрезмерной толщины меди на поверхности при покрытии стенок отверстия толщиной в 25 мкм. Чрезмерная металлизация поверхности ограничивает воспроизведение тонких линий и зазоров при последующем травлении рисунка.

Металлизация по рисунку (комбинированный позитивный метод), как ясно из названия, происходит после переноса рисунка и, соответственно, является реальной проблемой для равномерности процесса металлизации. В этом случае геометрия проводящей поверхности не однородна и может иметь выпад в виде одиночных трасс и контактных площадок с одной стороны, а также сплошных областей цепей питания с другой. Это создает большую диспропорцию в первичном распределении тока, что может привести к разнородности в два и даже в четыре раза толщины медного покрытия на изолированных участках по сравнению с областями цепей питания.

Труднопреодолимая проблема при гальванизации печатных плат из кислых электролитов связана с распределением толщины покрытия на поверхности заготовки (либо в тентинг-процессе, либо при металлизации по рисунку) и распределением толщины покрытия стенок отверстий или переходов, которая сводится к низкой рассеивающей способности этого метода. Если рассеивающая способность электролита составляет 100 %, тогда металлизация стенок отверстия слоем толщиной в 25 мкм приведет к формированию дополнительного слоя в 25 мкм на поверхности. Рассеивающая способность в 50 % при достижении покрытия стенок слоем в 25 мкм приведет к 50 мкм на поверхности, что ограничит способности травления рисунка при тентинг-процессе и увеличит вариацию толщины покрытия при металлизации по рисунку схемы.

Применение микропереходов, отверстий маленького диаметра и узких линий усложняет процесс металлизации.

<sup>2</sup> С. Шкундина. «Производство печатных плат. Очистка электролитов меднения от органических загрязнений». ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ: ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ. № 5, 2010.

<sup>3</sup> А. Медведев. «Металлизация глубоких отверстий». Технологии в электронной промышленности. № 4, 2013





1 Осаждение меди из кислого электролита: кривая поляризации катода



2 Осаждение меди из кислого электролита: метод получения поляризационной кривой – трехэлектродная ячейка

Добавки, используемые для получения блестящего слоя покрытия меди из кислого электролита, делятся на три категории:

- кристаллообразователь;
- пленкообразователь;
- выравнивающая добавка.

Каждый компонент имеет определенную роль в регулировании качества осадка. Кривые поляризации, показывающие результирующий ток при увеличении напряжения, используют для изучения влияния различных компонентов на систему металлизации и их воздействия на осаждение металла.

Рис 1 показывает кривую поляризации, на которой ток представлен в зависимости от напряжения. Эти данные можно получить от регулятора напряжения, показанного на рис 2. В данном случае используются три электрода в растворе электролита. Первый является противозлектродом и обычно изготавливается из меди или платины; второй является рабочим электродом и представляет собой вращающийся платиновый диск; а третий электрод – контрольный (как, например, электрод из хлорида ртути с двойным переходом). Напряжение прикладывается между рабочим и контрольным электродами, а результирующий ток измеряют между рабочим электродом и противозлектродом. Это служит основой для циклической вольтамперометрии. Оборудование для нее обычно используют для анализа действия добавок.

При рассмотрении поляризационной кривой можно выделить четыре отдельные области:

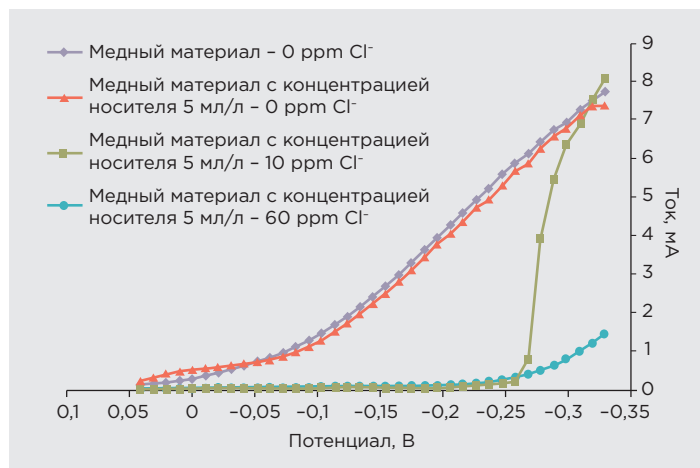
- **Область низкого тока.** Наблюдается незначительное увеличение тока при возрастании напряжения.
- **Область осаждения металла.** Наблюдается существенное увеличение тока при приложенном напряжении.

- **Область стабилизации плотности тока.** Горизонтальный участок кривой, на котором нет роста тока при продолжении роста приложенного напряжения.
- **Область кривой «выделения водорода».**

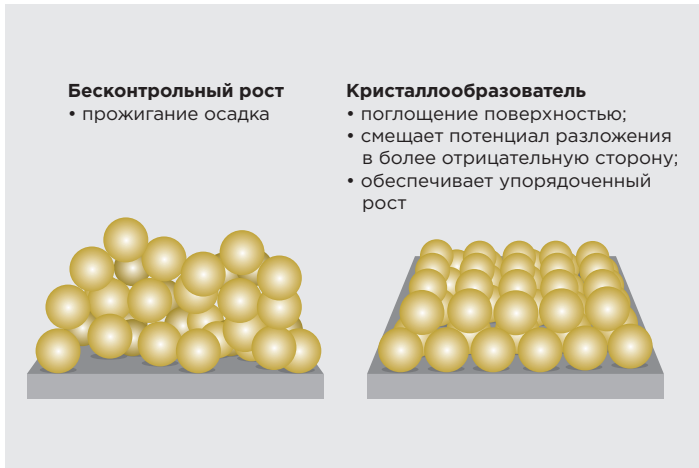
Область наибольшего интереса – область осаждения металла. Наклон этой части кривой поляризации может быть изменен (подавлен или ускорен) за счет органических и неорганических добавок в электролит.

### Добавки-кристаллообразователи

Кристаллообразователи представляют собой составы из молекул полиоксикаллов с большим молекулярным весом. На рис 3 показан результат их действия на кривую поляризации. Добавление только одного кристаллообразователя не меняет кривую поляризации; но когда это происходит в сочетании с 10 ppm ионов хлора, то в начале наблюдается заметное торможение процесса



3 Влияние концентрации ионов хлора на поляризационную характеристику электролита меднения с добавкой-кристаллообразователем (носителя)



4  
Осаждение меди из кислого электролита: кривая поляризации катода

осаждения, которое пропадает при дальнейшем повышении напряжения. При 60 ppm ионов хлора давление затягивается; в результате для получения требуемой силы тока нужно приложить большее напряжение.

Подавление является результатом действия кристаллообразователя на диффузионный слой (который также называют двойным слоем Гельмгольца). Добавка сорбируется поверхностью катода, что ведет к увеличению толщины диффузионного слоя, соответственно улучшается кристаллическая структура.

Это приводит к осаждению металла с более компактной структурой зерна (рис 4). Измененный добавкой диффузионный слой также улучшает распределение толщины металлизации и рассеивающую способность, не прожигая при этом осадок.

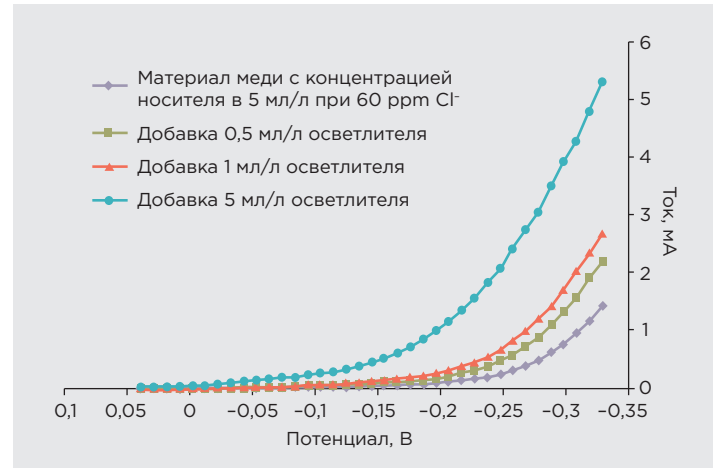
#### Добавки-блескообразователи

Для блескообразования обычно применяют составы из молекул дисульфида с низким молекулярным весом, имеющих общую структуру R-S-S-R. Группы R являются органическими молекулярными группами и меняются от одной системы блескообразователя к другой. На рис 5 показано влияние блескообразователя на кривую подавленного роста поляризации. В основном блескообразующие добавки увеличивают силу тока и уменьшают подавление роста поляризации.

Блескообразователь играет ключевую роль в определении физических свойств осажденного металла. Он является очистителем зерен и в этом качестве напрямую воздействует на физические свойства осажденного металла, такие как прочность на растяжение и удельное удлинение.

#### Выравнивающие добавки

Выравнивающие добавки используют для уменьшения градиента тока высокой плотности, который неизбежен на высоких точках или острых краях металли-



5  
Влияние концентрации блескообразователя (осветлителя) в электролите меднения на кривую поляризации

зируемой поверхности. Примером может служить эффект «собачьей кости», наблюдаемый на микрошлифах отверстий.

Выравнивающие добавки относятся к классу составов, обычно ароматических, которые поглощаются на высоких точках текстуры осажденного слоя благодаря увеличенному массопереносу на эти места. Поглощение выравнивающих добавок в этих областях создает локализованное подавление осаждения, позволяя металлизации в областях с низкой плотностью тока приподняться над уровнем с высокой плотностью, тем самым производя эффект выравнивания.

#### Металлизация током низкой плотности

Один из простых способов получения хорошего распределения состоит в использовании системы меднения из кислых электролитов с низкой плотностью тока, которая предназначена специально для изготовления осажденного слоя металла с требуемыми физическими свойствами. Некоторые производства в настоящее время металлизуют платы при плотности тока 0,6–0,8 А/дм<sup>2</sup> за период времени от 4 до 6 часов. Это обеспечивает хорошее распределение металлизации.

Электролиты для металлизации током низкой плотности отличаются пониженной концентрацией меди и повышенной концентрацией серной кислоты (ТЗ). Комплект добавок-кристаллообразователей и блескообразователей специально подбирается для работы при низкой плотности тока.

Этот способ значительно уменьшает производительность технологической линии металлизации и увеличивает затраты на каждую заготовку. Но по мере роста доли плат с тонкими глубокими отверстиями потребность в этом варианте металлизации становится очевидной.

ТЗ

Особенности процессов металлизации с различными плотностями тока

РАБОЧИЕ ПАРАМЕТРЫ МЕТАЛЛИЗАЦИИ	МЕТАЛЛИЗАЦИЯ ТОКОМ НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ	МЕТАЛЛИЗАЦИЯ С ТРАДИЦИОННЫМИ ПЛОТНОСТЯМИ ТОКА	ВЫСОКОСКОРОСТНАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ
Медь	7,5–15 г/л	15–20 г/л	50–60 г/л
Сульфат меди	30–60 г/л	60–90 г/л	200–250 г/л
Серная кислота	180–240 г/л	160–210 г/л	40–60 г/л
Хлорид	40–80 ppm	40–80 ppm	40–80 ppm
Добавки	При необходимости	При необходимости	При необходимости
Температура	24–30 °С	20–30 °С	24–37 °С
Катодная CD	0,5–1,5 А/дм <sup>2</sup>	2,0–4,0 А/дм <sup>2</sup>	4,0–15,0 А/дм <sup>2</sup>
Аноды:			
Тип	Пластины или корзины		
Состав	Раскисленная фосфором медь 0,04–0,06 % Р		
Мешки	Пропилен		
Крючки	Титан		
Длина	На 50 мм заглублены в электролит		
Анодная плотность тока	25–50 % катодной		
Свойства медного осадка:			
Состав	99,8 % (99,5 % минимально)		
Удлинение	10–25 % (6 % минимально)		
Прочность на растяжение	270–340 МПа		

### Импульсная металлизация (нестационарный процесс)<sup>4</sup>

В этой системе металлизации используется периодически изменяющееся направление тока с прямого на противоположное. Выпрямитель создает импульс с прямым катодным током, который перемежается короткими анодными импульсами. Например, прямой ток (3,0 А/дм<sup>2</sup>) поддерживается в течение 10 мс, а затем

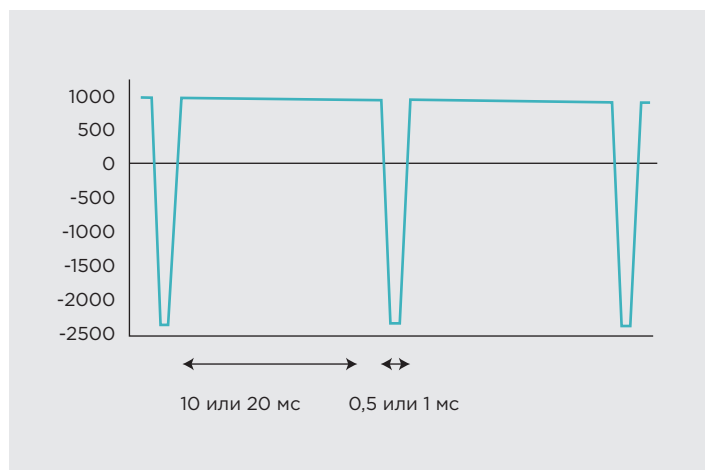
изменяется на противоположный (9,0 А/дм<sup>2</sup>) на время 0,5 мс; рабочий цикл может меняться (20 мс в прямом и 1,0 мс в обратном направлении).

Остается еще возможность оптимизации отношения времени протекания прямого тока ко времени протекания обратного тока; 1:3 является лишь одним из примеров. Также большое значение имеет форма волны. Квадратная волна с минимальным временем нарастания импульса обеспечивает наилучшие результаты (рис 6).

Поставщики химических реагентов разработали специальные комплекты добавок, которые обеспечивают

<sup>4</sup> А. Медведев, П. Семенов. «Импульсная металлизация печатных плат». Технологии в электронной промышленности. №3, 2005





6

Эпюра импульсного тока питания гальванической ванны

максимальный отклик на импульсное питание ванны. Во время обратного цикла добавка необходимым образом сорбируется на области с высокой плотностью тока. Это приводит к меньшей скорости металлизации на местах сосредоточения выравнивающей добавки. Поскольку области с низкой плотностью прямого тока будут получать соответственно более низкий импульс обратного тока, то скорость осаждения здесь снижается в меньшей степени, чем в областях с высокой плотностью тока. Это приводит к значительному улучшению распределения толщины металлизации.

Зачастую различие толщины осажденного слоя металла изолированных поверхностей и слоев питания может превышать 13 мкм. Этот эффект настолько мощный, что обычным стала рассеивающая способность, превышающая 100 %.

Реверсивная импульсная металлизация обеспечивает впечатляющее улучшение в распределении толщины осаждаемого слоя меди далеко за пределами возможностей, обуславливаемых действием выравнивающих добавок. Несомненно, это шаг в будущее, поскольку платы с высокой плотностью межсоединений становятся все более сложными. Однако эта технология предполагает капиталовложения для импульсного выпрямителя, который может стоить дороже в пять-шесть раз, чем эквивалентный ему выпрямитель постоянного тока. Она также требует инженерно-технического опыта для согласования новых параметров (отношения прямого и обратного тока, рабочего цикла, плотности тока, а также формы импульса), чтобы соответствовать ожидаемым техническим требованиям к металлизации сложных плат.

### Ключевые факторы, определяющие равномерность металлизации

Чтобы получать пластичные, прочные слои меди равномерной толщины необходимо управлять процессом:

- Обеспечивать функционирование оборудования, используя в ваннах равномерный барботаж или

(лучше) эжекторные системы, равное расстояние между анодом и катодом, соединение с выпрямителем на обоих концах штанг и как можно более низкое контактное сопротивление между источником тока и катодами.

- Поддерживать в узком интервале концентрацию всех химических составляющих, включая органические минеральные добавки.
- Поддерживать температуру в диапазоне 21–30 °С.
- Поддерживать чистоту электролита: удалять загрязнения из раствора от предварительных очистителей, травильного раствора и неочищенных химических реактивов.

Осаждение меди низкого качества может быть вызвано следующим:

- Недостаточными или избыточными добавками.
- Содержанием хлора за допустимыми пределами (т.е. слишком высокое или слишком низкое).
- Органическое, металлическое или серное (тиомочевинное) загрязнение.
- Чрезмерные пульсации выпрямителя прямого тока (более 10 %).
- Низкое содержание меди из-за несбалансированности состава ванны.
- Шероховатость при сверлении, образование полостей или другие проблемы, которые были внесены на более ранних этапах обработки.

Распределение толщины слоя металлизации для используемого процесса металлизации и электролита можно оценить следующим образом.

Используется нефольгированный или оголенный стеклоэпоксидный диэлектрик. Прежде всего, на него наносят тонкий слой химмеди. Затем заготовка погружается в испытываемую гальваническую ванну и металлизирована при исследуемом режиме слоем 0,2–0,3 мкм (обычно в течение 1/100 продолжительности всего цикла металлизации). Заготовки помещают в травильный раствор, пока 60–80 % меди не будет вытравлено. Дальше необходимо извлечь и проверить. Медь будет оставаться там, где имеет место ток высокой плотности. Это полезный способ оптимизации геометрии ванны, особенно месторасположения анода и заготовки (катода) на подвеске. Такой способ также полезен в проектировании рамок и экранирования для наилучшего распределения толщины осаждения.

Распределение толщины осажденной меди для определенного рисунка схемы может быть изучено аналогичным способом. После нанесения химической меди формируется рисунок из фоторезиста. Металл осаждается в течение ограниченного времени до получения толщины 0,2–0,3 мкм. Резист снимается с заготовки, а заготовка помещается в травильный раствор, пока 80 % всей меди не будет удалено. Медь будет оставаться в местах тока высокой плотности.

## Кислые сернокислые электролиты меди и параметры управления

Чаще всего в технологических процессах изготовления печатных плат используют растворы сульфата меди в серной кислоте, содержащих дополнительно ионы хлора и органические добавки.

### Составление раствора по плотности тока

Использование правильных добавок позволяет получить мелкозернистый слой меди с пределом прочности на разрыв в 340 МПа, минимальной пластичностью в 10 % и отношением толщины слоя на поверхности к толщине слоя на стенках отверстий, равным 1,2 (Т 2).

### Эксплуатация и контроль

- **Перемешивание.** Воздух, поступающий из магистральной линии, не должен содержать масла и должен иметь температуру 20–25 °С. Или (предпочтительно) для перемешивания применяются эжекторы.
- **Фильтрация.** Осуществляется в непрерывном режиме через фильтр с ячейкой 3–10 мкм с контролем прозрачности раствора и однородности осадка.
- **Обработка активированным углем.** Новые ванны из гарантированно чистых реагентов не требуют очистки активированным углем. Циркуляция через фильтр с угольной набивкой рекомендуется для удаления органических загрязнений. На необходимость глобальной обработки активированным углем всей ванны указывают растрескивание в углах после пайки оплавлением; тусклые, розоватые осадки, а также дымка, гало или набросы вокруг отверстия. Обработку активированным углем следует проводить через каждые 300 А·ч в расчете на один литр электролита.

Процедура обработки активированным углем:

- › откачать электролит в бак для хранения;
- › очистить поверхности и дно гальванической ванны от наслоений и осадка;
- › промыть и очистить ванну;
- › промыть 10 % раствором  $H_2SO_4$ ;
- › отрегулировать мешалки;
- › очистить аноды;
- › нагреть электролит до 50 °С;
- › приготовить 0,5–1 литра перекиси водорода (35 %) на 100 литров раствора, добавить в электролит;
- › перемешать с помощью воздуха или просто перемешивать в течение 1 часа;
- › поддерживать температуру 50–60 °С;
- › добавить 0,5 или 1 кг порошкового или гранулированного угля на 100 литров раствора, перемешивать 1–2 часа;

- › профильтровать и закачать очищенный электролит в рабочую ванну сразу или постепенно в течение 4 часов;
- › проанализировать и отрегулировать состав электролита;
- › выполнить фиктивную металлизацию при 1,0 А/дм<sup>2</sup> в течение 6 часов. Заготовки должны получиться матовыми и тусклыми. Добавить в электролит добавки;
- › следовать инструкциям поставщика компонентов электролита и начать рабочий процесс.
- **Загрязнители.** В общем случае медный реактив и кислоты допускают наличие в них органических и минеральных загрязнений. Органические остатки могут появиться от чистящих материалов, резиста и определенных серных составов. Содержание металлов не должно превышать следующих значений: хрома – 25 ppm; олова – 300 ppm; сурьмы – 25 ppm. Никель, свинец и мышьяк также могут вызвать шероховатость и другие проблемы.

### Средства управления технологическим процессом

#### Состав раствора ванны

- Сульфат меди является источником металла. Низкое содержание меди ведет к прожиганию осадка; высокое – к образованию шероховатости и снижению отношения толщины осаждаемого слоя меди на стенках отверстия к толщине слоя на поверхности платы или рассеивающей способности.
- Серная кислота увеличивает проводимость раствора, позволяя применять более высокую силу тока при низких напряжениях.
- Однако избыток серной кислоты снижает скорость металлизации, тогда как низкое содержание кислоты уменьшает отношение толщины покрытия стенок отверстия к толщине покрытия поверхности платы (рассеивающей способности).
- Содержание ионов хлора (Cl<sup>-</sup>) следует поддерживать на уровне 60–80 ppm. Ниже 30 ppm осаждаемый слой будет тусклым, бороздчатым, грубым и ступенчатым. Свыше 120 ppm осаждаемый слой будет крупнозернистым и тусклым. Аноды окажутся поляризованными, что приведет к прекращению металлизации. Излишки хлора уменьшаются разбавлением раствора в ванне<sup>5</sup>.
- Для обеспечения устойчивого качества плат очень важен анализ дополнительных компонентов и контроль их содержания. Первичным средством анализа является поляризационная кривая, а ячейка Хулла (ячейка Хулла предназначена для исследова-

<sup>5</sup> С. Шкундина. «Определение ионов хлора в сернокислых электролитах меди». Технологии в электронной промышленности. № 5. 2008

дования и экспресс-тестирования электролитов для нанесения гальванических покрытий) остается полезным вспомогательным инструментом. Избыток или недостаток добавок может вызвать прожигание осаждаемого металла и растрескивание металлизации на углах отверстий. Это можно оценить путем металлографического поперечного среза (шлифа) и его подтравливания для выявления кристаллической структуры и тонких разрывов. Осажденный металл оптимального качества имеет мелкозернистую и изотропную структуру (ненаправленную), а также не проявляет слоистых или столбчатых структур<sup>6</sup>.

- Использование деионизованной воды и не содержащих загрязнений реагентов с низким содержанием хлора и железа обеспечит возможность дополнительного улучшения качества металлизации.

**Температура.** Оптимальная рассеивающая способность достигается при комнатной температуре (т. е. при 20–25 °С). Более низкая температура вызывает хрупкость, прожигание и тонкий слой осаждаемого металла; более высокая – дымчатость в областях с низкой плотностью тока и уменьшение рассеивающей способности. Жарким летом или при тяжелых нагрузках может понадобиться охлаждающий змеевик.

**Скорость осаждения.** Слой меди толщиной 25 мкм осаждается за 54 мин при 2,0 А/дм<sup>2</sup> и за 21 мин при 5,0 А/дм<sup>2</sup>.

## Основные методы контроля

**Микрошлифы.** Изготовление микрошлифов дает хорошую информацию о состоянии меди, которая демонстрирует качество металлизации сквозных отверстий в терминах технологических факторов. Помимо представления об общем качестве, поперечные срезы говорят о толщине и возможных проблемах, возникающих при сверлении, растрескивании, каверны и размазывании по стенкам отверстий материала связующего. Осаждение меди с колончатой или пластинчатой структурой указывает на низкое качество медного слоя. Поперечные сечения оптимального осаждения меди демонстрируют мелкозернистую структуру и изотропность (ненаправленную) кристаллической структуры, выявляемую при подтравливании шлифа.

**Ячейка Хулла.** Работа при 2 А выявит наличие органических загрязнений, загрязнения хлором и общее состояние ванны. Однако оптимальным образом металлизированная панель в ячейке Хулла дает лишь слабое отражение того, в каком именно эксплуатационном состоянии находится ванна, поскольку результа-

ты испытаний не всегда связаны с производственными проблемами.

**Разрывы металлизации и пластичность.** Стойкость к разрывам проверяется следующим образом:

- **Расплав припоя.** Пайка волной припоя и последующий металлографический анализ являются очень информативными приемами оценки пластичности осадений.
- **Удлинение.** Медная фольга толщиной 50 мкм должна обладать способностью к удлинению более чем на 10 %. Медь, получаемая из кислых электролитов, должна обладать способностью к удлинению на 10–25 %. Периодический контроль позволяет поддерживать процесс на должном уровне.
- **Испытание на плаву в расплавленном припое.** Это испытание включает в себя предварительную термообработку и флюс, 5–20 с плавления на поверхности расплавленного припоя (Sn:Pb=60:40) при температуре 270 °С, после чего делают металлографический анализ.
- **Испытание медной реплики на разрыв.** Измеряется предел прочности на растяжение с помощью продавливания медной реплики под действием высокого давления.
- **Пульсация постоянного тока.** Высокие значения пульсаций выпрямителя (8–12 %) могут привести к осаждению меди низкого качества и плохому распределению толщины поверхностного покрытия.

**Внешний вид.** При электролизе медь имеет полуматовый вид при всех плотностях тока. Неровность поверхности, дымчатость или тусклый осажденный слой, растрескивание, гало вокруг отверстий и области с низкой плотностью тока указывают на наличие органического загрязнения. Если это продолжительно, то следует провести обработку активированным углем. Прожженные, тусклые осажденные слои при токах высокой плотности указывают на низкое содержание добавок, загрязнение, несбалансированность раствора или низкую температуру ванны. Если при высоких плотностях тока получают тусклые, крупнозернистые осадки меди, то это указывает на несбалансированность ионов хлора.

Когда содержание хлора высокое или слишком низкая температура ванны, это может привести к чрезмерному окислению анодов и их поляризации (снижению тока). Уменьшенная рассеивающая способность (отношение толщины покрытия стенок отверстий к толщине покрытия поверхности платы), уменьшенная проводимость ванны или металлизация низкого качества также могут указывать на наличие загрязнения. Это можно устранить следующими способами:

- поддержание баланса раствора и содержания хлора в диапазоне 60–80 ppm;

<sup>6</sup> Печатные платы: Справочник. В 2-х книгах под редакцией К.Ф. Кумбза. Перевод под ред. д.т.н. Медведева А.М. М.: Техносфера, 2011. 2036 с



Т 4

Дефекты плакирования медью печатных плат

ДЕФЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ СЛОЯ МЕДИ	ПРИЧИНА
Растрескивание углов	Избыток добавок, органическое загрязнение раствора
Глобулы	Наличие в растворе взвешенных частиц, образовавшихся при сверлении и удалении заусенцев
Распределение толщины	См. «Распределение толщины покрытия»
Тусклость	Разбалансированность раствора, органические загрязнения
Неодинаковая толщина металлизации	Загрязнение органической серой (тиомочевинной)
Образование раковин	Неправильная добавка, неправильный электролиз или предварительная обработка
Столбчатый осадок	Низкое содержание добавки, неисправность выпрямителя
Ступенчатая металлизация, усики	Избыток добавки или некачественная добавка
Дефект, общий процесс производства	Причина
Полости при травлении	Неисправности на этапах электролиза меди, а также предварительной очистки
Размазывание смолы на стенках отверстий	Возникают при сверлении и из-за неудачного удаления размазанности
Шероховатость	Возникает при сверлении или при удалении остатков смолы от сверления
Отслоение от стенки отверстия	Неудачное удаление размазанности или нарушение на одном из этапов электролиза меди
Отслоение меди от меди	Остатки на поверхности от электролиза и/или переносе рисунка
Каверны при пайке	Шероховатость при сверлении, полости и тонкая металлизация

- непрерывное пропускание раствора через фильтр, периодическое пропускание через картридж с активированным углем или дозированная обработка активированным углем;
- анализ органических добавок с помощью поляризационной кривой или ячейки Хулла;
- проверка загрязнения металлом раз в три месяца;
- поддержание температуры в диапазоне 20–25 °С;
- ежедневная проверка анодов и замена мешков и фильтров (промывка горячей водой) раз в три-четыре недели.

**Проблемы.** В Т 4 представлены проблемы, которые появляются после электролитического осаждения меди. Перечислены две группы, при этом первая группа легко коррелирует с процессом меднения. Тонкий, грубый слой меди в сквозных отверстиях также может быть представлен дегазацией и кавернами во время пайки волной припоя.

### Лабораторное управление процессом

К лабораторным исследованиям, применяемым для управления гальваническими покрытиями, относятся традиционный химический анализ, современные инструментальные методы, металлографические шлифы и ячейка Хулла.

#### Традиционный химический анализ

Традиционные методы химического анализа металлических и неметаллических составляющих гальванических растворов можно получить у поставщиков и найти в литературе. Эти методы применяют рН-метры, ионные электроды, спектрофотометры и флуоресцентный рентгеновский анализ.

#### Современные инструментальные методы

Для контроля органических добавок при гальваническом покрытии медью были разработаны новые методы анализа. Продолжаются разработки в области измерений таких добавок в растворах никеля, золота и олова. Среди применяемых методов – жидкая хроматография, спектрофотометрия, ионная хроматография, персульфатное окисление и полярография. С помощью этих методов можно обнаружить загрязнение в различных технологических процессах, они также указывают на необходимость проведения обработки активированным углем. В Т 5 перечислены методики, которые оказывают большое влияние на возможности выполнения гальванического покрытия.

#### Металлографический анализ

Метод исследования поперечных сечений печатных плат выполняется с помощью следующих этапов:

- **Вырезание купона.** Удалите поддающиеся обработке части платы или сборки путем вырезания или выпиливания (фрезерование).
- **Прецизионная резка купона.** Выполните медленное разрезание купона с помощью алмазной

Т 5

Современные технологии инструментального анализа

МЕТОД	СОСТАВ
Циклическая инверсионная вольтамперметрия	Органика и неорганика
Жидкостная хроматография в УФ/видимой областях	Органика и неорганика
Ионная хроматография	Ионные соединения
Поляррография	Органика и неорганика
Ионоизбирательный электрод	Ионы металлов, неметаллы
Флуоресцентный анализ	Металлы, неметаллы
УФ-окисление	Общее содержание углеводов

пилы вертикальных сечений размером примерно 25–30 мм по линии отверстий.

- **Монтаж.** Установите вырезанный образец вертикально в специальную форму и залейте твердеющим составом (эпоксидной смолой или акрилатом).
- **Тонкое шлифование.** Выполните ручное шлифование с применением последовательно 240, 320, 400 и 600 зернистости наждачной бумаги на основе карбида кремния.
- **Промывка.** Промывайте образец между шлифованиями.
- **Полировка.** Выполните алмазную полировку (6 мкм) на нейлоновой ткани и алюминиевую полировку (0,3 мкм) на ворсистой ткани на вращающемся диске. Для полировки образца поместите его на вращающийся диск полировального станка и медленно перемещайте по диску. Полировка выполняется в течение 4 мин при использовании 6 мкм алмазной крошки на нейлоне и 1 мин с 0,3 мкм алюминиевой пастой на ворсистой ткани. Между двумя полировочными составами следует очищать и высушивать.
- **Травление.** Наложите ватные аппликаторы, смоченные в растворе из равных частей нашатырного спирта и 3 % перекиси водорода, на 2–5 с. Промойте в воде и тщательно высушите.
- **Документирование.** Осмотрите и сфотографируйте образец с помощью микроскопа при увеличении 30–1500×.

### Ячейка Хулла

Хотя современные методики, описанные ранее, обеспечивают прецизионный контроль электролитов, ячейка Хулла все еще широко применяется в производстве. Ее преимущества – это низкая стоимость, простота использования и фактическая корреляция с гальваническим покрытием. Основным недостатком является то, что дефекты гальванического покрытия медью часто не выявляются этим методом. Например, испытание ячейкой Хулла не поможет обнаружить тусклое покрытие, шероховатость или образование ямок. Тестирование начинается с подготовки латунной панели в следующем порядке: снимите полимерную пленку; обработайте щелочным очистителем катодов; окуните в 10 % серную кислоту; промойте.

Повторите эти шаги, пока панель не будет содержать капель воды. Продолжите с ячейкой Хулла следующим образом: промойте испытуемым раствором; заполните до отметки; отрегулируйте температуру и перемешивание; прикрепите панель к отрицательному выводу; выполните металлизацию.

Перемешивание должно быть аналогичным используемому в ванне, т.е. энергичное барботирование. Металлизировать медью необходимо при токе 2 А. Результаты настройки ванны, обработки активированным углем, тусклый гальванический слой и т.д. легко переносятся из ячейки Хулла на фактическую работу ванны. □

**Процесс электрохимической металлизации сопряжен с большим количеством факторов, влияющих на конечный результат. Поэтому управление этим процессом связано с преодолением различных трудностей, связанных с очень тесной взаимосвязанностью факторов управления, требующей большого объема исследований. Чтобы разработать и освоить управление для цифровизации электрохимических процессов, нужно провести большой объем экспериментальных работ, прежде чем начнет что-то получаться. Это связано с большими трудозатратами в начале работы, так как электрохимическая металлизация – процесс очень сложный, требующий большого опыта для успешной работы.**

# Начните работать в новом качестве

Стандарты международной ассоциации производителей электроники (IPC) — наиболее авторитетные нормативные документы, принятые в отрасли, которые позволяют совершенствовать технологические процессы в мировом масштабе.

Тренинги, проводимые Группой компаний Остек, — наиболее эффективный и доступный способ научиться применять на практике самые востребованные стандарты IPC:

- **IPC-A-610** «Критерии качества электронных сборок»
- **IPC-7711/7721** «Восстановление, модернизация и ремонт печатных плат и электронных сборок»

#### Тренинги IPC от Остека это:

- Более 50 обученных специалистов за год
- Современное оборудование и материалы для практических занятий
- Лучшие мировые практики
- Более 60 видов технологических материалов, радиоэлементов и аксессуаров для ручного монтажа и доработки печатных узлов
- Специально оборудованный класс

#### Тренинги IPC от Остека позволят вам:

- Снизить производственные затраты
- Обеспечить управляемое качество и надежность конечного изделия
- Повысить имидж и конкурентоспособность
- Реализовать практическое применение стандартов IPC в отечественном производстве для всех классов изделий
- Повысить эффективность взаимодействия с поставщиками и сотрудниками



# Нам по силам ВАШИ ВОЗМОЖНОСТИ ●●●



## Решения любого масштаба

Каждое предприятие имеет свои приоритетные цели, технологические задачи и уровень возможностей.

Опираясь на многолетний практический опыт и высокую квалификацию команды, мы тщательно прорабатываем каждую задачу и предлагаем действительно работающие решения под финансовые возможности и индивидуальные потребности производств.

Честно, открыто, профессионально.

[ostec-group.ru](http://ostec-group.ru) | [info@ostec-group.ru](mailto:info@ostec-group.ru) | +7 (495) 788-44-44