

02 (60) сентябрь 2024

ВЕКТОР

ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Научно-практический журнал

ТЕХНОЛОГИИ

Дмитрий Суханов

10

ВЫСОКОТОЧНОЕ УТОНЕНИЕ ПЛАСТИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕКЛЯННОГО НОСИТЕЛЯ СО СВЕРХНИЗКИМ ТТВ И ТЕХНОЛОГИИ ВРЕМЕННОГО МОНТАЖА

КАЧЕСТВО

Денис Поцелуев

42

КАК ВАШ РН? КЛЮЧЕВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ ОТМЫВКИ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ НА РН-НЕЙТРАЛЬНОЙ ОСНОВЕ

ОТ ПЕРВОГО ЛИЦА

Юрий Ковалевский

76 СЕРИЙНОЕ СБРОЧНОЕ

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ С НУЛЯ



**HIGH END решения
для самых амбициозных задач**

Строим производства электроники мирового уровня



ostec-smart.ru



Уважаемые читатели!

Мы рады представить вам специальный выпуск нашего издания, приуроченный к 10-му юбилейному Российскому форуму «Микроэлектроника 2024».

Это мероприятие проводится ежегодно и давно стало важным событием для российской электроники, собирая на своих площадках экспертов для обсуждения актуальных вопросов и тенденций развития отрасли. Компания Остек выступает одним из партнёров Форума.

В специальном выпуске вы найдёте статьи, посвящённые различным аспектам электроники и микроэлектроники. Представители компании Остек,

в том числе и авторы журнала, являются спикерами деловой и научной программ мероприятия.

Мы уверены, что обсуждения на Форуме станут ярким продолжением тем, представленных в нашем спецвыпуске.

Желаем всем участникам Российского форума «Микроэлектроника 2024» продуктивной работы!

С уважением,
редакция журнала
«Вектор высоких технологий»



Телеграм
https://t.me/ostec_news



ВКонтакте
https://vk.com/ostec_group

В НОМЕРЕ



ОТ ПЕРВОГО ЛИЦА стр. 4

ОТ ПЕРВОГО ЛИЦА

НОВЫЙ УРОВЕНЬ ПРОИЗВОДСТВА – ЭТО НЕ ТОЛЬКО ЕГО РАСШИРЕНИЕ, НО И СУЩЕСТВЕННЫЙ РОСТ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ 4

ТЕХНОЛОГИИ

ВЫСОКОТОЧНОЕ УТОНЕНИЕ ПЛАСТИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕКЛЯННОГО НОСИТЕЛЯ СО СВЕРХНИЗКИМ TTV И ТЕХНОЛОГИИ ВРЕМЕННОГО МОНТАЖА 10

Автор: Дмитрий Суханов

ПРОБЛЕМЫ COS- И COWOS-КОРПУСИРОВАНИЯ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ FLIP-CHIP . . 16

Автор: Григорий Савушкин

ПОЛНОСТЬЮ САМОВЫРАВНИВАЮЩИЕСЯ ПЕРЕХОДНЫЕ ОТВЕРСТИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ЗОНАЛЬНО-СЕЛЕКТИВНОГО АТОМНО-СЛОЕВОГО ОСАЖДЕНИЯ 26

Автор: Алексей Симонов

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ОПЕРАЦИЯХ КОНТРОЛЯ МИКРО- И НАНОСТРУКТУР 34

Авторы: Давид Францышин, Екатерина Панфилова, Артем Ибрагимов, Маргарита Кошелева

КАЧЕСТВО

КАК ВАШ РН? КЛЮЧЕВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ ОТМЫВКИ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ НА РН-НЕЙТРАЛЬНОЙ ОСНОВЕ. 42

Автор: Денис Потелев

АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ 50

Автор: Александр Фролов

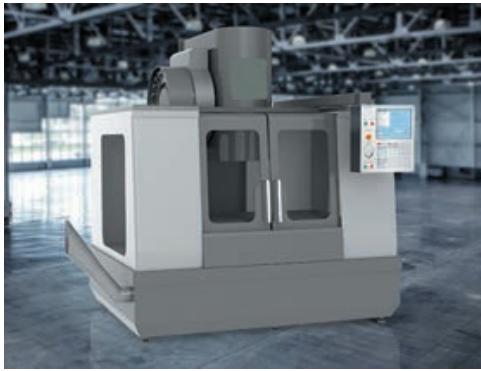
ГЛАВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОНДЕНСАТОРОВ И ИХ РЕШЕНИЕ 54

Автор: Арсений Ликий



КАЧЕСТВО стр. 42

АВТОРЫ НОМЕРА



АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОСТЕК-СМТ стр. 66



ОТ ПЕРВОГО ЛИЦА стр. 76

Юрий Ковалевский
Журнал «Электроника: НТБ»
journal@electronics.ru

Дмитрий Суханов
Заместитель технического директора
по продуктам для полупроводниковых
производств
ООО «Остек-ЭК»
micro@ostec-group.ru

Григорий Савушкин
Ведущий инженер Технического
управления
ООО «Остек-ЭК»
micro@ostec-group.ru

Алексей Симонов
Главный специалист
Техническое управление
ООО «Остек-ЭК»
micro@ostec-group.ru

Давид Францышин
Инженер по продажам
Техническое управление
ООО «Остек-ЭК»
micro@ostec-group.ru

Панфилова Екатерина, Ибрагимов Артем, Кошелева Маргарита
ФГБОУ высшего образования
«МГТУ имени Н.Э. Баумана (НИУ)»
panfilova.e.v@bmstu.ru

Денис Поцелуев
Директор по продажам и маркетингу
ООО «Остек-Интегра»
materials@ostec-group.ru

Александр Фролов
Директор направления научно-
исследовательского и лабораторного
оборудования
ООО «Остек-АртТул»
info@arttool.ru

Арсений Ликий
Руководитель сектора разработки
радиоэлектронных и программных
средств
ООО «Остек-Электро»
ostelectro@ostec-group.ru

Евгений Липкин
Генеральный директор
ООО «Остек-СМТ»
smt@ostec-group.ru

Сергей Морозов
Заместитель генерального директора
по реализации проектов
ООО «Остек-СМТ»
smt@ostec-group.ru

Александр Завалко
Технический директор
ООО «Остек-СМТ»
smt@ostec-group.ru

Александр Антонов
Ведущий инженер
ООО «Остек-СМТ»
smt@ostec-group.ru

Владимир Казанцев
Ведущий инженер
ООО «Остек-СМТ»
smt@ostec-group.ru

АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОСТЕК-СМТ

СОЗДАНИЕ ПРОИЗВОДСТВ МИРОВОГО УРОВНЯ В РОССИИ:
ПЕРВОЧЕРДНЫЕ ЗАДАЧИ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ 58

Автор: Евгений Липкин

СОЗДАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА КАК ПРОЕКТ. БАЗОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ . 62

Автор: Сергей Морозов

ИНДУСТРИЯ 4.0 НЕ ТОЛЬКО НА БУМАГЕ 66

Автор: Александр Завалко

ФИНАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СБОРКИ ПРОДУКЦИИ. 68

Автор: Александр Антонов

ГОРЯЧИЕ КОКТЕЙЛИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОНИКИ 70

Автор: Александр Завалко

РЕМОНТ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ С КРУПНОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗОЙ . . . 72

Автор: Владимир Казанцев

ПРОРАБОТКА РАЗДЕЛИТЕЛЕЙ ГРУППОВЫХ ЗАГОТОВОК 74

Автор: Владимир Казанцев

ОТ ПЕРВОГО ЛИЦА

СЕРИЙНОЕ СБОРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО
ЭЛЕКТРОНИКИ С НУЛЯ 76

ОТ ПЕРВОГО ЛИЦА

Новый уровень производства – это не только расширение, но и существенный рост качества продукции

Беседовал Юрий Ковалевский

”

Специализированное конструкторское бюро (СКБ) «Индукция» в этом году отмечает свое 20-летие. Это предприятие, расположенное в Челябинске, специализируется на разработке и производстве датчиков, применяемых также в средствах автоматизации производств. В прошлом году СКБ «Индукция» реализовало масштабный проект по модернизации своих производственных мощностей, инвестировав более 150 млн руб. в том числе в закупку и внедрение целого комплекса современного оборудования, включая линию поверхностного монтажа FLEX:SMT. Исполнительный директор компании Сергей Алексеевич Ульянов рассказал об истории предприятия, о том, какие цели ставились при приобретении нового оборудования, о первых результатах эксплуатации решения FLEX, а также о планах на 2024 год.

Сергей Алексеевич, когда была создана ваша компания и какие основные этапы ее развития можно выделить?

Наша компания была организована в 2004 году тремя энтузиастами, чтобы предложить рынку датчики положения, недостаток которых сложился в начале 2000-х. Таким образом, в этом году мы отмечаем 20-летие предприятия. Один из его создателей – Павел Александрович Соколов – ныне является владельцем и генеральным директором ООО СКБ «Индукция».

Поначалу стали собирать простейшие индуктивные датчики. Потребность в них на рынке была довольно высокой. В автоматике применялись подобные изделия иностранного производства, и первая продукция нашей компании была направлена на их замену. Затем постепенно стали расширять номенклатуру изделий, начали изготавливать емкостные, оптические датчики. Также расширялся и ассортимент индуктивных датчиков.

Впоследствии было приобретено цокольное помещение площадью 500 м², где разместилось производство компании. Спустя некоторое время была организована еще одна площадка – по механообработке, которая располагалась в отдельном доме в частном секторе и для которой были закуплены токарные станки.

Производство развивалось, оснащалось новым оборудованием, но всё же оно оставалось «наколеночным» по своей сути. Документация на изделия была минимальной, многие операции выполнялись вручную либо на очень простом оборудовании, технология была слабо формализована. Однако потребности рынка росли, а наш коллектив набирался опыта, приобретал новые компетенции, и очевидно, в определенный момент это должно было привести к качественному скачку.

Прорыв произошел в период с 2017 по 2019 год. Предприятие приобрело в собственность пятиэтажное здание площадью 5 000 м², в которое в течение полутора-двух лет было переведено всё производство. Большое внимание было уделено созданию базы технической документации, стали внедряться новые конструкторские и технологические решения, подкрепленные опытом коллектива.

К 2021–2022 годам компания достигла объема продаж порядка 300 млн руб. в год. Производство было расширено. Значительно увеличился штат сотрудников – как на сборочном и механическом производстве, так и в конструкторском отделе и технологической службе. В 2023 году был сделан упор на приобретение нового оборудования – более эффективного и производительного.

На данный момент штат компании составляет порядка 150 человек. По итогам 2023 года по валовой выручке мы приросли примерно на 70%.

Компания выпускает только датчики или также и аппаратуру на их основе?

Изначально компания была сосредоточена на датчиках первичного преобразования для автоматизации – индуктивных, емкостных, герконовых, оптических.



Исполнительный директор ООО СКБ «Индукция» С.А. Ульянов

Сейчас мы начали разрабатывать датчики на эффекте Холла. В стране ощущается их дефицит, в том числе по причине ухода иностранных производителей, поэтому данное направление развития диктуется непосредственно рынком.

Мы занимаемся разработкой и других изделий, в том числе для вторичного преобразования. Так, компания выпускает блоки взрывобезопасного исполнения для работы с сигналами стандарта NAMUR, газоанализаторы и другие устройства. В пандемию COVID-19, когда было особенно небезопасно прикасаться к предметам в общественных местах, мы начали выпускать бесконтактные сенсорные кнопки, которые нашли применение в туалетных комнатах в поездах.

Но ассортимент подобных изделий у компании пока не очень широкий. У нас сохраняется акцент на разработке и производстве датчиков. Они – наш конек.

Чувствительные элементы у вас покупные, или вы изготавливаете их сами?

Это зависит от типа датчика. Чувствительные элементы для емкостных и индуктивных датчиков производим сами, для оптических – закупаем. В датчиках на эффекте Холла также применяются покупные преобразователи. Это, по сути, микросхемы, а такого рода компоненты мы не изготавливаем, равно как и другую ЭКБ. К сожалению, в России рынок производства ЭКБ достаточно слабый, поэтому пока приходится применять преимущественно зарубежные компоненты. Видно, что этот вопрос постепенно решается на государственном уровне. Так что можно предположить, что в ближайшее время ситуация в области отечественной ЭКБ изменится в положительную сторону.



Примеры продукции ООО СКБ «Индукция»

В каких областях применяются ваши датчики? Какие сегменты рынка вы считаете наиболее значимыми для вас?

В принципе, датчики нужны во всех отраслях производства, где есть автоматизация. Это пищевая промышленность, животноводство, производство стройматериалов, металлургия. Мы поставляем большое количество датчиков для автомобилестроения и производств специальной техники, такой как, например, краны, автопогрузчики, дорожная, автотракторная техника. В частности, плотно работаем с ООО «КЗ «Ростсельмаш», белорусскими производителями, такими как ОАО «Гомсельмаш», ОАО «Минский автомобильный завод» (МАЗ), которые устанавливают датчики нашего производства в собственную продукцию – комбайны, тракторы, грузовые автомобили. Эти отрасли – основные наши потребители, но список направлений, где востребована продукция компании, можно продолжать. Чем выше степень автоматизации производства или продукта, выпускемого предприятием, тем с большей вероятностью оно будет нашим клиентом.

Датчики – это еще и важный элемент робототехники, которая сейчас выглядит весьма многообещающим направлением. Насколько ваша продукция востребована в этой сфере?

Это одно из тех направлений, где могут раскрыться большие перспективы для нас. В основе робототехники – качественный, быстродействующий и точный привод. А для такого привода нужна хорошая система измерения, то есть датчики – малогабаритные, точные, дешевые.

На текущий момент у нас не такие большие поставки по данному направлению, в основном это пробные партии или единичные образцы для использования в новых разработках. На мой личный взгляд, в России робототехника развита еще довольно слабо. Но хотя

мы еще находимся только в начале этого пути, данное направление в России развивается. В частности, в нашем городе на базе ПАО «Челябинский кузнечно-прессовый завод» недавно было открыто специализированное предприятие по производству робототехнических решений – «Завод роботов». Так что мы видим в робототехнике потенциал для нашей компании и работаем в данном направлении.

Как изменился спрос на вашу продукцию за последние два года?

Практически сразу после начала СВО возниквало множество заявок. У потребителей возникло ощущение, что они могут остаться совсем без датчиков, и они были готовы вносить предоплату чуть ли не на год вперед, лишь бы их включили в план производства. Это продолжалось месяца три-четыре. Конечно, это привело к некоторой эйфории, но в глубине души мы понимали, что это ситуация времененная. Ажиотаж постепенно стал спадать, стали формироваться новые цепочки поставок, подтягиваясь новые производители, пусть и небольшие и не играющие серьезной роли на рынке. Таким образом, можно констатировать, что рынок освободился лишь ненадолго. На сегодняшний момент его можно назвать не свободным, но разреженным, борьба за освободившиеся ниши между российскими производителями продолжается.

СКБ «Индукция», безусловно, участвует в этой борьбе и старается занять возможно большую долю данного рынка. Я считаю, что мы довольно неплохо продвинулись в этом направлении. Высокий спрос не означает, что потребитель будет согласен на продукцию любого качества. Низкокачественный продукт никому не нужен. Наша компания всегда уделяла этому вопросу большое внимание, что во многом и определило ее успех на рынке. Сейчас у нас есть существенный потенциал для дальнейшего улучшения качества и развития ассортимента продукции, и мы прилагаем большие усилия для того, чтобы этот потенциал реализовать. Поэтому я считаю, что мы сможем и дальше достойно проявлять себя в конкурентной борьбе и развивать свой бизнес в освободившихся после ухода зарубежных поставщиков нишах.

Существует ли конкуренция с китайскими производителями? Удается ли достигать конкурентоспособной цены на продукцию, если сравнивать с ценами на изделия из Китая?

Да, китайские производители присутствуют на нашем рынке и оказывают значительное давление с точки зрения цены. Можно привести такой пример: мы узнавали, какова была бы стоимость корпусов для наших датчиков, если бы они закупались в Китае. Оказалось, что китайский корпус – уже готовое изделие – стоит меньше, чем металл, который мы покупаем для корпусов у российского поставщика. Это очень сложная ситуация, на которую трудно повлиять.



Линия поверхностного монтажа FLEX:SMT

Но вы при этом изготавливаете корпуса сами...

Да, мы позиционируем себя как производителя с замкнутым циклом производства: от технического задания клиента до серийного изготовления продукции, стараемся максимально локализовать наши изделия. Если не верить в свою способность создавать конкурентоспособную продукцию, а смотреть только на цену комплектующих, то зачем вообще создавать производство?

И это, кстати, является одним из наших отличий от некоторых конкурентов, работающих на российском рынке. К сожалению, существуют компании, у которых значительную долю ассортимента составляют изделия, которые они, фактически, перепродают. СКБ «Индукция» производит сама практически весь ассортимент своей продукции. При этом весь цикл – от производства пресс-форм, литья пластиковых деталей и механообработки до конечной сборки и настройки готового датчика – реализован здесь, в нашем здании, под одной крышей. Только электронные компоненты у нас покупные, и изготовление печатных плат мы заказываем на стороне.

Вы даже пресс-формы изготавливаете на собственном производстве?

Да. У нас есть термопластоматы, на которых отливаются пластиковые корпуса и заглушки. И мы пошли дальше: организовали у себя инструментальное производство. Сейчас делаем пресс-формы для собственных нужд, но также планируем изготавливать данную оснастку и для сторонних заказчиков.

Помимо этого, мы производим и металлические корпуса. В прошлом году в дополнение к металлообрабатывающим станкам, которые уже были на нашем производстве, были приобретены токарный автомат и пятиосевой фрезерный обрабатывающий центр, а также ряд другого оборудования. Подготовка проводов, включая обрезку, зачистку, лужение, и намотка сенсоров индуктивных датчиков также производятся на специализированных станках.

В прошлом году мы запустили и новую линию поверхностного монтажа FLEX. До этого сборка печатных узлов выполнялась на простом оборудовании, не объединенном в линию, и ограниченном, в первую очередь, с точки зрения производительности. Поскольку мы нацелены на выход на крупные серии, была приобретена линия FLEX, которая позволяет не только увеличить объемы выпуска, но и обеспечить высокое качество серийной продукции.

Почему вы остановились именно на решении FLEX? Рассматривали ли вы другие варианты?

Покупка линии поверхностного монтажа – дело дорогостоящее. Поэтому, конечно, мы изучили несколько предложений. Остановились мы на предложении компании «Остек-Умные технологии», поскольку нам показалось, что линия FLEX удовлетворяет всем основным нашим требованиям – прежде всего, по производительности и качеству. И с точки зрения условий этот вариант оказался наиболее привлекательным.

Одним из факторов, повлиявших на принятое решение, было и то, что в предложении Остека большое внимание



Информационный экран «Умной линии»

было уделено программному обеспечению, и ряд программных продуктов был уже включен в предложенную конфигурацию.

Сейчас на этой линии производится серийная продукция? Оправдала ли линия FLEX ваши ожидания по производительности и качеству выпускаемых изделий?

Да, с ноября прошлого года на линии собирают печатные узлы, которые используются в нашей серийной продукции – наиболее продаваемых датчиках, перечень которых мы определили заранее. В целом, все режимы были отработаны при пусконаладке с участием специалистов Остека. Еще остаются некоторые вопросы, которые мы планируем отладить в течение текущего года; линия пока не загружена на 100 %. Но серийная продукция производится на ней уже несколько месяцев, и первые выводы сделать можно.

Что касается качества, я считаю, что с вводом в эксплуатацию данного оборудования оно у нас выросло на порядок. Пока очень крупные партии на линии не производились, но в целом видно, что и показатели по производительности, которые мы для себя наметили, будут достигнуты, в том числе с учетом запаса на дальнейшее развитие, которое мы обсуждали со специалистами Остека.

Сколько прошло времени от принятия решения о приобретении линии FLEX до начала изготовления на ней серийной продукции?

Договор с компанией Остек на поставку линии FLEX мы подписали в декабре 2022 года. До этого несколько месяцев ушло на выбор решения. Мы знакомились с различными линиями, посещали компании, у которых было подобное оборудование, и к концу года приняли окончательное решение.

Оборудование было готово к поставке примерно в середине апреля 2023 года, но, поскольку у нас велись

работы по подготовке помещений – достаточно масштабные, вплоть до установки лифтов, было принято решение подождать с его установкой до завершения основной части этих работ. После того как оборудование было установлено, специалисты поставщика примерно за месяц-полтора произвели запуск линии, включая обучение нашего персонала.

Мы продолжаем совместно с коллегами из Остека совершенствовать технологию и прорабатывать организационные вопросы. Пока не полностью введены в эксплуатацию решения «Склад 4.0», «Умное рабочее место», также поставленные нам данной компанией. Кроме того, продолжаем наращивать объемы производства на линии FLEX и надеемся к концу года выйти на запланированную мощность по изготовлению печатных узлов.

Вы упомянули про решение «Умное рабочее место». Вы планируете выстроить систему управления производством, охватывающую и ручные операции?

Да, мы сейчас занимаемся разработкой программного продукта, который будет в том числе обеспечивать проследиваемость по всей цепочке – от закупки материалов и комплектующих до выходного контроля изделий, включая и механообработку, и сборку печатных узлов, и остальные операции. В эту систему вписываются такие элементы комплексного решения FLEX, как «Умная линия», «Умное рабочее место», «Склад 4.0» и др. Сквозная система проследиваемости позволит в случае возникновения тех или иных проблем или рекламаций – а от этого никто не застрахован – быстро и точно определить, по какому маршруту проходило изделие, какие комплектующие в нем применены, кто и когда выполнял ту или иную операцию, какие использовались режимы и т. п. Информация будет собираться также с рабочих мест, на которых выполняются ручные операции. Система проследиваемости позволит значительно упростить получение документированной информации в соответствии с требованиями СМК по ГОСТ Р ИСО 9001, действующей на нашем предприятии уже более 10 лет.

В этой же системе будет выполняться планирование производства, включая линию FLEX, что позволит сократить затраты, увеличить объем производства и, конечно, повысить качество продукции.

Для такой масштабной модернизации производства требуются существенные инвестиции. Вы использовали при закупке оборудования те или иные меры поддержки?

Мы воспользовались программой льготного кредитования инновационных компаний, осуществляющей АО «МСП Банк». Эта программа доступна малым и средним предприятиям, удовлетворяющим ряду критерии, в том числе по величине и темпу роста выручки. СКБ «Индукция» этим критериям соответствует, поэтому мы смогли получить данный кредит.

Это предложение от Корпорации МСП помогло нам решить поставленную задачу по закупке оборудования в комплексе и в короткие сроки, не разбивая процесс на этапы, чтобы затем сосредоточиться на отработке и совершенствовании технологии.

Еще одна задача, связанная с расширением производства, – увеличение штата. Вы сказали, что штат компании за последнее время вырос. Сложно ли было найти новых сотрудников?

Действительно, количество сотрудников на нашем производстве увеличилось кратно. Хотя поиск людей – задача непростая, основным вопросом стала не она, а их обучение, а также комплекс мероприятий, направленный на то, чтобы новые сотрудники закрепились в компании, остались с нами и приносили пользу предприятию. На данный момент мы эти вопросы решили, но важно думать и о будущем.

Поэтому мы плотно сотрудничаем с Южно-Уральским государственным университетом, расположенным у нас в Челябинске. С вузом заключен договор о партнерстве. Учащиеся ЮУрГУ направляются в СКБ «Индукция» на практику, некоторые из них затем привлекаются к работе в компании. Наши специалисты ведут их в течение процесса обучения в вузе, ребята выполняют реальные задачи, решение которых нужно предприятию. Благодаря этому планируем в будущем получить качественное пополнение нашей команды.

Также работаем с Челябинским радиотехническим техникумом, откуда к нам приходят ребята на должности монтажников, регулировщиков, наладчиков оборудования. С этим учебным заведением также заключен договор о сотрудничестве.

Какие у вас планы на этот год, помимо выхода на запланированные объемы производства печатных узлов? Собираетесь ли вы дальше наращивать парк оборудования, расширять номенклатуру изделий?

У нас постоянно ведутся новые разработки. Этого требует рынок. В частности, планируем запустить в производство индуктивные и емкостные датчики на новых схемотехнических решениях. Новые изделия запланированы и в линейке оптических датчиков. Как я отметил ранее, работаем над датчиками на эффекте Холла. Также мы хотим создать качественный российский ультразвуковой датчик. К сожалению, отечественные УЗ-датчики на данный момент не удовлетворяют требуемым стандартам.

Кроме того, мы вплотную подошли к созданию магнитных энкодеров – очень востребованных на рынке изделий.

Что касается закупки оборудования, на данный момент она у нас в основном завершена. Остались лишь отдельные, точечные позиции. Но это совсем небольшие вложения по сравнению с той модернизацией, которая была выполнена в прошлом году.

Мы планируем посвятить этот год отработке технологии, а также нового программного продукта, поскольку его внедрение потребует существенного времени и ресурсов. И конечно, будем работать над дальнейшим повышением качества и снижением себестоимости продукции, чтобы соответствовать мировому уровню в своей области. У нас есть для этого всё – и опыт, и компетенции, и современное оборудование.

Спасибо за интересный рассказ.



Настройка технологического процесса на линии FLEX:SMT

ТЕХНОЛОГИИ

Высокоточное утонение пластин

с использованием
стеклянного носителя
со сверхнизким ТТВ
и технологии временного
монтажа

Текст: Дмитрий Суханов

”

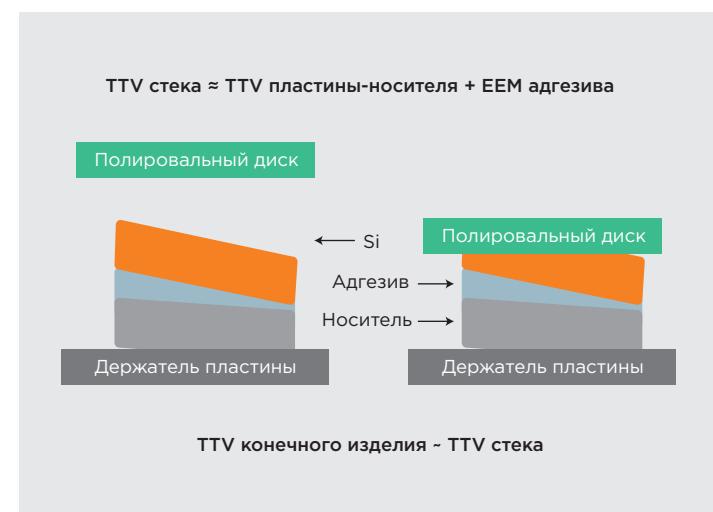
Несколько лет назад я писал в одной из статей, что процесс утонения крайне важен и важно использовать различного вида промежуточные носители, выбор которых зависит от конкретной задачи и материала обрабатываемой пластины. Как показывает практика, наиболее универсальным материалом для промежуточного носителя является стекло. Свойства стекла позволяют его достаточно просто обрабатывать, а самое главное – есть возможность получить ультравысокие геометрические показатели качества поверхности.

Утонение пластин – важнейшая часть производства устройств и современного корпусирования в производстве полупроводников. Утоненные с помощью промежуточного носителя пластины становятся все более востребованными, особенно когда их конечная толщина крайне мала, скажем, менее 100 мкм. Но в обращении с такими пластинаами возникает ряд трудностей. Процессы обработка пластин после их утонения (осаждение слоев, химико-механическая полировка, бондинг и т. д.) нуждаются в наличии жесткой и термомеханически стабильной опорной структуры – носителя. Чтобы добиться низкого изменения общей толщины (TTV) конечной пластины, такой же, как у несущей пластины, временный связующий материал (обычно слой адгезива) должен обеспечивать достаточно низкое TTV. Несущая пластина также должна иметь подходящий коэффициент теплового расширения (КТР).

Давайте рассмотрим наилучшее решение для такого процесса, а точнее – применение стеклянного носителя и метод временного монтажа, которые в совокупности обеспечивают минимальный TTV в процессе утонения пластины. А в качестве примера используем результаты обработки монокристаллической пластины tantalата лития (ТЛ) диаметром 150 мм, TTV после утонения достигает 5 мкм при чень только за счет шлифования пластины.

Уже многие компании, производящие устройства с помощью технологий современного корпусирования, используют стеклянные пластины в качестве промежуточного носителя. Привлекательные свойства стекла: возможность «настраивать» КТР, способность обеспечивать высокоточные геометрические характеристики, такие как плоскостность и очень низкий TTV, стабильность в широком диапазоне температур обработки, химическую стойкость и совместимость с механическими, термическими или световыми методами дебондинга. Стекло также достаточно легкое и технологичное, что обеспечивает высокую экономическую эффективность.

В типичном технологическом сценарии производства – пластина и носитель – стекло «прикрепляется» к пластине, подлежащей утонению (используется в качестве временного носителя и монтируется методом временного бондинга), с помощью слоя адгезива (временного клея), который можно отдельить после обработки. И клейкий слой, и несущая пластина имеют разную толщину, что ограничивает однородность утоненной пластины (рис 1). Необходимо использовать совокупное TTV для описания комбинированного TTV несущей пластины и клея, о чем очень часто забывают, говоря только о TTV самого носителя. Для современных устройств, требующих либо конечной толщины приборной пластины <10 мкм, либо допусков на толщину пластин <1 мкм, общее изменение толщины опорной



1

Воздействие TTV пластины-носителя TTV клеевого слоя TTV на TTV утоненной пластины

структуре (пластина-носитель), а именно стека TTV, должно составлять <1 мкм, в идеале – <<1 мкм.

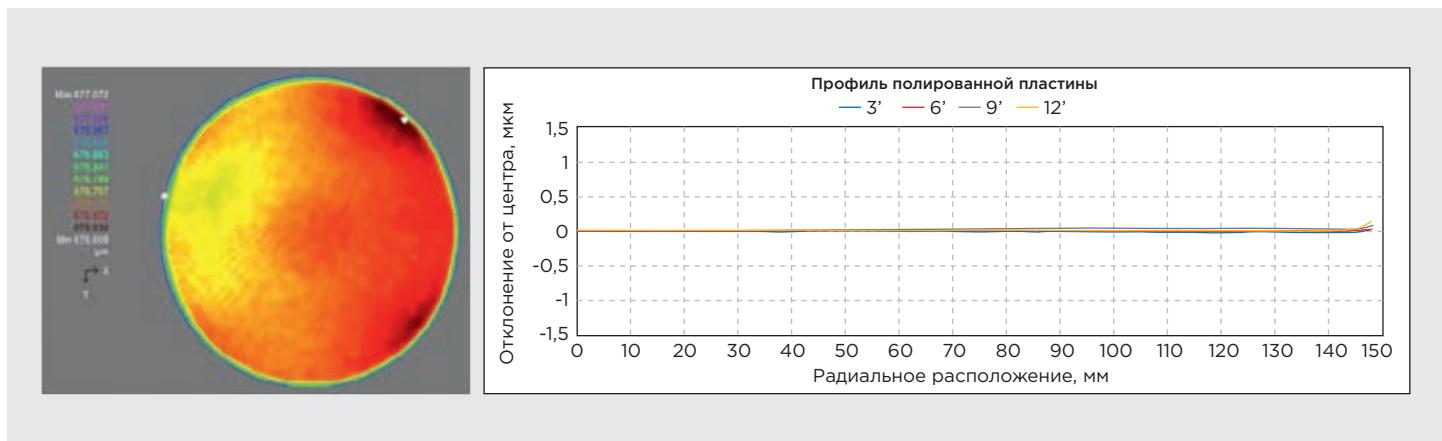
Это требует инноваций как в производстве пластин-носителей, так и в методе временного монтажа.

Стеклянные пластины-носители со сверхнизким TTV

Стеклянные пластины обычно изготавливают одним из двух методов. Заготовки пластин можно либо извлечь из плоского стеклянного листа, либо вырезать из стеклянного блока с помощью так называемой проволочной резки. Хотя высокоточная технология формования листов методом сплавления может обеспечить превосходную плоскостность и TTV без дополнительной полировки, данный метод не способен обеспечить TTV менее 1 мкм с разумным выходом годных, не говоря уже о доле 1 мкм. Эта задача тем сложнее, чем больше размер пластины. Нарезанные заготовки пластин имеют достаточно шероховатую поверхность, которую необходимо подвергнуть шлифовке и полировке, чтобы их можно было использовать в качестве несущей пластины.

Хотя методы двусторонней полировки существуют уже несколько десятилетий, достижение TTV <1 мкм на пластине диаметром 200 мм и тем более 300 мм требует фундаментального понимания всего процесса и оптимизации оборудования, а также расходных материалов.

Не так давно компании Corning удалось изготавливать стеклянные пластины диаметром 200 и 300 мм с девиацией TTV всего лишь 0,2 мкм – пластины со сверхнизким TTV (ULTTV). На рис 2 показаны характеристики ULTV стеклянной пластины диаметром 300 мм.



2

Пластины, прошедшие высокоточную полировку, смогли достичь значения ТТВ значительно ниже 1 мкм, которое составило для 200 мм порядка 0,2 мкм, а для 300 мм порядка 0,4 мкм, по направлению 3, 6, 9 и 12 часов

Чего же удалось достичь?

Пластины ULTTV: диаметр 200 мм – ТТВ <0,2 мкм; пластины диаметром 300 мм – ТТВ <0,4 мкм.

Рассмотрим критические характеристики стеклянных пластин для применения в качестве пластины-носителя.

Искажение формы пластины во время временного бондинга и последующей обработки можно понять с помощью термомеханического моделирования. Упрощенная формула для случаев, когда несущая пластина поддерживает другую, гораздо более тонкую пластину (рабочую пластину), чтобы связать величину искажения формы со свойствами носителя:

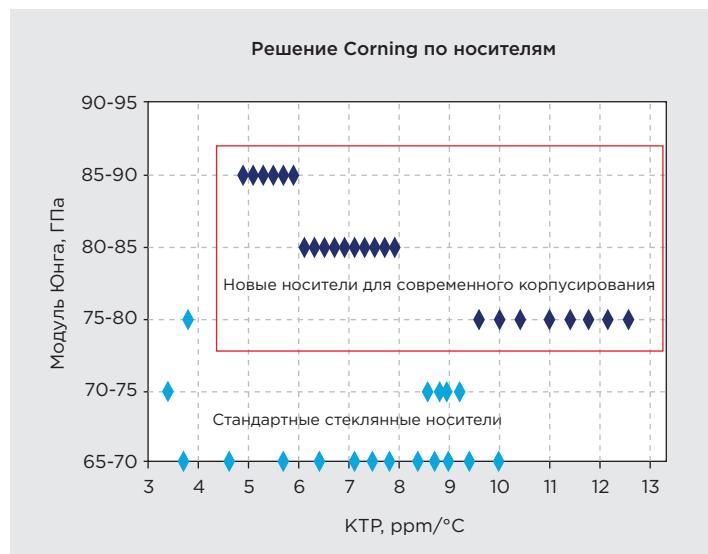
$$\approx 0,75L^2\Delta\alpha\Delta T \frac{E_s(1-v_g)t_s}{E_g(1-v_s)t_g^2},$$

Здесь нижний индекс s для свойств материала полупроводниковой пластины, подлежащей утонению, E_s – модуль Юнга, t_s – толщина пластины, v_s – коэффициент Пуассона и α_s – коэффициент теплового расширения. Для носителя – нижний индекс g для тех же параметров соответственно, L – размер носителя.

Из этого упрощенного соотношения видно, что для пары смонтированных пластин согласование КТР между полупроводниковой пластиной и носителем является наиболее влиятельным фактором в минимизации искажений, который оказывает прямолинейное воздействие. При применении утоненных кремниевых пластин типовая рабочая пластина в своем составе часто содержит металлизацию и диэлектрические слои. В случае сквозных кремниевых переходных отверстий (TSV) эти отверстия, заполненные медью, могут занимать значительную объемную долю всей пластины, что делает эффективный КТР выше, чем у чистого Si. Если рабочая пластина изготовлена из материала, отличного от Si, например GaAs, сапфир или SiC, пластина-носитель

также должна обеспечить соответствующий КТР для этих материалов. Из этой же формулы вытекают еще два важных параметра: искажение формы, которое обратно пропорционально модулю Юнга стекла, а также обратно пропорционально квадрату толщины несущей пластины.

Учитывая обозначенные выше взаимосвязи, необходимо использовать стеклянные пластины, которые способны охватывать широкий спектр КТР. На рис. 3 показана доступность значений КТР в диапазоне 3–12,5 ppm/°C. Для продуктов в красном прямоугольнике пластины из несущего стекла также обеспечивают высокий модуль Юнга и гибкость в выборе толщины пластин. Пластины могут быть изготовлены с толщиной до 5 мм. Голубые ромбы обозначают изделия, толщина которых обычно не превышает 1 мм, и мо-



3

Предложение по пластинам-носителям от Corning, способным охватить весь диапазон КТР 3–12,6 ppm/°C с точной детализацией. Продукты в красном прямоугольнике имеют высокий модуль Юнга, а также гибкость по толщине, вплоть до 5 мм

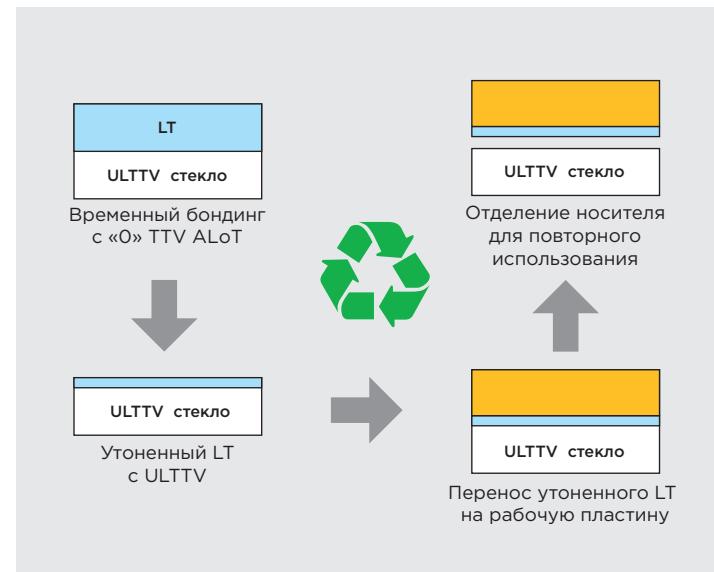
дуль Юнга для них несколько ниже. Поскольку методы механической полировки, обеспечивающие сверхнизкие характеристики TTV, не зависят от термомеханических свойств стекла, все доступные типы стекла, показанные на РИС 3, могут быть изготовлены со сверхнизким TTV.

ALoT: передовые технологии Lift-off

ALoT – это аббревиатура от Advanced Lift-off Technologies в зарубежной терминологии, процесс, который описывает необходимую нам технологию временного бондинга. Изначально идея разработки ALoT заключалась в поддержке использования ультратонкого стекла для создания более тонких, легких, гибких и долговечных дисплеев за счет использования существующей инфраструктуры дисплейных панелей. Существующие методы утонения используют либо механическое, либо химическое воздействие, что сопряжено со значительными экологическими и экономическими проблемами. Подробное рассмотрение ALoT – это уже совершенно другая тема, возможно, в одной из следующих статей мы ее обсудим.

Общей особенностью процесса ALoT является чрезвычайно тонкий связующий слой, толщина которого варьируется от субнанометров до десятков нанометров. Такой тонкий слой по существу не будет добавлять TTV к стеку, который состоит из TTV несущей пластины и TTV связующего слоя. В большинстве процессов ALoT используется предварительное соединение при комнатной температуре с последующим отжигом при температуре $<150^{\circ}\text{C}$ для достижения достаточной прочности соединения, позволяющей поддерживать утонение пластины и сохранять возможность механического дебондинга с использованием стандартного оборудования для дебондинга. Низкая температура отжига позволяет соединять материалы с различными КТР без расслоения или разрушения из-за напряжения. Дальше будет описано соединение ALoT, которое осуществляется между пьезоэлектрической монокристаллической пластиной с КТР ~ 14 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ и стеклянным носителем с КТР 3,4 ppm/ $^{\circ}\text{C}$.

Для бондинга в ALoT требуется, чтобы носитель и пластина были обработаны, поверхности интерфейса для временного бондинга были плоскими и гладкими. Если утонение выполняется перед изготавлением устройства, как показано в примере ниже, характеристики поверхности пластины могут быть гарантированы с помощью таких характеристик пластины, как шероховатость (например, Ra) и локальная плоскостность (LTV). Если рабочая пластина, подлежащая утонению, уже имеет топографию поверхности, полученную на предыдущих этапах изготовления устройства, сначала необходимо выполнить процесс планаризации для достижения требуемой плоскостности и гладкости поверхности, что накладывает ряд ограничений по применению пластин с конечными устройствами.



4

Утонение LT с использованием бондинга ALoT и стеклянного носителя со сверхнизким TTV. После утонения LT переносится на рабочую пластину, а носитель можно использовать повторно

Рассмотрим результаты процесса утонения пластин

Монокристаллические пластины пьезоэлектрических материалов, таких как танталат лития (LiTaO₃ – LT) и ниобат лития (LiNbO₃ – LN), широко используются в радиочастотных (РЧ) акустических фильтрах. Современные беспроводные системы (4G/5G) используют частоты в диапазоне ГГц, которые выигрывают от очень тонких слоев (например, <1 мкм) этих монокристаллов. Если утонение LT или LN проводится на подложке-носителе с высоким TTV, достижение однородной толщины слоя за счет утонения пластины будет практически невозможным.

Для текущего процесса используют механическое утонение с помощью пошагового приближения к заданной толщине, а далее обрабатывают поверхность ионным лучом, чтобы улучшить неоднородность. Обработка ионным лучом – медленный и дорогостоящий процесс. Одна из альтернатив – использование стеклянного носителя со сверхнизким TTV с соединением ALoT. В качестве образца был выбран LT из-за его широкого применения в устройствах на поверхностных акустических волнах (ПАВ), а также из-за его доступности диаметром до 150 мм. Схема процесса показана на РИС 4.

Рассмотрим результаты первых двух этапов, а именно ALoT бондинга и утонения пластины LT

На РИС 5 показан стек LT и стеклянной пластиной после процесса ALoT бондинга. Внутри пластины, а также около края видны пустоты из-за несовершенной пред-



5

Диаметр пластины: 150 мм; пластины: LT и стекло; бондинг: ALoT. Показаны небольшое количество оставшихся дефектов после бондинга и обрезка кромок для устранения дефектов бондинга вблизи кромки. Толщина LT до шлифования составляет 350 мкм



7

Пластина LT после процесса шлифования до толщины 15 мкм



8

После шлифования LT до толщины 5 мкм на LT-подложке наблюдаются более серьезные сколы по всему периметру пластины

варительной очистки. Пустоты на краях могли вызвать расслоение во время утонения, поэтому были применены тщательные обработка и обрезка, чтобы убедиться, что эти пустоты удалены.

Для шлифовки LT использовалась полностью автоматическая система шлифовки-полировки, конфигурация которой показана на РИС 6. Оборудование имеет несколько рабочих станций, которые можно настроить для грубого и тонкого шлифования и даже для ХМП. В нашем случае использовалось только два процесса шлифования (Z1 и Z2).

На РИС 7 показана пластина LT после шлифования до толщины 15 мкм. На направлении 9 часов 30 минут заметен лишь незначительный скол.



6

Инструмент для полностью автоматического процесса шлифовки и полировки пластин, предназначенный для выполнения грубого и тонкого шлифования и, при необходимости, ХМП

На РИС 8 показана та же пластина, когда процесс тонкого шлифования еще больше утонил слой LT до толщины 5 мкм. Вокруг пластины можно увидеть гораздо больше сколов. Это указывает на то, что прочность соединения ALoT может быть недостаточной. В полупроводниковой промышленности хорошо известно, что связь вокруг края пластины обычно слабее, даже если пустоты и другие дефекты не наблюдаются визуально или с помощью конфокальной сканирующей акустической микроскопии, а самый простой метод устранения дефектов заключается в обрезке кромок по всей пластине перед склеиванием.

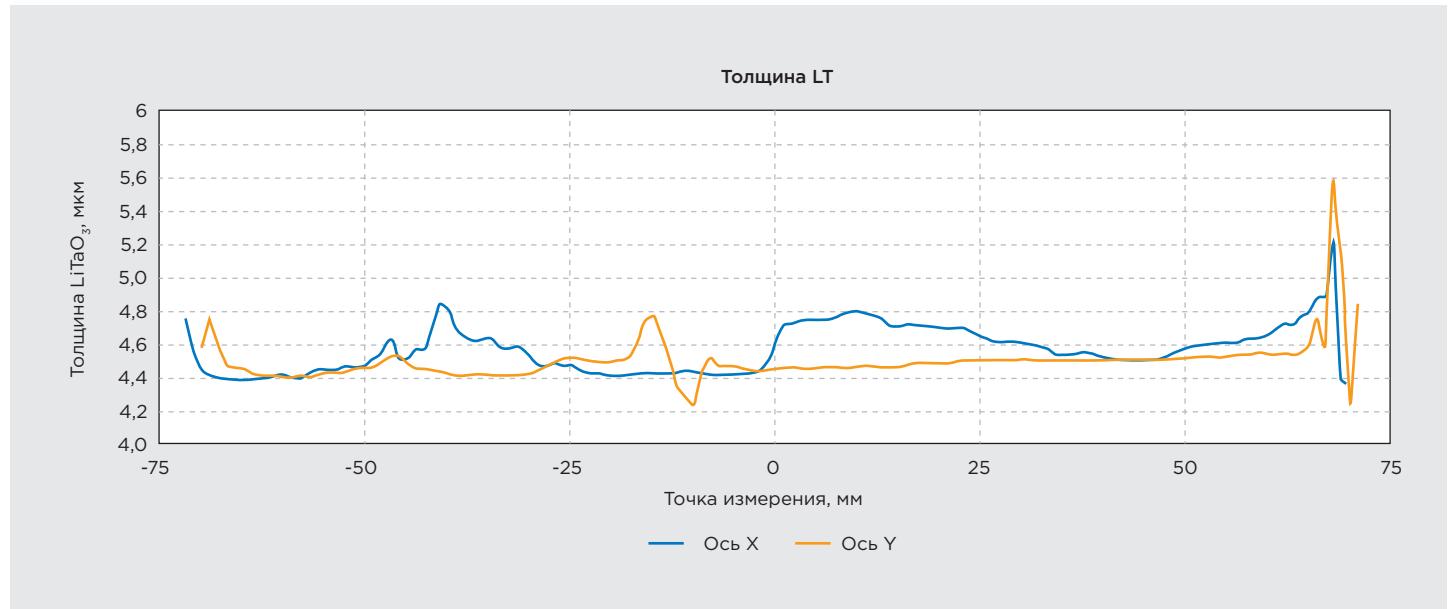
Измерение толщины после шлифования в двух перпендикулярных направлениях представлено на РИС 9. Показано общее изменение толщины от центра пластины к ее краю, если не учитывать края пластины, TTV составляет около 0,4 мкм. Предполагается, что этому результату способствовали минимальный TTV стека (~0,2 мкм), появление «мусора» из-за расслоения кромок, вибрация оборудования во время шлифования и сама методика измерения.

Необходимо продолжать дальнейшую оптимизацию качества и прочности соединения ALoT, а также изучать условия шлифования – прижимное усилие, частоту вращения круга, скорость и направление подачи.

Подведем итоги

Прецизионное утонение пластины с использованием пластины-носителя может зависеть от двух основных факторов, таких как: стеклянный носитель со сверхнизким TTV и временное соединение с почти нулевым TTV. В результате TTV стека может составлять всего лишь 0,2 мкм для размера пластины <200 мм; для пластины диаметром 300 мм – всего 0,4 мкм.

Пластины-носители со сверхнизким TTV в настоящее время коммерчески доступны, а вот метод



9

Измерение толщины в направлениях X и Y показывает общее TTV ~0,4 мкм

ALoTв качестве бондинга, а также процессы утонения до сверхмалых толщин все еще находятся в стадии развития. Будущие процессы обработки должны включать оптимизацию прочности и качества процесса бондинга ALoT для достижения еще более меньшей целевой толщины, а также внедрение процесса ХМП на шлифованную поверхность перед

бондингом тонкого слоя LT с рабочей пластиной, такой как Si.

Использованные материалы

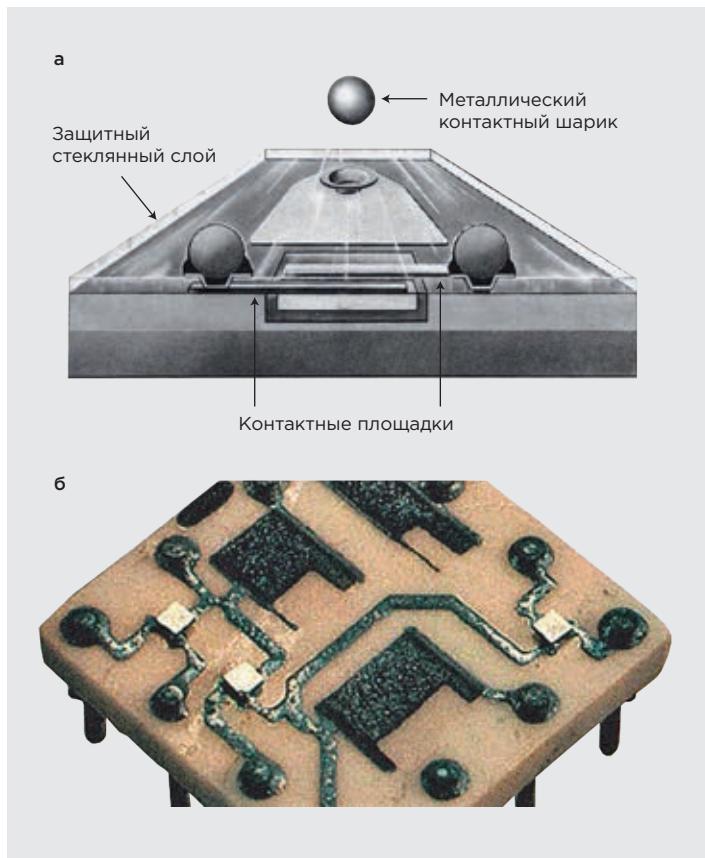
1. «High-precision wafer thinning using ultra-low-TTV glass carrier and temporary bonding» By Jay Zhang. Chip Scale Review, March – April, 2024.

Проблемы CoS- и CoWoS- корпусирования и методы их решения с помощью технологии Flip-Chip

Текст: Григорий Савушкин

”

Монтаж методом перевёрнутого кристалла (Flip-Chip) – ключевая технология корпусирования интегральных схем, применяемая в большинстве современных ПЛИС и других типах устройств в связи с улучшенными относительно стандартного метода микропроволочных соединений электрическими, теплопроводящими и габаритными свойствами изделий. Выбор конкретного метода определяет сложность изготовления, электрические и тепловые параметры, а также область применения конечного электронного компонента.



1

Первые конструкции типа «флип-чип» компании IBM: а – транзистор; б – гибридная микросборка

Технология монтажа методом перевернутого кристалла развивается с 1960-х годов прошлого столетия, начиная с первых опытных изделий от компании IBM (рис 1). Основанием для развития данной технологии как альтернативы микропроволочным соединениям в создании электрического контакта между кристаллом/кристаллами и подложкой являются:

- меньшая длина микросоединений, а значит большая компактность и лучшие электрические характеристики;
- большая плотность контактов на единицу площади кристалла, так как микросоединения могут быть сформированы по всей площади кристалла, а не только по граням;
- более равномерное распределение тепла по кристаллу;
- лучший отвод тепла от кристалла (возможность создания теплоотвода, в том числе сверху).

Эти преимущества особенно актуальны для многовыводных устройств (>200 соединений). При упаковке подобных электронных компонентов создание микропроволочных электрических контактов сопряжено с чрезмерной сложностью и плотностью этих соединений. Использование очень тонких проволок (<20 мкм), необходимость, в ряде случаев, многоярусной микросварки (2 и более уровней) – эти факторы создают как закономерное ограничение в количестве контактов на единицу площади кристалла, так и высокий риск брака при монтаже таких соединений (короткое замыкание, дефект сварки, обрыв проволоки и т. д.). Таким образом, развитие и совершенствование высокопроизводительных вычислительных устройств требует использования технологии Flip-Chip взамен Wire bonding как гораздо более компактного и продвинутого метода корпусирования.

Процесс монтажа методом перевернутого кристалла (лицевой стороной вниз) по сути объединяет процессы монтажа кристаллов (лицевой стороной вверх) и микросварки проволокой в случае стандартного метода корпусирования (рис 2). Формирование соединений начинается еще до монтажа кристалла путем создания матрицы выводов (бампов) на его поверхности, которые в дальнейшем путем совмещения с зеркальной матрицей площадок на подложке обеспечивают электрический и механический контакт кристалла с подложкой, будь то печатные платы, кристаллы, кристаллы с кристаллами и т. д.



2

Иллюстрация процесса монтажа методом перевернутого кристалла

стекло, кремний или иные материалы, перераспределяющие электрический сигнал и тепловую энергию.

Использование такого типа контактов делает более доступным развитие двух важнейших трендов в микроэлектронике последних десятков лет: миниатюризация и вертикальная интеграция.

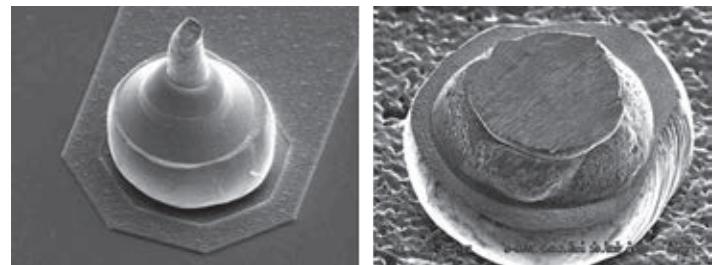
Целесообразность использования метода *Flip-Chip*

Необходимость в миниатюрных электронных компонентах, обеспечивающих максимальную производительность при минимальной площади размещения на печатной плате, требует искать всё более компактные методы упаковки, а значит – уменьшение различия в геометрических размерах между кристаллом и подложкой. Методы корпусирования Chip scale Packaging (CSP), также иногда называемые как Fan-in, позволяют снизить эту разницу до коэффициента 1,2 и меньше. Данный метод активно развивался и при использовании проволочных соединений, однако применение *Flip-Chip* контактов позволяет теоретически свести это различие до полного соответствия геометрических размеров кристалла и подложки.

Дополнением и развитием тренда на миниатюризацию компонентов является вертикальная интеграция микросхем в рамках одного изделия. Основным драйвером для поиска решений по размещению интегральных схем не только по осям XY, но и по Z, стали тяжело преодолимые ограничения по размещению всех элементов на одном кристалле (компоновка типа *System-on-Chip*). Постоянное увеличение геометрических размеров кристалла вкупе с увеличивающей сложностью каждого отдельного элемента критически повышает риск брака при изготовлении ИС. Более оптимальным методом на определенном этапе развития микроэлектроники стало создание изделий на основе нескольких высокointегрированных между собой ИС. Это позволило сочетать в электронном компоненте кристаллы на разных техпроцессах, снижать риск брака относительно всего изделия, быть более гибким в компоновке и промежуточной модернизации изделия.

Опять же, направление вертикальной интеграции имеет свое развитие и при использовании микропроволочных соединений, размещая кристаллы поверх друг друга и оставляя площадки для проводов доступными для разварки. Компоновки типа *Package-on-Package* (PoP) или 3D Stacking позволяют размещать микросхемы поверх друг друга и без использования матрицы выводов на кристалле, однако использование более компактных и электрически более совершенных соединений с использованием бампов открывает гораздо более широкие возможности к увеличению производительности и быстродействию устройств на единицу площади.

В процессе развития технологии монтажа методом перевернутого кристалла исследователи опробовали как различные материалы, которые могут использоваться для перемычек между кристаллом и подложкой, так и материалы подложки. Эти материалы должны обеспечивать



3

Внешний вид золотых бампов после монтажа на площадку кристалла (слева) и после проведения coining (справа)

надежный электрический и физический контакт между составными частями электронного компонента, выдерживать перепады температур в процессе эксплуатации и быть достаточно технологичными, чтобы переход от микропроволочных соединений был оправданным.

Методы бампирования и монтажа кристаллов

Каждый из применяемых на текущий момент типов бампов имеет свои особенности, определяющие его использование в различных приложениях, и соответствующие им методы монтажа. Целесообразно рассматривать каждый метод по следующим параметрам, чтобы выявить уместность их применения в тех или иных случаях:

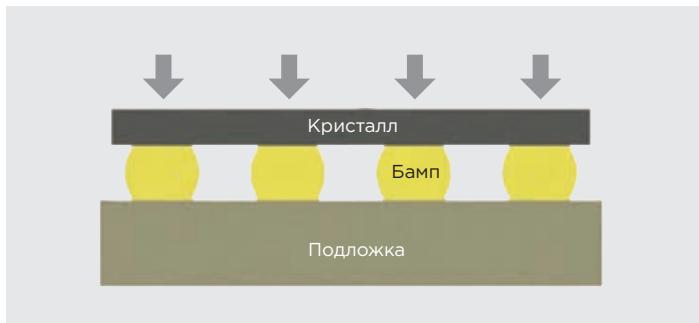
- предельная плотность матрицы контактов: минимальный размер бампа, минимальное расстояние между бампами;
- надежность соединения: устойчивость к перепадам температуры, влияние на качество контакта дефектов геометрии бампа и смещений в процессе монтажа;
- материал матрицы контактов подложки;
- требования к процессу монтажа: требуемая точность, давление на кристалл, наличие флюса;
- сложность создания матрицы контактов на кристалле: количество технологических этапов при ее формировании, скорость монтажа бампов, надежность монтажа бампов.

Рассмотрим наиболее распространенные на текущий момент методы бампирования и монтажа кристаллов.

Золотые бампы (*gold stud bumps*)

Бампы из золота являются наиболее простой для освоения технологией *Flip-Chip* монтажа на текущий момент. Для бампирования применяется оборудование, конструкционно схожее с оборудованием для УЗ-микросварки методом шарик-клип с тем лишь принципиальным отличием, что после формирования шарика хвост проволоки обрывается, не формируя вторую точку контакта.

Типичная геометрия бампа – это конус с остатком обрванной проволоки на его конце, что является характерным следствием использования типичных для установок УЗ-микросварки капилляров. В ряде случаев подобный «хвост» является недопустимым, и применяют операцию



4

Иллюстрация термокомпрессионного Flip-Chip монтажа

с общеупотребительным названием «coining», по сути расплющивая дефекты в верхней части бампа и приводя его геометрию к более симметричной (рис 3). Характерный размер шарика при его оплавлении в капилляре в 2-3 раза больше диаметра используемой проволоки, поэтому практическим пределом размера бампа является $\sim 50\text{-}60$ мкм с типичным в данном случае шагом матрицы бампов в $\sim 90\text{-}100$ мкм.

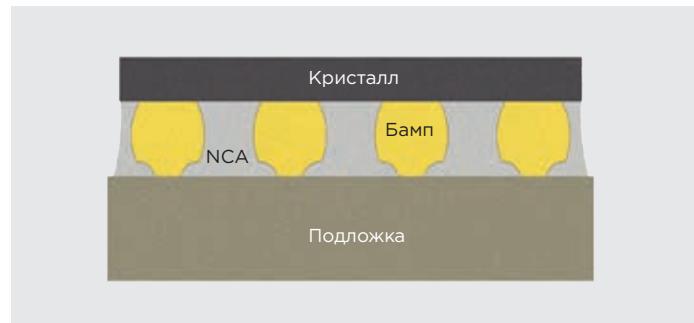
Для технологии gold stud bumping существует широкий спектр допустимых материалов контактных площадок подложки в зависимости от типа монтажа. Этот диапазон обеспечивается тем, что золото является физическим инертным материалом, и отсутствие оксидной пленки на его поверхности исключает необходимость применения флюса и иной существенной химической обработки бампов перед монтажом. Это позволяет широко использовать данный метод в лазерных устройствах, где крайне нежелательно применение флюса. Последовательно рассмотрим каждый из методов монтажа.

Термокомпрессионный монтаж

Данному методу в большинстве случаев соответствует золото в качестве материалов контактных площадок. В процессе монтажа матрицы площадок и бампов разогреваются до типичных для данного метода температур ~ 350 С, и при контакте золота к золоту применяется усилие, обеспечивающее взаимное проникновение материалов матриц (рис 4). Далее, при необходимости, выполняется подзаливка подкристального пространства (underfill) высокотекучим kleem, чтобы обеспечить более устойчивое физическое крепление кристалла, а также улучшить теплопроводящие параметры устройства.

Термозвуковой монтаж

В случае, когда термокомпрессионное усилие и/или температура нагрева являются чрезмерными, близкой альтернативой становится монтаж с приложением ультразвука для стимуляции процесса создания сварного соединения. Поперечные смещения кристалла на единицы микрометров в процессе монтажа локально разогревают точки контакта, тем самым уменьшается необходимое давление на кристалл и температура нагрева материалов. Однако



5

Иллюстрация Flip-Chip соединения с использованием непроводящего адгезива

такой способ не может считаться однозначно лучшей альтернативой термокомпрессии, так как УЗ-колебания также создают риск повреждения кристалла при монтаже. Основная сложность – выбор инструмента захвата кристалла, обеспечивающего передачу УЗ-колебаний, не нанося при этом критических повреждений интегральной схеме.

Монтаж на непроводящий адгезив

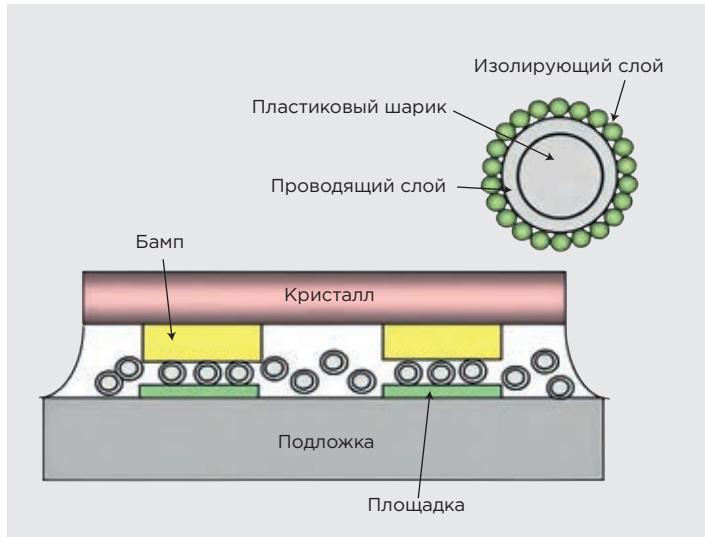
При использовании данного метода контакт кристалла с подложкой обеспечивается, в первую очередь, не сварным соединением контактов, но непроводящим адгезивом (NCA), предварительно нанесенным на матрицу контактов подложки. Кристалл продавливается сквозь адгезив до момента обеспечения электрического контакта (рис 5), и после полимеризации клея электрическое и физическое соединение кристалла с подложкой становится стабильным. В данном случае предпочтительна плоская геометрия бампа для увеличения потенциальной площади контакта бампа с площадкой.

Такой метод, по сути, снимает необходимость проведения процесса underfill, существенного нагрева кристалла в процессе монтажа, работ с флюсом и иных технически сложных операций. Однако очевидным образом возникают проблемы как с качеством электрического контакта, так и с его надежностью, более низкой относительно сварного соединения особенно после многих циклов термоциклирования.

Монтаж на анизотропный проводящий адгезив

Модификацией метода выше является монтаж с использованием клея, в составе которого относительно разреженно распределены частицы из проводящего материала (ACA). Подобный адгезив, соответственно его названию, обеспечивает в местах приложения давления проводимость по оси Z, не допуская прохождения тока по осям XY. Проводящие частицы при монтаже оказываются между бампом и площадкой, и за счет приложенного давления обеспечивают между ними электрический контакт (рис 6).

Данный метод несколько увеличивает качество и надежность электрического контакта. Неизбежной издерж-



6

Иллюстрация Flip-Chip соединения с использованием анизотропного адгезива

кой становится использование более дорогого и сложного адгезива с высокими требованиями к его качеству и техническим параметрам.

Монтаж на изотропный клей

Диаметрально отличным способом в случае Flip-Chip монтажа с использованием адгезива является нанесение проводящего клея на каждую отдельную контактную площадку подложки (рис 7). Бамп при монтаже кристалла в таком случае имеет существенно большую эффективную площадь электрического контакта с площадкой, при этом всё еще обеспечивается механическое сцепление кристалла с подложкой.

Ключевой сложностью данного метода является наложение предельно малых доз клея на площадки, исключая при этом короткое замыкание между ними как до, так и после размещения на них бампов. Существует ряд технических решений, позволяющих обеспечивать требуемую точность дозирования, будь то трафаретная печать, матричное штемпеливание или каплеструйное дозирование токопроводящего клея. Однако это остается сложной технологической задачей, особенно с уменьшением размера бампов и расстояния между ними.

Область применения технологии gold stud bump

Ключевыми особенностями данного метода бампирования являются дешевизна оборудования, необходимого для старта освоения технологии, а также относительно высокая плотность контактов. Отсутствие необходимости использования флюса при монтаже также упрощает производственный процесс устройства.

Но есть существенный недостаток данного метода – относительно большое давление на кристалл в процессе монтажа независимо от того, будет это тер-



7

Иллюстрация Flip-Chip соединения с использованием изотропного адгезива

мокомпрессионный монтаж или монтаж на адгезив. Нестабильную геометрию бампа и сложности в обеспечении надежного электрического контакта тоже следует принимать во внимание. Также важно, что матрица бампов наносится последовательно, один за другим, превращая бампирование одной пластины в крайне продолжительный процесс, что ограничивает масштабируемость этого технологического этапа.

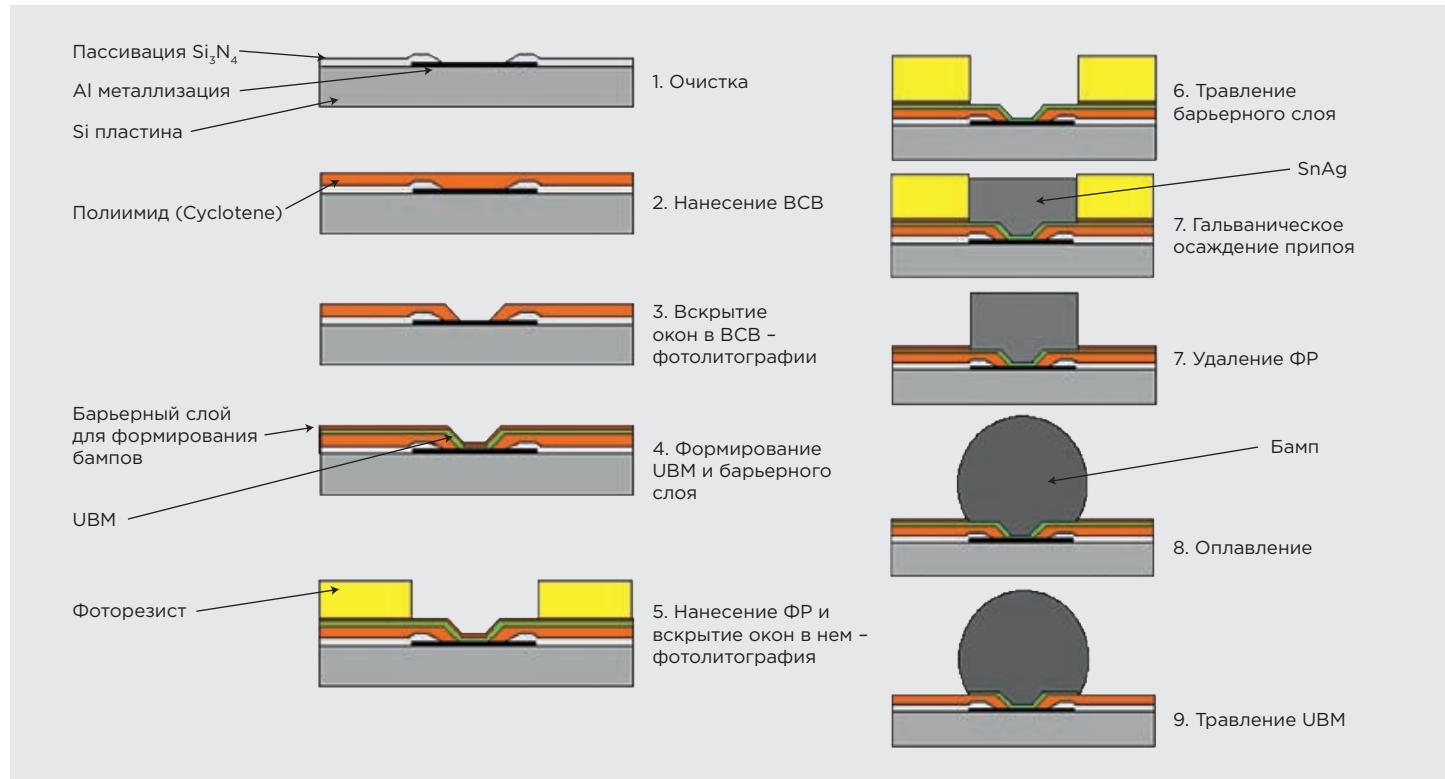
Все это определило основной областью для этой технологии производство лазерных и оптических устройств, в которых использование флюса крайне нежелательно, применение ультратонких кристаллов не повсеместно, а значит приложение большого усилия в процессе монтажа не является критичным препятствием. Эта технология также популярна в опытном и мелкосерийном производстве, для которых существенным ограничением являются стоимость необходимого оборудования.

Бампы шариков припоя типа C4

Припойные бампы (т.н. тип C4 – Controlled Collapse Chip Connection) являются первым методом создания матрицы контактов, нашедшей свое массовое применение в изготовлении коммерчески успешных ПЛИС. Материалами могут выступать припой типов PbSn, SnAg, SnCu, InSn, AuSn и др. Характерными размерами бампов типа C4 являются 75-200 мкм в диаметре. Таким образом, минимальный шаг матрицы ограничен значениями в ~120 мкм.

Методы формирования матрицы контактов

Основным методом нанесения служит гальваническое осаждение свинцового или бессвинцового припоя поверх слоя подбамповой металлизации (UBM – under bump metallization), чаще всего на основе Ti / TiW-Cu, сквозь маску из фоторезиста с характерной толщиной ~40 мкм. После нанесения припоя и снятия фоторезиста матрица бампов оплавляется в контролируемой среде, приобретая характерную шарообразную форму (рис 8). Эта технология позволяет за один производственный цикл произвести бампирование по всей площади пластины.



8

Укрупненный технологический процесс нанесения UBM и матрицы припойных выводов

Альтернативные и относительно распространенные методы нанесения C4-бампов – это магнетронное осаждение, трафаретная печать и последовательный лазерный монтаж.

Магнетронное нанесение является более медленной и более ограниченной в спектре материалов альтернативой гальваническому осаждению. Необходимость последовательного осаждения тонких слоёв двух металлов для создания эвтектического соединения (напр. AuSn), более медленная скорость роста плёнок – всё это определяет использование данной техники только при невозможности внедрения в производство гальванического метода.

Трафаретная печать предполагает поэтапное заполнение окон в литографической маске припойной пастой. Понеследовательной многократной печатью поверх слоя UBM формируются столбики из паяльной пасты, которые после снятия фоторезиста оплавляются аналогично стандартным гальваническим C4-бампам. Этот метод также менее требователен к оснащенности производственной линии, однако относительно стандартного гальванического метода трафаретная печать как делает более затруднительным формирование бездефектной матрицы без замыканий между соседними контактами, так и даёт меньшее соотношение между высотой бампа и шагом матрицы.

Метод последовательного лазерного осаждения, ведущим разработчиком которого является компания PacTech, является дешевой альтернативой гальванике в нише мелкосерийного производства. Предварительно изготовленные шарики припоя необходимого диаметра после-

довательно помещаются в сопле установки в процессе бампирования. Интегрированный в сопло лазерный источник расплавляет шарик, а поток инертного газа выдувает его в направлении площадки на пластине, окружая его в процессе полёта защитной от окисления средой. Такой метод позволяет обходиться минимальным количеством технологических этапов для создания матрицы контактов на кристалле. Но очевидным недостатком, делающим этот метод нецелесообразным в массовом производстве, является последовательный характер нанесения, что, как и в случае золотых контактов, делает бампирование узким и трудномасштабируемым этапом при большой серии.

Метод монтажа

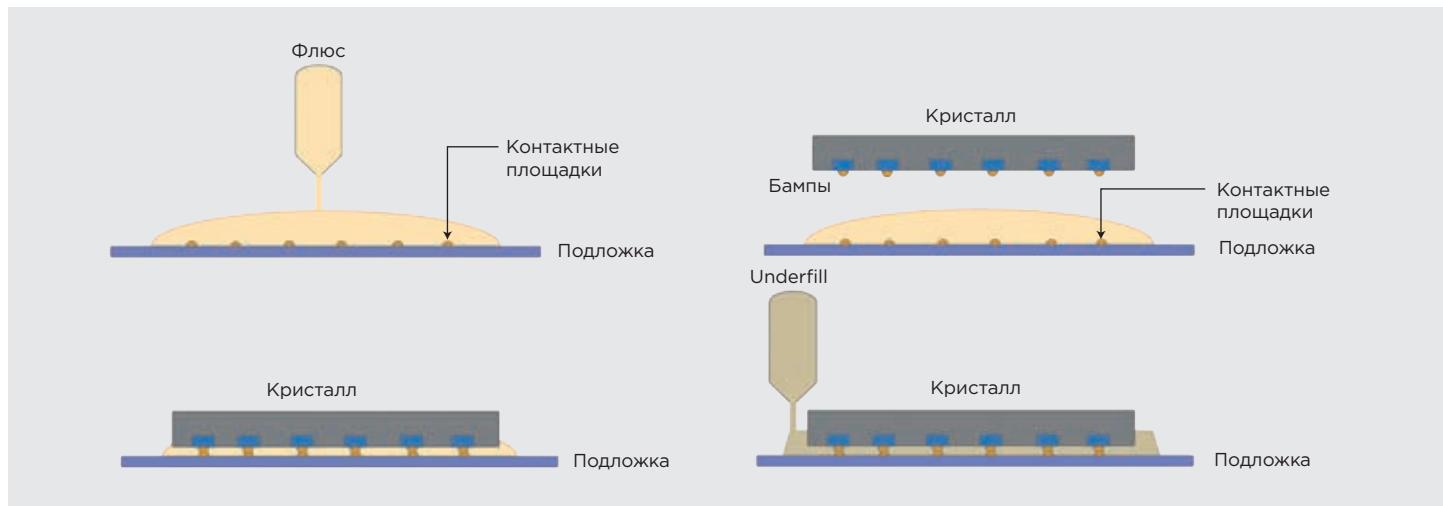
Основной применяемый на текущий момент метод монтажа кристаллов с матрицей контактов данного типа состоит из следующих этапов (РИС 9):

Флюсование матрицы контактов

После переворота кристалла матрица контактов опускается в тонкий слой флюса, обволакивающего каждый бамп в отдельности непосредственно перед размещением на подложке. Альтернативный метод – нанесение слоя флюса непосредственно на подложку.

Монтаж на подложку

Кристалл совмещается с зеркальной ей матрицей площадок подложки и временно закрепляется на ней за счет преднанесенного флюса.



9

Типичный процесс Flip-Chip монтажа с нанесением флюса на подложку

Оплавление припоя

Подложка помещается в печь для оплавления шариков припоя и их крепления к матрице kontaktов.

Отмыкация подложки от флюса

Подкристальное пространство очищается от остатков флюса на контактах по аналогии со стандартной процедурой отмыки печатных плат при, например, монтаже электронных компонентов на плату.

Подзаливка подкристального пространства

Заполнение адгезивом пространства между кристаллом и подложкой улучшает механическое соединение и повышает теплопроводимость устройства.

Важная особенность бампов типа C4, отраженная в его названии, – это способность к самовыравниванию на этапе оплавления припоя. Матрица под воздействием разницы сил поверхностного натяжения смещается к площадкам на подложке, даже если перед этим при монтаже было допущено смещение их относительно друг друга.

Область применения

Способность к самовыравниванию, малое механическое воздействие на кристалл при монтаже, возможность параллельного нанесения бампов по всей пластине – существенные преимущества относительно технологии золотых бампов. Это определило широкое применение технологии при производстве многовыводных вычислительных устройств, предполагающих большое количество контактов и малые толщины кристалла, не допускающие грубых методов монтажа при корпусировании.

Стоит отметить, что применение припойных шариковых бампов на основе AuSn позволяет использовать C4-метод и в производстве лазерных компонентов без использования флюса.

Припойные бампы стали повсеместно использоваться при корпусировании ПЛИС как компактная и удобная

альтернатива проволочным выводам. Это дало толчок к дальнейшему развитию таких методов компоновки, как «система в корпусе» (SiP – System in Package) и «система на кристалле» (SoC – System on Chip), а также сделало возможным появление методов «корпусирование на уровне пластины» (WLP – wafer level Packaging) и иные способы вертикальной интеграции ИС в рамках одного устройства.

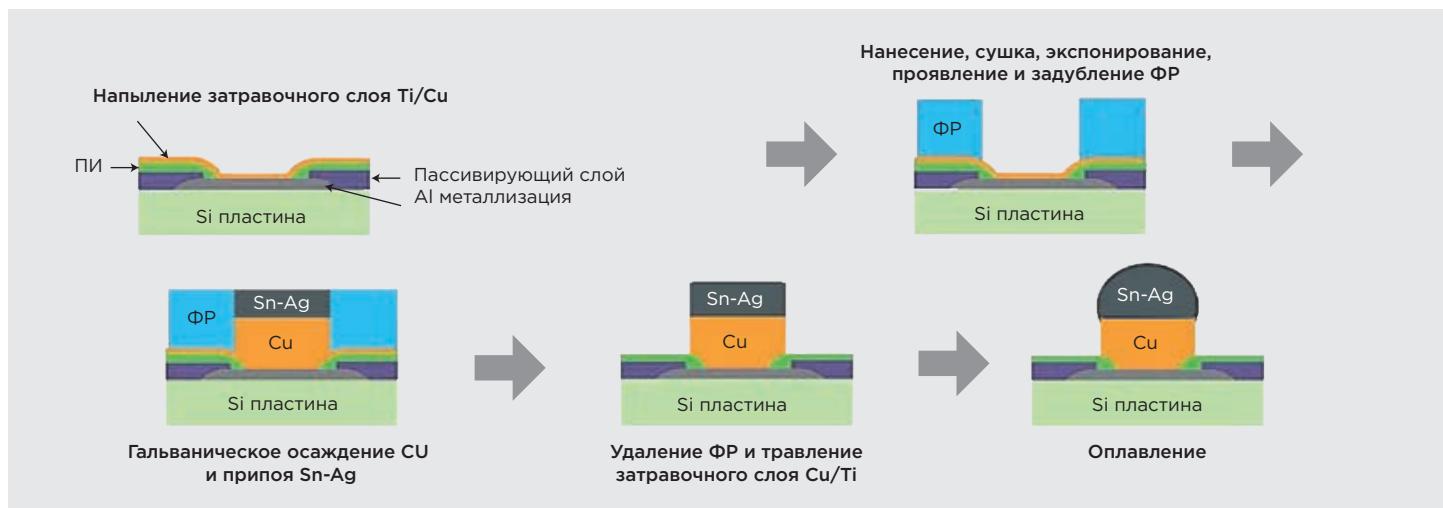
Однако низкая предельная плотность контактов (не более ~ 120 мкм) стала основанием для перехода данной технологии на следующий этап.

Медно-припойные бампы типа C2

С целью уменьшения шага матрицы бампов по мере все увеличивающихся требований к компактности изделий и количеству размещаемых выводов была разработана технология размещения шапки припоя на столбике из меди (copper pillar bump) с промежуточной Ni-металлизацией для защиты от диффузии материалов с образованием соединений Cu₃Sn и Cu₆Sn₅, разрушающих бампы. Матрица контактов изготавливается по той же процедуре, что и гальваническое осаждение бампов типа C4, с разницей лишь в наличии этапов осаждения меди и никеля перед нанесением припоя (рис 10, 11).

Наиболее продвинутой разновидностью данного метода является монтаж кристалла на матрицы медных столбиков с припойной шапкой (Cu Pillar/SAC305 или Cu Pillar/PbSn), и она предпочтительна при проектировании ПЛИС как при стандартном процессе Chip-on-Substrate, так и при 2,5D/3D-интеграции компонентов при процессах Chip-on-Wafer (CoWoS) и даже Wafer-on-Wafer (W2W).

Данная технология позволяет добиться существенно меньших относительно типа C4 размеров бампов (~ 25 мкм в диаметре) с меньшим шагом в ~ 40 мкм и более высокой теплопроводимости (~ 400 Вт/м \cdot К для меди к ~ 60 Вт/м \cdot К для PbSn). Однако свойство самовыравнивания становится неактуальным для бампов типа C2 из-за меньших размеров шапки припоя и другого типа площадки на кристалле.



1 0

Укрупненный технологический процесс нанесения UBM и матрицы медно-припойных выводов

Это определяет ряд особенностей процесса монтажа для данных кристаллов.

Методы монтажа

Для медно-припойных бампов всё так же актуальна процедура монтажа кристаллов, типичная для припойных бампов C4. Однако меньший шаг между бампами и отсутствие эффекта самовыравнивания определяет повышенные требования к точности монтажа кристаллов на подложку. Если для матрицы бампов на основе припоя в большинстве случаев достаточно постмонтажной точности в диапазоне 7-10 мкм, то для медно-припойных бампов требуется обеспечить точность монтажа примерно 3 мкм, что доступно лишь наиболее продвинутым единицам оборудования.

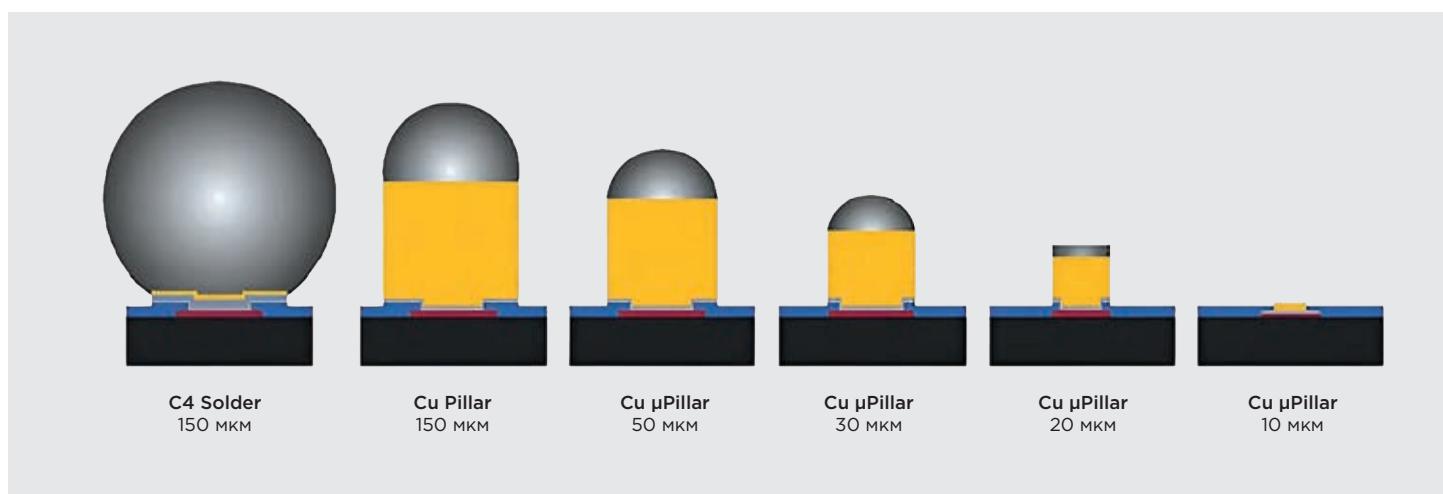
Сложности подобного рода, особенно риск относительного смещения матриц бампов и контактов перед оплавлением, побуждают к использованию термокомпрессионного метода монтажа как равноправной альтернативы.

Кристалл при данном методе монтируется сквозь слой преднанесённого на подложку NCA. Таким образом, бамп механически цепляется за подложку уже на этапе размещения на ней, и дальнейшая процедура полимеризации адгезива также окончательно оплавляет бамп для сцепления с площадкой.

Недостаток данного метода – это невозможность отмыки бампов от флюса после монтажа, что неизбежно ухудшает электрические характеристики соединений и создаёт дополнительные риски при длительной эксплуатации изделий. Однако такой метод считается наиболее перспективным для дальнейшего развития данной технологии. В планах ведущих мировых компаний заявляется разработка методов бампирования и монтажа пластин с характерным размером бампов в ~10 мкм.

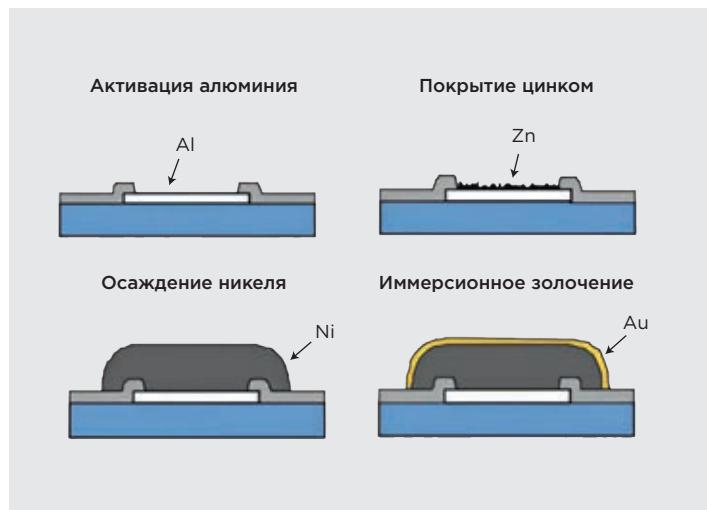
Области применения

Предельная на текущее время плотность размещения бампов позволяет разработку высокointегрированных



1 1

Различные типы бампов с использованием припоя



1 2

Процесс формирования никелевого бампа методом жидкостного химического осаждения

электронных компонентов по технологиям Chip-to-Wafer для 2,5D интегрированных сборок и Wafer-to-Wafer для 3D-интегрированных сборок в современных вычислительных устройствах. Высокая плотность контактов дает возможность размещать в одном корпусе множество различных кристаллов, объединенных с использованием промежуточного носителя – интерпозера. При этом относительно метода Package-on-Package сохраняется достаточная компактность устройств по оси Z.

Никелевые бампы

Еще одной бюджетной альтернативой гальваническому нанесению бампов является технология жидкостного химического осаждения, не требующая гальванического и литографического оборудования. На предварительно активированные контактные площадки на кристалле через промежуточное покрытие наносится слой металла (преимущественно никеля) с внешним иммерсионным золотым покрытием для защиты от окисления и улучшения паяемости (рис 1 2).

Таким образом, никелево-золотые бампы становятся аналогом метода gold stud bump, при этом позволяя проводить бампирование одновременно по всей площади пластина вплоть до 300 мм, что недоступно в случае использования золотых бампов. Для такой матрицы контактов в той же степени актуальны процессы монтажа на непроводящий или анизотропный адгезив, допустим эвтектический монтаж на припойные площадки на подложке. Однако при таком методе бампирования существенным ограничением является малое соотношение высоты бампа к его диаметру в силу анизотропного характера осаждения никеля.

Заключение

На текущий момент большинство микроэлектронных устройств всё так же корпусируется с использованием

технологии wire bonding. Гибкость, относительная дешевизна и простота в освоении определяют его использование при производстве всех основных типов электронных компонентов.

Современные вычислительные устройства, имеющие в своем составе множество специализированных СБИС, требуют компактного и эффективного соединения её составных частей. При корпусировании ПЛИС, оптических, СВЧ- и иных типов устройств в определенных случаях возникает необходимость поиска альтернативы микропроволочным соединениям, и метод перевернутого кристалла становится основной ему заменой.

Выбор конкретного типа Flip-Chip корпусирования определяется не только расчетными электрическими и габаритными параметрами устройства, характеристиками кристаллов и подложек, областью применения устройства, но и предполагаемыми объемами производства и удельной стоимостью каждого электронного компонента. С учетом накопленного за десятилетия научного и производственного опыта по технологии Flip-Chip для производителей электроники в большинстве случаев есть выбор из нескольких допустимых методов корпусирования. □

Использованные материалы

1. Davis E., Harding W., Schwartz R., Corning J. Solid Logic Technology: Versatile, High Performance Microelectronics // IBM Journal of Research and Development. 1964. Vol. 8.
2. Классификация основных технологий «флип-чип» для использования в современных системах в корпусе / А. Хохлун, С. Чигиринский, к. т. н. / <https://industry-hunter.com/baza-znaniy/klassifikacia-osnovnyh-tehnologij-flip-cip-dla-ispolzovaniya-v-sovremennyh-sistemah-v-korpuse>
3. Wire Bond vs Flip Chip: 7 Differences / <https://techleivated.com/wire-bonding-vs-flip-chip-differences/>
4. Gold Stud Bumps in Flip-chip Applications // Jerry Jordan // <https://www.microwavejournal.com/articles/3622-gold-stud-bumps-in-flip-chip-applications>
5. Kim S. C., Kim Y. H. Flip chip bonding with anisotropic conductive film (ACF) and nonconductive adhesive (NCA) // Current Applied Physics. – 2013. – Т. 13. – С. S14-S25.
6. Flip Chip: The Ultimate Guide // <https://anysilicon.com/flip-chip/>
7. Liu S. et al. Inhibiting effects of the Ni barrier layer on the growth of porous Cu₃Sn in 10-μm microbumps // Journal of Materials Science: Materials in Electronics. – 2021. – Т. 32. – №. 13. – С. 17655-17661
8. A review on numerical approach of reflow soldering process for copper pillar technology / The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 121(7-8), August 2022
9. Zabel E., Teutsch T., Blankenhorn R. process makes electroless Nickel/Gold wafer bumping economical for flip-chip packaging // Chip Scale Rev. – 2003. – С. 67-71.



ЧУДЕС НЕ БЫВАЕТ, А ВИРТУОЗНАЯ ТЕХПОДДЕРЖКА БЫВАЕТ

Наши специалисты ежедневно решают десятки технических задач разной степени сложности. Мы консультируем наших клиентов по телефону и почте, через мессенджеры и конференцсвязь. Мы мобильны и при необходимости быстро выезжаем на производство. Решения, найденные для одного клиента, становятся бесценным опытом для многих. Так наши компетенции и умения множатся из года в год – благодаря вам и для вас.

Ответить на любой вопрос до того, как он станет проблемой, – наша главная задача.

> 700

технико-технологических задач решаем ежегодно

> 50

запусков и отладок технологических процессов у заказчиков выполняем за год

16

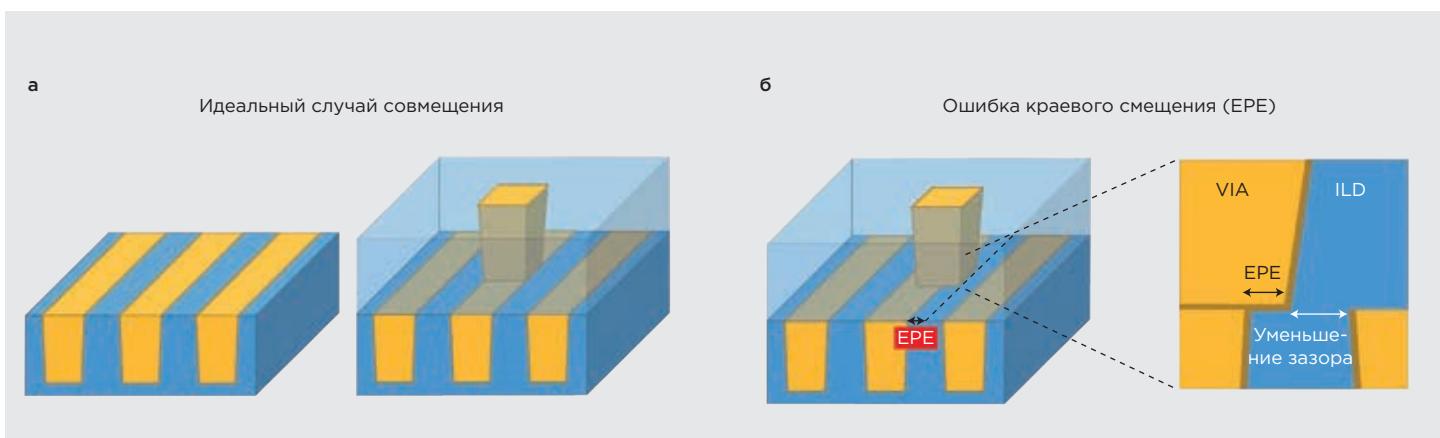
технологических процессов производства электроники и микроэлектроники, в которых компетентны наши инженеры-технологи

Полностью самовыравни- вающиеся переходные отверстия с применением метода зонально-селективного атомно-слоевого осаждения

Текст: Алексей Симонов

”

С уменьшением проектных норм производства, начиная с 45 нм, одним из критично важных вопросов становится выравнивание и совмещение отверстий (vias) и линий (trenches) при формировании межслойных металлических соединений на конечных этапах производства (BEOL, Back-end-of-line). Возможное решение – применение полностью самовыравнивающихся отверстий с использованием метода зонально-селективного атомно-слоевого осаждения.



1

Примеры совмещения структур: (а) идеальный случай совмещения межслойных структур, (б) пример ошибки краевого смещения (EPE) структур

Метод селективного осаждения на определенные области структур был предложен ведущими производителями оборудования (Applied Materials, TEL, Lam Research) и разработчиками технологии (IMEC, KU Leuven) и обсуждался на многочисленных конференциях. Использование полностью самовыравнивающихся отверстий (Fully self-aligned vias, FSAV) потенциально может стать инструментом для реализации и широкого развития технологии зонально-селективного атомно-слоевого осаждения (Area-selective atomic layer deposition, AS ALD) в полупроводниковом массовом производстве, как в свое время применение диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью (High-k dielectric) дало толчок к массовому применению систем ALD в целом. Как только процесс атомно-слоевого осаждения был внедрен в массовое крупносерийное полупроводниковое производство для осаждения затворного оксида с высокой диэлектрической проницаемостью, начиная с проектных норм 45 нм, он был также применен для многих других слоев в последующих проектных нормах (32 нм и ниже). Возможно, аналогичное развитие событий можно ожидать и для зонально-селективного атомно-слоевого осаждения.

Несмотря на то, что в настоящее время селективное осаждение на определенные области применяется для осаждения слоя кобальта на медные контакты, процессы зонально-селективного ALD еще предстоит внедрить и для других операций при крупносерийном производстве. Все еще остается несколько открытых вопросов относительно того, что необходимо для внедрения зонально-селективного ALD в полупроводниковой промышленности:

- Какие материалы являются наиболее подходящими для разработки зонально-селективных процессов ALD?
- К какой целевой толщине следует стремиться при формировании слоев?
- Какие материалы следует использовать в качестве поверхностей для осаждения?
- Какая толщина слоя допустима для осаждения на участке, где не должен происходить рост пленки?

Ответы на эти вопросы в значительной степени зависят от возможности крупносерийного применения, а это означает, что в настоящее время неясно, к каким именно параметрам стремиться. Однако теперь, когда структуры FSAV привлекают все большее внимание, можно рассматривать метод селективного ALD для данного применения.

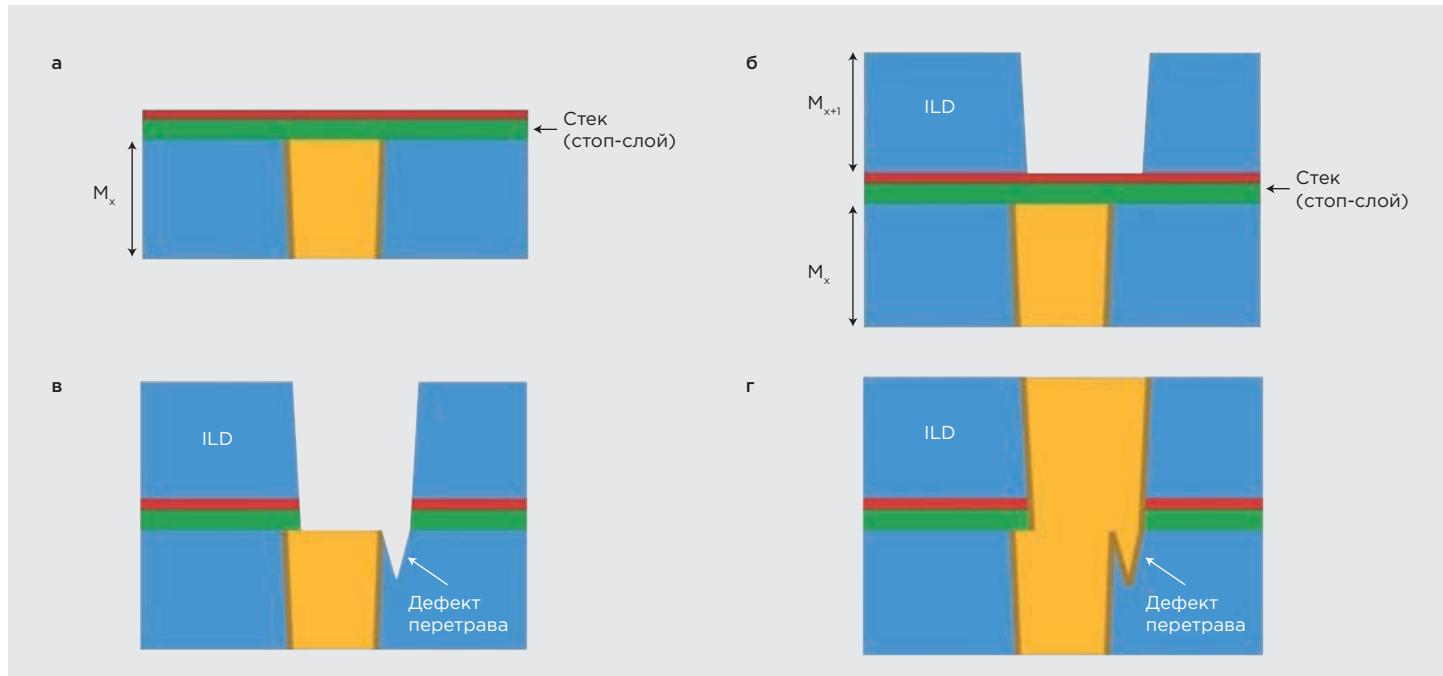
В чем суть и проблема совмещения отверстий при формировании межслойных металлических соединений?

На конечных этапах современного производства межслойных соединений (BEOL) все большей проблемой становится не столько уменьшение топологических размеров структур, сколько четкое выравнивание металлических отверстий и линий разных слоев относительно друг друга.

Как показано на РИС 1а, в идеальном случае межслойное сквозное соединение слоя M_x должно быть нанесено точно в нужном месте на металлическую линию, расположенную на слое M_{x-1} . Однако на практике обычно возникает ошибка краевого смещения (Edge placement error, EPE), которая определяется как расстояние между предполагаемым и фактическим положением края элемента, РИС 1б. Можно предположить, что EPE составит ~ 2 нм, учитывая точность совмещения в 2,0 нм при EUV-литографии. Однако это значение является относительно большим, учитывая типичные диаметр отверстий и ширину линий порядка 10-15 нм с шагом между структурами менее 30 нм.

Появление краевого смещения при формировании межслойных соединений имеет ряд негативных последствий для производительности, надежности и долговечности конечного устройства:

- Если межслойное отверстие из-за смещения располагается слишком близко к следующей металлической линии, со временем может возникнуть короткое замыкание (вызванное электрическим



2

Процесс формирования переходного отверстия: (а) формирование стоп-слоя, (б) формирование рисунка в слое ILD M_{x+1} , (в) открытие слоя M_x (шаг Punch-Through), (г) заполнение отверстия металлом

полем), которое часто описывается термином «time-dependent dielectric breakdown (TDDB)».

- Кроме того, близость к соседней металлической линии приводит к увеличению емкости между соединением via и trench.
- EPE также уменьшает площадь контакта между металлами слоев N и N-1, тем самым увеличивая контактное сопротивление.
- Более высокие емкость и сопротивление в совокупности приводят к увеличению RC-задержки, т.е. времени, необходимого для переключения транзисторных структур.
- Уменьшенная площадь контакта структур и смещение также снижают надежность за счет повышения риска электромиграции в межслойном диэлектрике (ILD), что также может привести к выходу конечного устройства из строя.

Вышеперечисленные последствия краевого смещения при производстве межсоединений в настоящее время ограничивают дальнейшее уменьшение размеров полупроводниковых устройств.

На рис. 2а-г показаны детали технологического маршрута формирования межслойных соединений. В случае краевого смещения появляется дополнительная проблема. На первом шаге (рис. 2а) формируется специальный стек, равномерно осаждаемый на слой M_x при использовании метода ALD. Данный стек формируется как диффузный барьер для меди из нижележащего слоя, а также используется в качестве стоп-слоя при травлении в последующих шагах. Далее наносится межслойный диэлектрик (ILD) слоя M_{x+1} , на котором

впоследствии при помощи литографии формируется необходимый рисунок, а далее проводится сухое травление до стоп-слоя. В результате получается структура, схематично показанная на рис. 2б.

Поскольку специальный стек состоит из диэлектрических материалов, его необходимо частично удалить перед нанесением металла слоя M_{x+1} , чтобы обеспечить электрический контакт между via слоя M_{x+1} и металлической линией слоя M_x . Этот шаг называется открытием via или шагом Punch-Through и показан на рис. 2в. Этап Punch-Through выполняется с использованием процесса анизотропного сухого травления. В случае наличия краевого смещения на этом этапе будет также локально травиться межслойный диэлектрик слоя M_x . Впоследствии при осаждении металла в протравленные структуры слоя M_{x+1} происходит осаждение в области локального перетрава слоя M_x ILD, что приводит к так называемому «дефекту зуба» (рис. 2г). Этот дефект усугубляет вышеупомянутые негативные последствия EPE, поскольку еще больше увеличивает близость к соседним металлическим линиям.

Рассмотрим разные варианты решения проблемы краевого смещения структур.

Самовыравнивающиеся отверстия при помощи метода формирования углубления в металлических структурах

Одним из решений вышеупомянутых ограничений является создание дополнительного рельефа, например, путем травления углублений в металлических

слоях (Metal recess etching). Как показано на РИС 3а-б, даже если рисунок via нанесен точно в заданном месте (с EPE ~ 2 нм), травление углублений в металлических структурах слоя M_x приводит к увеличению расстояния между изготовленными via и соседними металлическими линиями. Увеличенное расстояние повышает надежность устройства и уменьшает задержку RC-сигнала.

Кроме того, данная схема формирования FSAV позволяет создавать переходные отверстия с увеличенными критическими размерами (CD) (РИС 4). Увеличение размера CD гарантирует максимальную площадь контакта, что выгодно с точки зрения электромиграции и контактного сопротивления.

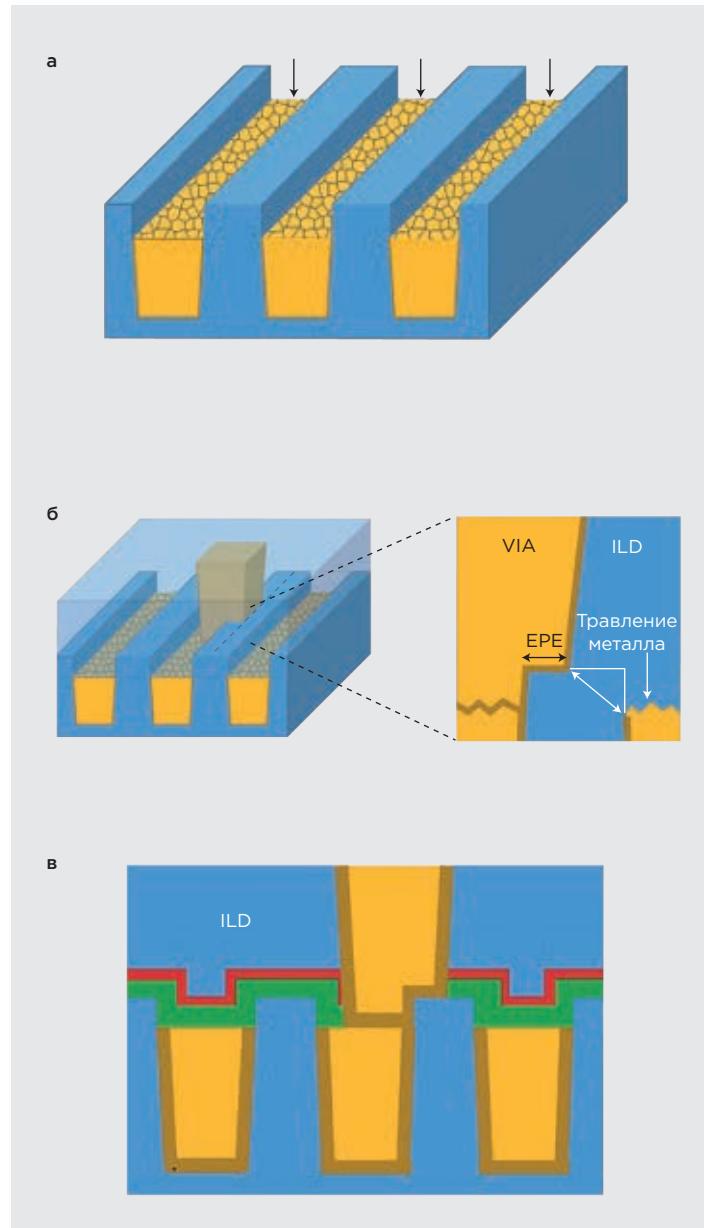
Данная схема FSAV, основанная на травлении углублений в металлических слоях, требует специального процесса травления для создания рельефа. Однако известно, что травление слоя Cu является сложной задачей (именно поэтому в массовом производстве была разработана и применена схема damascene). Для проведения процесса травления меди (Cu recess) в IMEC рассматривался метод травления углублений, основанный на окислении металла с использованием раствора H_2O_2 с последующим травлением CuO_x с использованием раствора, содержащего HF. Необходимо также обратить внимание, что барьерный слой (например, TaN) и его подслой (Ta) на стенках также должны быть протравлены.

Было выявлено несколько других проблем, связанных с данной схемой. При использовании жидкостного химического травления трудно прецизионно контролировать глубину травления. Кроме того, металлические зерна и границы зерен травятся с разной скоростью, что приводит к образованию относительно шероховатой поверхности. И, наконец, дефекты перетрава ILD не предотвращаются окончательно, а лишь смягчаются за счет создания рельефа ступеньки. Эти трудности с процессом Cu recess побуждают к изучению альтернативных схем FSAV, например, основанных на применении процесса зонально-селективного ALD.

Самовыравнивающиеся отверстия, основанные на применении процесса зонально-селективного атомно-слоевого осаждения

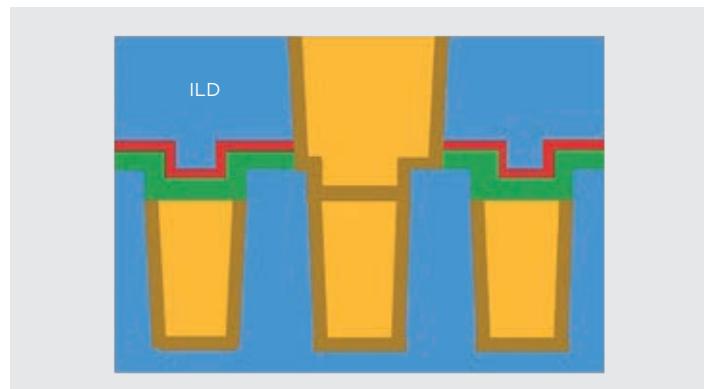
Селективное атомно-слоевое осаждение (Area-selective ALD) может быть применено для выборочного осаждения дополнительного барьерного слоя на участки межслойевого диэлектрического слоя ILD (РИС 5а-б).

Применение данного метода формирования FSAV создает рельеф, эквивалентный рельефу, получаемому с помощью травления углублений в металлических слоях. Но он обладает лучшим контролем толщины барьера, при этом отсутствует шероховатость металлического слоя, которая возникала при жидкостном травлении. Кроме того, селективный по площади ALD



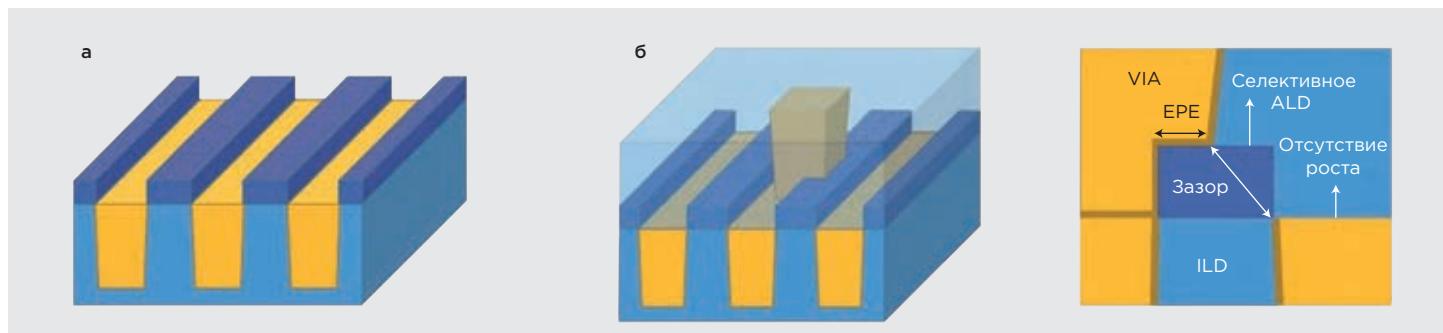
3

Метод формирования углубления в металлических структурах:
 (а) травление металла слоя M_{x+1} (Recess etch), (б) увеличение зазора в межслойном диэлектрике, (в) сформированное соединение с увеличенным зазором



4

Увеличение критических размеров переходных отверстий



5

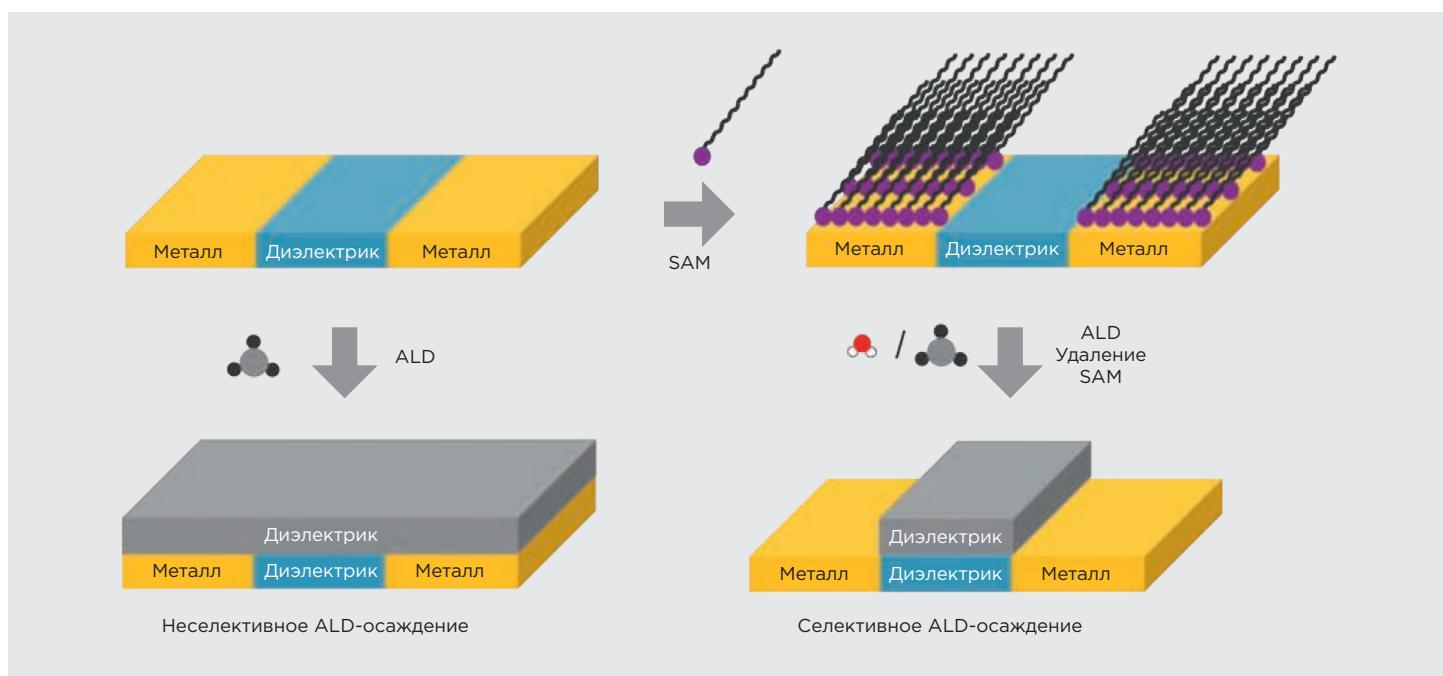
Метод зонально-селективного ALD: (а) селективный ALD-процесс осаждения диэлектрического слоя, (б) формирование дополнительного диэлектрического зазора для межслойного диэлектрика

позволяет осадить дополнительный диэлектрический барьер, состоящий из материала, отличного от оксида, легированного углеродом (Carbon-doped oxide, CDO), который обычно используется в качестве слоя ILD, что потенциально полезно для предотвращения образования дефектов перетрава. Этот подход будет более подробно описан ниже.

Как правило, зонально-селективный ALD использует различия в химическом составе поверхности для осаждения материала только в определенных областях пластины. В случае формирования полностью самоуравнивающихся переходных отверстий необходим процесс ALD, который приводит к осаждению только на слой ILD (т.е. CDO) в качестве зоны роста, без нанесения покрытия на металлические области. Другими словами, требуется селективный по площади процесс ALD для нанесения диэлектрика на диэлектрик (Dielectric-on-Dielectric ALD, DoD) с металлом в качестве области, не подверженной росту. Для обеспечения селектив-

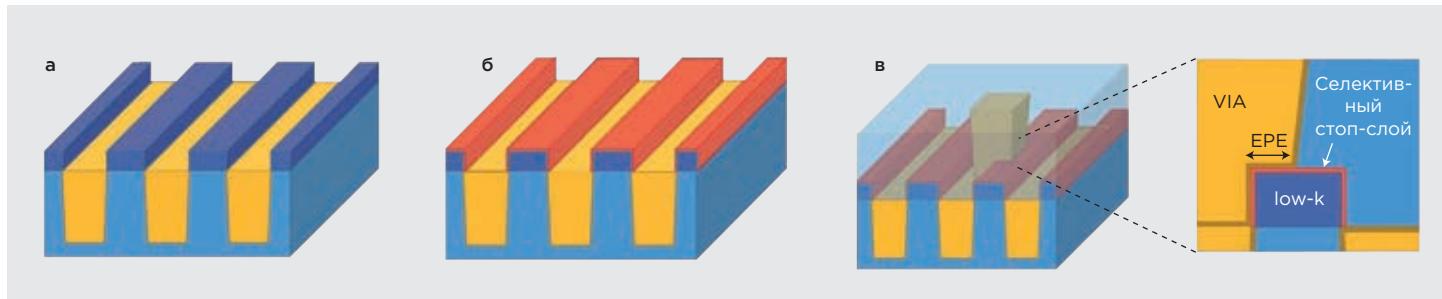
ного DoD ALD на первом шаге возможно формирование самокомпонуемого монослоя (SAM) для блокирования роста на металлических поверхностях. Схематичное изображение сравнения селективного DoD и неселективного ALD-процессов показано на РИС 6.

Поскольку в настоящее время технология межслойной металлизации изменяется, и применяются различные стеки металлов, предметом обсуждения является вопрос о том, какой металл использовать для области, неподверженной ALD-осаждению. Прежде всего, нужно ли рассматривать слои Cu, Co, W или, возможно, даже Ru в будущем. В то время как Intel и TSMC обширно внедряют Co для нижних металлических слоев, остается вопросом, последует ли их примеру остальная полупроводниковая промышленность и нужно ли рассматривать только нижние слои. Однако даже при выборе Cu в качестве основного материала металлизации мы все равно можем захотеть сосредоточить наше внимание на блокировке



6

Схематичное сравнение селективного DoD и неселективного ALD процессов



7

Альтернативная схема FSAV с применением стека из low-k диэлектрика и стоп-слоя: (а) селективный ALD-процесс осаждения диэлектрического слоя с низкой диэлектрической проницаемостью (low-k), (б) формирование селективного стоп-слоя для защиты low-k диэлектрика, (в) сформированный дополнительный зазор

роста ALD-слоев на областях с Co или Ru, учитывая, что слои Cu обычно покрываются этими материалами для повышения надежности электромиграции.

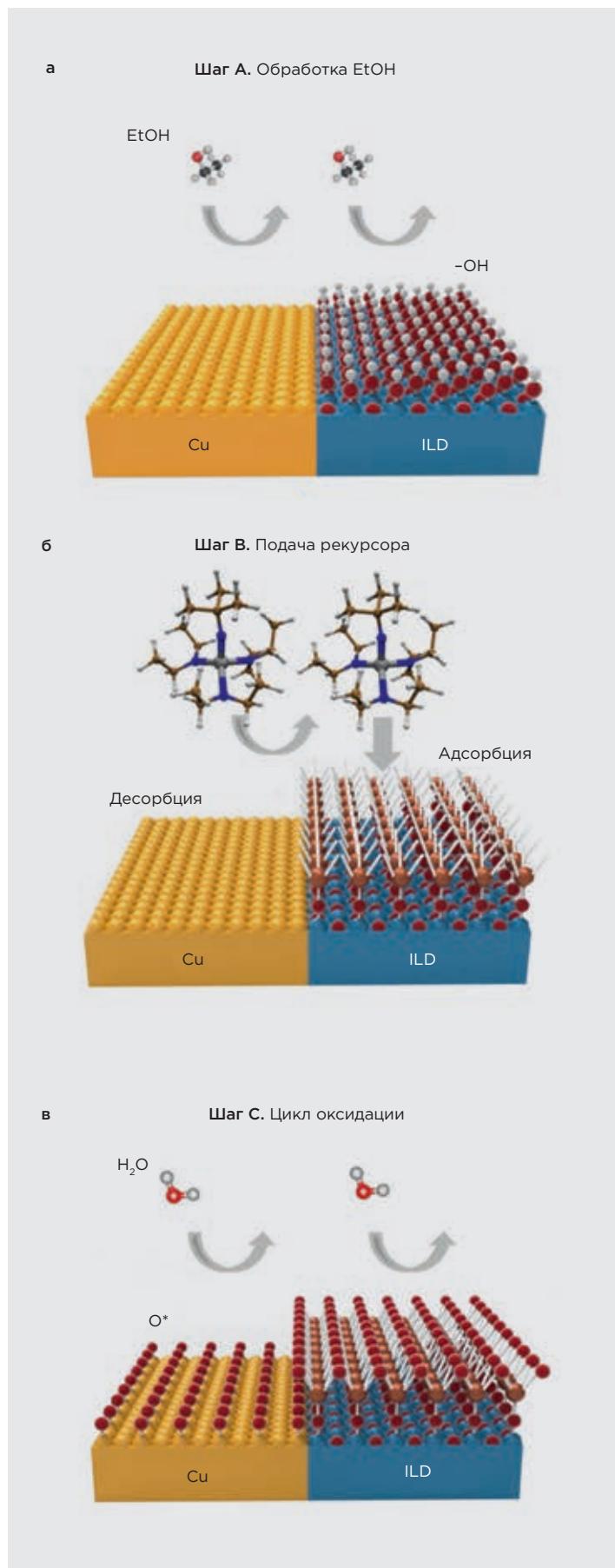
В настоящее время нет единого мнения о том, когда лучше использовать процесс зонально-селективного ALD: до или после нанесения слоев Co или Ru. Если сначала выполняется процесс зонально-селективного ALD, а после – осаждение металлического слоя, то вследствие изотропной природы роста ALD (при росте слоя в бок) будут формироваться грибовидные диэлектрические «шапки», что приведет к последующему риску неполной инкапсуляции слоя Cu. Следовательно, представляется предпочтительным сначала выполнить металлическое покрытие, что означает, что Co или Ru следует рассматривать как область, неподверженную ALD росту, вместо Cu.

Также следует учитывать способ нанесения металлических слоев и то, что остается на поверхности металла после его нанесения, поскольку состояние поверхности может сильно повлиять на процесс осаждения ALD. Так, при использовании SAM для блокирования роста ALD остатки загрязнений на участке, где не должно происходить роста, могут препятствовать формированию упорядоченного защитного монослоя. Для полного заполнения межслойных отверстий металлическими слоями (после формирования барьерных слоев) используется несколько методов осаждения, включая гальваническое осаждение (Electrochemical deposition, ECD) и химическое осаждение из газовой фазы (Chemical vapor deposition, CVD). Используя данные методы, получают металл с примесями на поверхности, например, углерод из процесса CVD или неорганические соединения из гальванических ванн. Химико-механическая полировка металла потенциально также может привести к появлению металлических примесей, например Ta или Cu, или остатков, например антакоррозийных добавок, как на диэлектрических, так и на металлических поверхностях. Также следует учитывать применяемую процедуру очистки и то, окислена ли металлическая поверхность. Решение вопроса о том, какие материалы следует рассматривать в качестве области с отсутствием ALD-роста, довольно

сложное, учитывая вышеизложенное и тот момент, что на барьерных и затравочных слоях не должно происходить осаждение.

Выбор материала и требования к процессу зонально-селективного атомно-слоевого осаждения

Как уже говорилось, одно из преимуществ зонально-селективного ALD перед травлением углублений в металлических слоях состоит в том, что барьерный слой для дополнительного зазора может быть получен из материала, отличающегося от используемого для слоя ILD. Предпочтительно, чтобы селективный по площади ALD-процесс позволял наносить материал с низкой диэлектрической проницаемостью (low-k), чтобы свести к минимуму его влияние на задержку RC-цепей. Желательно, чтобы значение диэлектрической проницаемости было ниже 6. Барьерный материал должен быть селективно устойчив во время травления переходных отверстий, чтобы предотвратить возможность образования «дефектов зуба». Наконец, осаждаемый диэлектрический материал должен обладать высоким качеством, чтобы обеспечить возможность высоких пробивных напряжений (TDDB). Более низкое качество диэлектрика приводит к увеличению тока утечки во время эксплуатации, что может значительно снизить среднее время до выхода из строя (Mean time to failure, MTTF) диэлектрического барьерного слоя. К сожалению, не существует материалов, которые одновременно имели бы низкий показатель k и в то же время были бы достаточно устойчивы к химическому воздействию при травлении отверстий. В качестве альтернативной схемы можно нанести слой low-k материала, а затем стоп-слой для травления (РИС 7а-в). Следует обратить внимание, что формирование данных слоев все еще требует применения многослойного диэлектрического стека, показанного на РИС 2, после селективного ALD-осаждения. Этот новый стоп-слой защищает слой low-k диэлектрика на слое M_x на этапе травления верхнего стоп-слоя при формировании отверстия в слое M_{x+1} , тем самым снижая вероятность возникновения «дефекта зуба».



8

Трехстадийный зонально-селективный ALD-процесс осаждения слоя SiO_2 : (а) обработка в EtOH (шаг А), (б) подача прекурсора (шаг В), (в) цикл оксидации (шаг С)

При использовании схем FSAV, основанных на травлении углублений в металлических слоях, необходимая толщина диэлектрического зазора должна составлять не менее 10 нм. При использовании схемы зонально-селективного ALD требования к толщине зависят от того, выполняет ли диэлектрический барьер также функцию стоп-слоя или нет. Если зонально-селективный ALD используется только для создания дополнительного рельефа, то в качестве целевого показателя также можно определить толщину в 10 нм. В случае, если диэлектрический слой выполняет роль стоп-слоя для травления, достаточно иметь барьер порядка 5 нм.

Важно, насколько селективными должны быть процессы ALD. Любое нанесение диэлектрика на металлический контакт нежелательно, поскольку оно увеличивает контактное сопротивление. В качестве целевой селективности исследователями было в теории обозначено значение 100:1. Однако на практике будет чрезвычайно сложно выполнить это требование, учитывая наличие примесей и остатков от предыдущих этапов обработки, как упоминалось выше. Основной вопрос заключается в том, насколько сильно монослои диэлектрического материала повлияют на задержку RC-цепей. Это зависит от материала, который наносится с использованием метода селективного ALD, а также от размера/распределения зародышей на металлических контактах. Также остаточные примеси могут создавать дефектные области, где не произошло селективного осаждения диэлектрического материала, что потенциально может привести к выходу из строя всего чипа. На данном этапе еще не разработана метрология для измерения селективности и обнаружения таких опасных дефектов. Эта область будет требовать дальнейшего внимания и проработки в случае более широкого применения метода.

Возможные материалы для зонально-селективного ALD при изготовлении структур FSAV

Какие же существуют варианты, основанные на доступных в настоящее время процессах селективного ALD-осаждения? В литературе сообщалось о нанесении методом селективного ALD диэлектрика на диэлектрик с использованием металла в качестве области, не допускающей роста пленок, для следующий материалов: ZnO , TiO_2 , HfO_2 , ZrO_2 , Hf_3N_4 и Al_2O_3 . Однако большинство перечисленных материалов не подходит для применения в процессе формирования FSAV, поскольку их значения диэлектрической проницаемости k превышают заданное предпочтительное значение 6. В 2019 году исследователи из IMEC сообщили о применении селективного ALD для осаждения слоев HfN_x ($k = 6,4$) с использованием дозирования из газовой фазы молекул тиолов для маскирования металла, а именно *n*-ундекантиола (n-undecanethiol, UDT). В рабо-

те IMEC было получено многослойное маскирующее покрытие UDT толщиной 3–8 нм. Результаты работы наглядно продемонстрировали влияние подготовки поверхности на селективность осаждения. Так, молекулы UDT на слоях Cu, очищенных при помощи обработки формир-газом, могли блокировать рост слоев ALD в течение 50 циклов, в то время как для слоев Cu после процесса химико-механической полировки (CMP) наблюдалось блокирование по меньшей мере на 500 циклов. Далее на пластинах со сформированным рисунком было продемонстрировано селективное нанесение слоя HfN_x толщиной 11 нм. Стоит отметить, что наблюдалась высокая шероховатость на краю (line edge roughness, LER), что объяснялось нежелательной пассивацией на краю зоны роста на SiO₂. По мнению авторов, этот эффект можно было бы уменьшить, выполнив обработку формочным газом после функционализации слоя SAM.

Зонально-селективное осаждение слоев Al₂O₃ (k ~9) также интересно при формировании структур FSAV, несмотря на высокий показатель диэлектрической проницаемости, поскольку слои Al₂O₃ могут выступать в качестве стоп-слоя при травлении на этапе травления Via на шаге Punch-Through. Поэтому данные слои могут быть использованы, например, в схеме на рис 7. Но известно, что получение зонально-селективных слоев Al₂O₃ является сложной задачей из-за высокой реакционной способности используемого прекурсора осаждения – триметилалюминия (TMA).

На конференции в 2019 году KU Leuven в сотрудничестве с IMEC и ASM представили результаты по селективному осаждению слоев Al₂O₃ на слой SiO₂, используя функционализацию поверхности слоев Cu при помощи нанесения SAM на основе 1-октадекантиола. Вероятно, что использовался прекурсор, отличный от TMA, хотя это не обсуждалось в докладе KU Leuven. Также в этом исследовании было уделено внимание подготовке поверхности пластины и было обнаружено, что отмыкация слоев Cu в этаноле приводит к получению слоев SAM без точечных дефектов. На образцах со сформированным рисунком для селективного ALD-осаждения наблюдалась потеря селективности после нанесения 6 нм Al₂O₃. По мнению авторов, данный показатель может быть улучшен при использовании очистки в уксусной кислоте. При этом снимки поперечного скола, полученные при использовании просвечивающей электронной микроскопии, показали, что рост Al₂O₃ не блокируется на барьерных слоях Ru/TaN.

Зонально-селективный ALD-процесс осаждения слоя SiO₂, разработанный в сотрудничестве TEL с Lam Research в 2019 году, также привлек внимание к этому приложению из-за низкого значения k для SiO₂ (k ~4). Данный зонально-селективный ALD-процесс был получен при использовании циклического трехстадийного процесса осаждения (ABC), когда на шаге A использовались молекулы ацетилацетона

в качестве ингибитора осаждения с последующим осаждением прекурсоров силана (шаг B) и дальнейшей оксидацией поверхности (шаг C). Схематично данный процесс показан на рис 8а–в.

Применение этого процесса также продемонстрировано для нанесения слоев SiO₂ на слои GeO₂, SiN_x, SiO₂ и WO₃. Метод был также применен при блокировке осаждения на слоях Co. Однако текущий процесс блокировки роста на поверхности Co позволяет осадить слой SiO₂ толщиной ~1,5 нм, что пока не соответствует требуемой толщине зазора. Полученные результаты исследований будут применены для улучшения селективности в будущем.

Поскольку на данный момент одним из главных вопросов является селективность для ALD-осаждения, также может быть рассмотрено применение селективного атомно-слоевого травления (Atomic layer Etch, ALE) в качестве корректирующего шага. В зависимости от количества примесей и чистоты поверхности такой этап коррекции может быть реализован либо во время ALD с использованием рецептуры «суперцикла», либо в виде отдельного последующего травления после финального шага осаждения.

Заключение

Описанные выше результаты получены академическими исследовательскими группами при взаимодействии с ведущими игроками полупроводниковой промышленности. Исходя из того факта, что все основные игроки говорят о различных применениях самовыравнивающихся переходных структур, можно сделать вывод, что в настоящее время существует реальная потребность в разработке схем FSAV на основе зонально-селективного ALD. Таким образом, данные разработки могут помочь преодолеть самые узкие места при формировании межслойных металлических соединений на конечных этапах BEOL-производства, что позволит продуктам выйти на качественно новый уровень производства.

Использованные материалы

1. A.J.M. Mackus, M.J.M. Merkx. Fully Self-Aligned Vias: The Killer Application for Area-Selective ALD? – A Discussion of the Requirements for Implementation in High Volume Manufacturing. 2019, 7. AtomicLimits.
2. Pasquali, Mattia; De Gendt, Stefan; Armini, Silvia; Illiberi, Andrea; Verni, Giuseppe; Deng, Shaoren; Givens, Michael. Dielectric on dielectric area-selective deposition by a combination of atomic layer deposition and organic film passivation for self-aligned via patterning. Area Selective Deposition Workshop Conference, 2019
3. Altamirano-Sanchez, E.; Chan, B. T.; Delabie, A.; Armini, S.; Scheer, S. (IMEC). Area Selective Deposition Challenges and Opportunities for Patterning Solution. Area Selective Deposition Workshop Conference, 2019

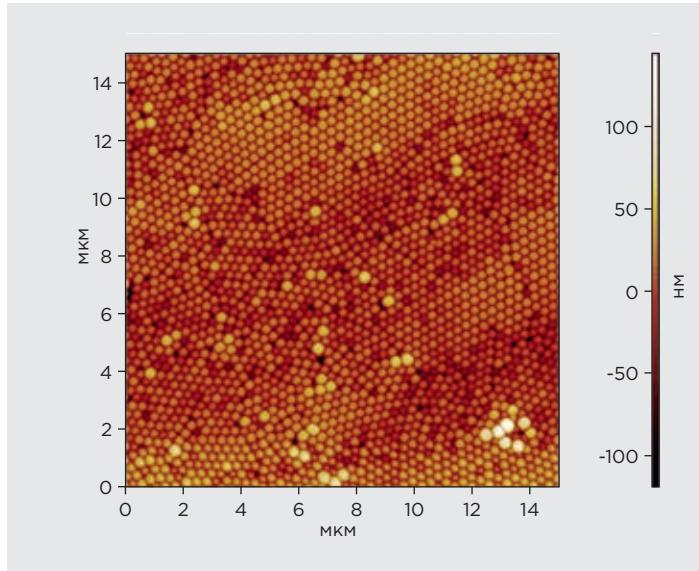
Применение нейронных сетей

в операциях контроля микро- и наноструктур

Текст: Давид Францышин, Екатерина Панфилова, Артем Ибрагимов, Маргарита Кошелева

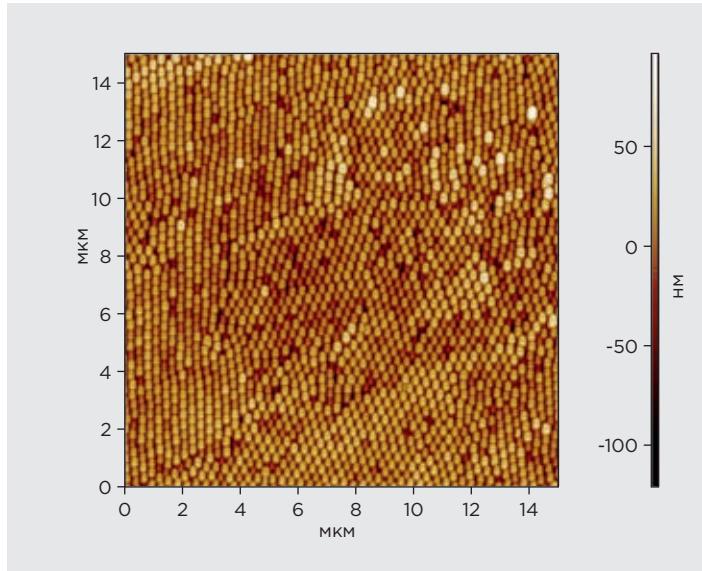
”

Фотонные кристаллы представляют собой периодические структуры, способные контролировать и управлять светом на микроскопическом уровне. Ключевым этапом создания ФК является операции контроля структур. В статье мы рассмотрим нейросеть для автоматической оптимизации параметров сканирования АСМ для ФК.



1

Пример ACM-изображения 15 x 15 мкм



2

Пример дефектного ACM-изображения 15 x 15 мкм

Основой многих устройств фотоники могут служить фотонные кристаллы – пространственно-упорядоченные системы со строго периодической модуляцией диэлектрической проницаемости (строго периодическим изменением коэффициента преломления в масштабах, сопоставимых с длинами волн излучений в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах). Указанная периодичность, по аналогии с электронной зонной структурой в регулярной кристаллической решетке, обуславливает возникновение фотонной запрещенной зоны (ФЗЗ) – спектральной области, в пределах которой распространение света в фотонном кристалле подавлено во всех (полная фотонная запрещенная зона) или в некоторых избранных направлениях (будучи прозрачными для широкого спектра электромагнитного излучения, фотонные кристаллы не пропускают свет с длиной волны, сравнимой с периодом структуры фотонного кристалла).

Ключевой этап создания фотонных кристаллов – операции контроля получаемых структур, т.к. от качества поверхности и количества дефектов в структуре зависит расположение ФЗЗ и ее ширина. Часто для проведения контроля используют атомно-силовую микроскопию (АСМ). Оптимизация параметров сканирования фотонных кристаллов методом атомно-силовой микроскопии имеет решающее значение для получения высококачественных изображений и дальнейшего анализа их структурных и оптических свойств. Однако ручная оптимизация параметров сканирования может быть трудоемкой и неэффективной, особенно для сложных ФК.

В этой работе авторами разработана нейросеть для автоматической оптимизации параметров сканирования АСМ для ФК. Нейросеть использует глубокое обучение для изучения взаимосвязи между параметрами сканирования и качеством получаемых изображений.

Обученная нейросеть способна предсказывать оптимальные параметры сканирования для различных типов и размеров ФК, что позволяет значительно ускорить и повысить точность процесса оптимизации. Это, в свою очередь, приведет к улучшенным характеристикам изображений, более точным измерениям и более глубокому пониманию оптических свойств ФК.

Разработка технических решений и рекомендации по реализации интеллектуального управления и контроля параметров изделий

Подготовка данных для нейронной сети

В качестве входных данных для разрабатываемой нейронной сети были приняты часть изображения образца и параметры сканирования, при которых это изображение было получено. Для обеих частей проводились определенные манипуляции, чтобы повысить показатели нейронной сети.

Подготовка ACM-изображений

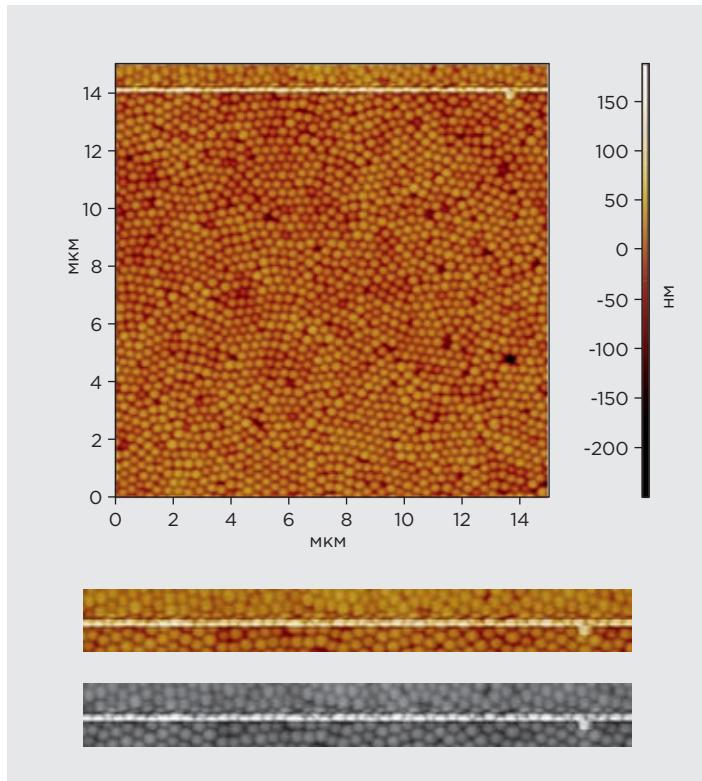
Пример ACM-изображения представлен на **рис 1**.

При этом качество изображений напрямую зависит от параметров сканирования, в частности, от таких параметров, как: Set Point, Gain, Rate, Amp.

Влияние параметров на процесс:

- Set Point – начальное расстояние между зондом и поверхностью образца;
- Gain – степень изменения высоты кантителевера при переходе через ступеньку или спуска с нее;
- Rate – скорость сканирования (скорость перемещения зонда вдоль образца);
- Amplitude – амплитуда колебаний кантителевера.

При некорректном подборе параметров на изображениях присутствуют дефекты (**рис 2**).



3

Пример модификации изображения

Для обучения сложных в своей архитектуре нейронных сетей необходимо большое количество данных, и необходимость в них возрастает с увеличением получаемого нейронной сетью изображения. Помимо этого, основная идея разрабатываемой нейронной сети в том, чтобы модифицировать параметры процесса во время сканирования, поэтому на вход нейронной сети должно подаваться не полное изображение, а только его часть. Исходя из этого было принято решение разделить изображение на девять частей. Так, из изображения 675×675 пикселей можно получить девять изображений 675×75 пикселей. Это позволило искусственным образом увеличить количество изображений для обучения.

С учетом того, что изображение представляет собой RGB-изображение, в котором изменение цветов происходит только по одной шкале (оттенки желтого), было принято решение предварительно модифицировать изображение в оттенки серого, так как концептуально изображение не потеряет информации, а нейронная сеть может получать данные о пикселе не в качестве кортежа данных (RGB), а в качестве единичного значения, соответствующего оттенку серого. Таким образом можно сократить объем данных в 3 раза, не затронув их качество.

Пример поэтапной модификации изображения представлен на РИС 3.

Помимо этого, все значения пикселей делятся на 255, таким образом из значений, которые варьируются от 0 до 255, можно получить матрицу, значения которой варьируются от 0 до 1. Этот процесс называется нормализацией входных данных, он необходим по двум причинам:

- Независимо от природы входного числа (пиксель или значение параметра процесса) его значение всегда в одинаковых пределах. Это позволяет получить нейронную сеть с более равномерными весами и избежать последующего «эффекта бабочки».
- С такими значениями нейронным сетям значительно проще работать, т.к. нет необходимости в перемножении больших чисел.

Подготовка данных о параметрах процессов

Данные о параметрах процесса также подверглись нормализации, т.е. значения всех параметров поступают от 0 до 1, где 0 – минимальное значение параметра из обучающей выборки, а 1 – максимальное значение параметра из обучающей выборки. Пример данных представлен в Т 1.

Разработка архитектуры нейронной сети

Всю нейронную сеть можно разделить на три части: выделение дефектов в изображении, анализ дефектов на изображении, анализ дефектов с учетом параметров процесса, при котором получено АСМ-изображение.

Выделение дефектов в изображении

Выделение дефектов происходит после того, как изображение проходит чередующиеся слои свертки и подвыборки. Для уменьшения объема информации изображение проходит слои подвыборки, которые сжимают его в 4 раза после каждого слоя. Таким образом можно ускорить процесс обучения и упростить нейронную сеть, тем самым снизив необходимое количество необходимых данных.

В разработанной нейронной сети присутствуют: входной слой, четыре слоя свертки и четыре слоя подвыборки. Эта часть нейронной сети заканчивается техническим слоем Flatten, для преобразования матрицы.

В первом слое свертки присутствуют восемь признаков. Признак – это продукт прохождения изображением ядра свертки. Т.е. на каждую двумерную матрицу (изображение), поступающую на вход слоя, на выходе будет восемь изображений, где выделяются искомые признаки. Во втором слое свертки присутствуют 16 признаков, в третьем 32 и в последнем слое свертки – 64 признака. Практика увеличения количества признаков с продвижением вглубь нейронной сети является стандартной для отрасли. На ранних этапах анализа изображения нет смысла в большом количестве признаков, т.к. начальные слои способны лишь выделять базовые фигуры, такие как линии, углы и пересечения.

Анализ дефектов в изображении

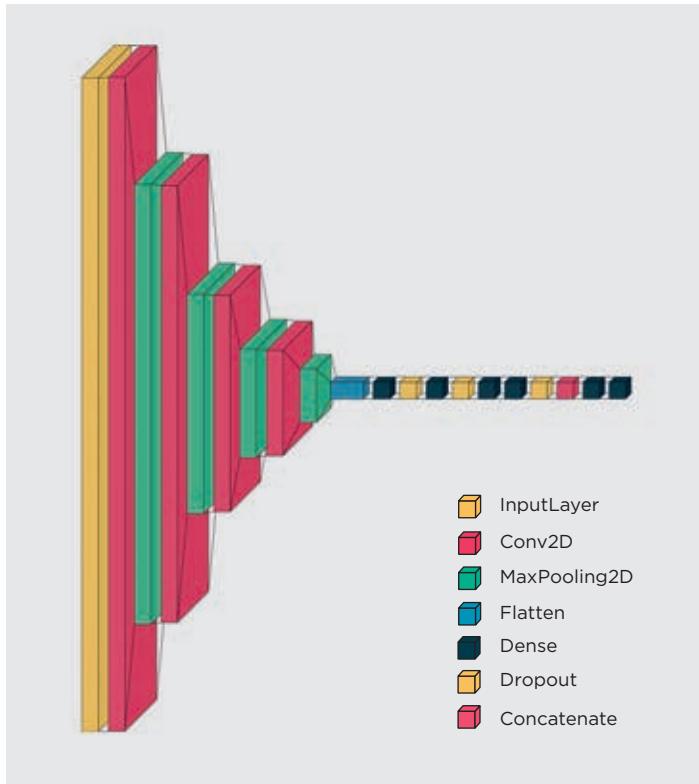
После выделения признаков происходит процесс их анализа. Для этого использовалась классическая

1

Пример входных данных параметров процессов

Номер изображения	ДАННЫЕ ПРОЦЕССА					ДАННЫЕ ИДЕАЛЬНОГО ПРОЦЕССА			НОРМАЛИЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ				
	Set Point	Gain	Rate	Amp		Ideal setpoint	Ideal gain	Ideal rate	Ideal amp	Ideal setpoint norm	Ideal gain norm	Ideal rate norm	Ideal amp norm
041.07.1	5	0,7	1	0,2864	3,2	0,75	0,5	0,08	0	0,733333	0,714286	0	
041.07.2	6,6	0,8	0,7	0,13	3,2	0,75	0,5	0,08	0	0,733333	0,714286	0	
041.07.3	3,2	0,75	0,5	0,08	3,2	0,75	0,5	0,08	0	0,733333	0,714286	0	

MLP (multi-layer perceptron) архитектура. Она состоит из шести слоев, при этом 2-й и 4-й слои в нейронной сети – слои Dropout. Количество нейронов в слоях 512, 256, 64, 4 соответственно.



4

Архитектура нейронной сети в масштабе

Существует несколько часто используемых функций активации, в их число входят: гиперболический синус, гиперболический тангенс, ReLu, линейная и SoftMax. При этом каждая функция имеет свои характеристики, а следственно – преимущества и недостатки. Т.к. коррекция параметров может происходить как в большую, так и в меньшую сторону, логично предположить, что нейроны должны иметь возможность принимать значения и положительные, и отрицательные. Также важным параметром функции активации, которая должна использоваться в разработанной нейронной сети, является дифференцируемость на всем промежутке. Исходя из этого, в качестве функции активации был принят гиперболических тангенс, т.к. это дифференцируемая функция, изменяющая свои значения от -1 до 1. В этой части происходит классификация выявленных дефектов и оценивается их влияние на параметры процесса.

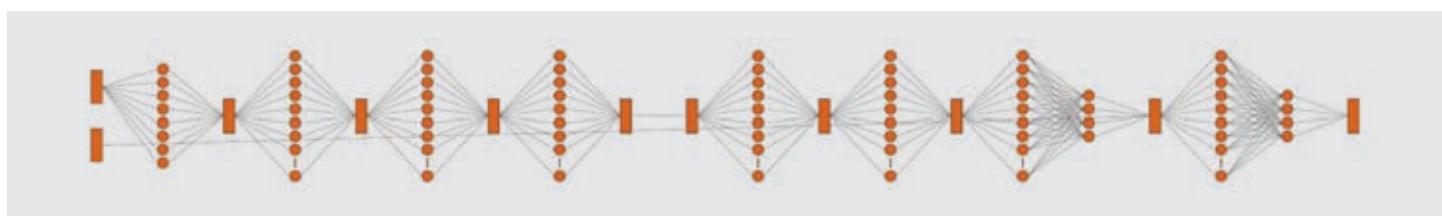
Анализ дефектов с учетом параметров процесса

Первые два слоя – входной и технический слой Concatenate. На вход в эту часть нейронной сети подаются параметры процесса, при которых было получено изображение. В этой части нейронной сети, так же, как и в предыдущей, использовалась MLP-архитектура. Количество нейронов в слоях 32, 4 соответственно.

Итоговая нейронная сеть

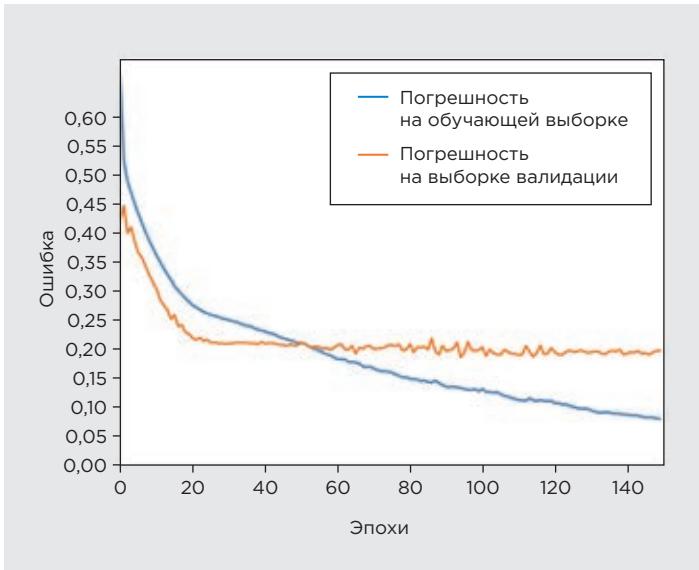
После проектирования каждой части и реализации их в коде была получена следующая нейронная сеть (РИС 4).

Изображение нейронной сети с указанием типов слоев и связей между ними показана на РИС 5.



5

Архитектура нейронной сети с указанием связей



6

Зависимость погрешности от количества эпох

Суммарно количество связей в разработанной нейронной сети составило 43 427 108. Все веса нейронной сети занимают около 498 Мб памяти.

Обучение нейронной сети

В процессе обучения нейронной сети использовался алгоритм обратного распространения ошибки. Метод применяют для эффективного обучения нейронной сети с помощью так называемого цепного правила (правила дифференцирования сложной функции). Проще говоря, после каждого прохода по сети обратное распространение выполняет проход в обратную сторону и регулирует параметры модели (веса и смещения). Суть алгоритма заключается в следующем:

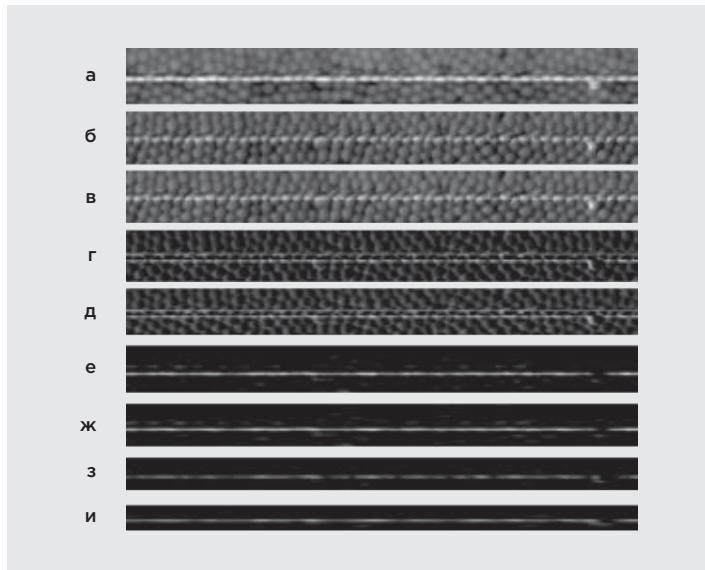
- вычисляется ошибка, которая является средним отклонением от предполагаемого значения;
- определяется градиент функции;
- веса корректируются так, чтобы лучше подстраиваться под желаемый результат.

Важным аспектом разработки нейронной сети является подбор гиперпараметров – параметров обучения нейронной сети. Для обучения были выбраны следующие гиперпараметры:

- в качестве ошибки взято среднее отклонение от искомого значения;
- оптимизация реализована алгоритмом Adam;
- количество эпох 150;
- размер мини-выборки изображений 35.

Зависимость погрешности на обучающей выборке и погрешности на выборке валидации можно увидеть на РИС 6.

Как можно заметить, погрешность падает с увеличением эпох, при этом график достаточно плавный, чтобы утверждать, что гиперпараметры нейронной сети подобраны верно, т.е. она сходима.



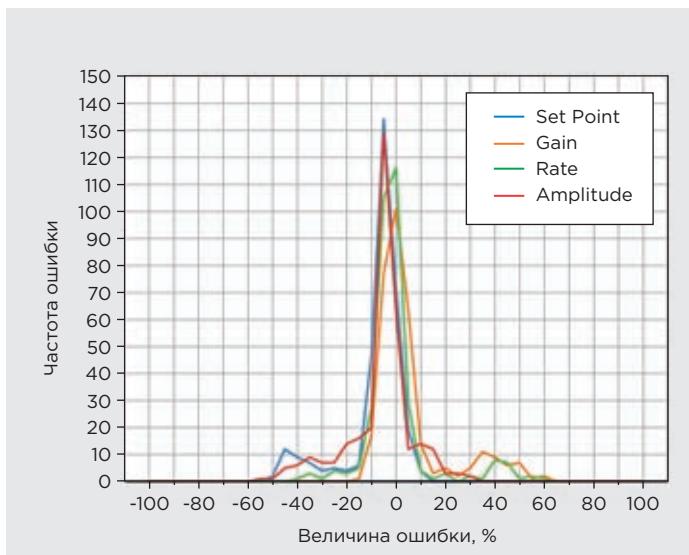
7

Трансформация изображения при прохождении слоев нейронной сети

Изображения при анализе нейронной сети

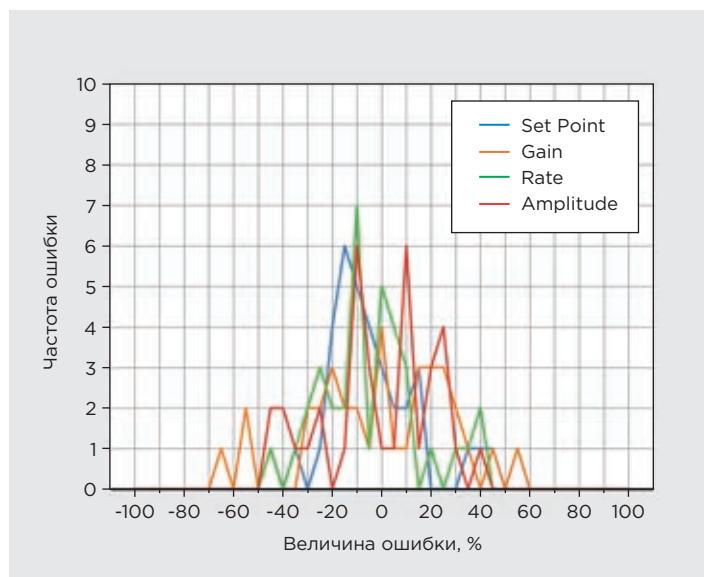
В ходе анализа АСМ-изображения они трансформируются, выделяются признаки, выявляются закономерности. При этом в каждом последующем слое нейронной сети изображение приобретает все более концептуальный характер, т.е. на поздних этапах анализа человек более неспособен отделить это изображение от «шума». Примеры показаны на РИС 7 (а-и).

Как видно на РИС 7(и), изображение уже не содержит элементов полученного на вход АСМ-изображения. При этом нейронная сеть выделила те участки, которые в ходе анализа посчитала наиболее важными и перевела информацию из концептуально-качественной в аналитико-количественный формат.



8

Распределение ошибок на обучающей выборке



9

Распределение ошибок на тестовой выборке

Важным атрибутом этих изображений является уменьшение их разрешения. Это связано с прохождением изображения слоев пулинга.

Обсуждение результатов

Для обучения было использовано 40 ACM-изображений, восьми образцов. По итогам обучения средняя погрешность на выборке для обучения составила около 8,21 %, на выборке валидации 22,13 %, а на тестовой выборке 18,48 %.

Графики распределения ошибок на обучающей выборке представлены на РИС 8.

Исходя из графика можно сделать вывод, что нейронная сеть способна находить закономерности, которые позволяют выбирать взвешенные решения для корректировки всех четырех параметров.



10

Образец с наличием артефактов



11

Образец без артефактов



12

ACM-изображение образца, в котором не требовались изменения

12

Сопоставление нормализованных данных для образца с дефектом

НАЗВАНИЕ ПАРАМЕТРА	НЕОБХОДИМОЕ ЗНАЧЕНИЕ	ПОЛУЧЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ
Set Point	0,634	0,643
Gain	0,125	0,139
Rate	0,5	0,497
Amplitude	0,061	0,121

Графики распределения ошибок на тестовой выборке показаны на РИС 9.

На этом графике наглядно показано, что нейронная сеть хуже работает на выборке, которая не входила в исходную выборку для обучения, при этом самое вероятное отклонение близко к 0 %. Это значит, что закономерности, выявленные на этапе обучения, применимы для образцов в обучении не участвовавших.

Анализ образцов с использованием разработанной нейронной сети

Для оценки работоспособности нейронной сети был разработан алгоритм денормализации для возможности интерпретации выходных значений нейронной сети. Так на вход нейронной сети было подано изображение с дефектами, чтобы оценить точность предлагаемых нейронной сетью корректировок параметров. Также на вход было подано изображение без дефектов, чтобы подтвердить, что нейронная сеть не выдает ложных корректировок в качественное изображение.

Анализ изображения с артефактами

На вход подали один из образцов тестовой выборки, на котором были артефакты, и был проведен алгоритм денормализации (процесс, обратный нормализации), чтобы посмотреть полученные от нейронной сети данные. Часть ACM-изображения, подаваемого на вход, можно увидеть на РИС 10.

При этом выходные данные нейронной сети сопоставлялись с необходимыми данными, которые были подобраны на этапе формирования данных для обучения. Часть ACM-изображения без дефектов можно увидеть на РИС 11.

Сопоставление нормализованных данных представлено в Т 2.

Можно заметить, что значения схожи и ни по одному из параметров не превышают 5 % от соответствующего изменения параметра в данных для обучения.

Также проведен анализ денормализованных данных. Сопоставление денормализованных данных показано в Т 3.

Т 3

Сопоставление денормализованных данных для образца с дефектами

НАЗВАНИЕ ПАРАМЕТРА	НЕОБХОДИМОЕ ЗНАЧЕНИЕ	ПОЛУЧЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ
Set Point	7,59	8,04
Gain	-0,55	-0,529
Rate	0,2	0,197
Amplitude	-0,8	0,734

что параметр Set Point имел максимальный разброс в своих значениях в данных для обучения: так, минимальное значение составляло 1,6, а максимальное – 28,8. На основании этого можно сделать вывод, что полученная погрешность невелика и существенно не влияет на характеристику разработанной нейронной сети.

Результаты и выводы

Выявлено, что разработанная нейронная сеть способна выдавать качественные корректировки параметров сканирования в требуемых ситуациях. Ошибка обобщения на АСМ-изображении с артефактами составила <5 %, ошибка обобщения на АСМ-изображении без артефактов составила <5 %.

Возможные пути уменьшения погрешности НС

У более сложных нейронных сетей выше точность, но при недостатке данных обучение невозможно несмотря на то, что, используя ограниченное количество данных, удалось достичь результатов, которые позволяют убедиться в работоспособности архитектуры. Нейронные сети похожей сложности, которые показывают хорошие результаты в задачах классификации, обучаются на значительно большем объеме данных. Таким образом, количество изображений должно достигать десятков миллионов для нейронных сетей мирового уровня.

Разработанная нейронная сеть имеет примерно в 2 000 раз меньше обучаемых параметров, чем победитель конкурса ImageNet 2022 года, у которого количество параметров составило 2,1 млрд, что говорит о сложности разработанной нейронной сети. Нейронная сеть с похожим количеством параметров обучается на сотнях тысяч изображений. На основании этого сделан вывод, что основным способом улучшения показателей нейронной сети является увеличение обучающей выборки.

Использованные материалы

1. Carracedo-Cosme J., Romero-Muñiz C., Pérez R. A deep learning approach for molecular classification based on AFM images // Nanomaterials. 2021 Т. 11. №. 7. С. 1658.
2. Luo Y., Andersson S.B. Image reconstruction for sub-sampled atomic force microscopy images using deep neural networks // Micron. 2020 Т. 130. С. 102814.
3. Liu Y. et al. General resolution enhancement method in atomic force microscopy using deep learning // Advanced Theory and Simulations. 2019 Т. 2. №. 2. С. 1800137.
4. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ SCANTRONIC // NT-MDT Spectrum Instruments URL: <https://www.ntmdt-si.ru/products/afm-features/intelligent-scan-software> (дата обращения: 09.04.2024).
5. Бредихин А.И. Алгоритмы обучения сверточных нейронных сетей // Вестник Югорского государственного университета. 2019. №. 1 (52). С. 41–54.
6. Ха Л.М. Свёрточная нейронная сеть для решения задачи классификации // Труды Московского физико-технического института. 2016.. Т. 8. №. 3 (31). С. 91–97.

Т 4

Сопоставление нормализованных данных для образца с дефектом

НАЗВАНИЕ ПАРАМЕТРА	НЕОБХОДИМОЕ ЗНАЧЕНИЕ	ПОЛУЧЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ
Set Point	0,486	0,444
Gain	0,469	0,529
Rate	0,3	0,318
Amplitude	0,763	0,676

Т 5

Сопоставление денормализованных данных для образца с дефектом

НАЗВАНИЕ ПАРАМЕТРА	НЕОБХОДИМОЕ ЗНАЧЕНИЕ	ПОЛУЧЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ
Set Point	0	-2,1
Gain	0	0,09
Rate	0	0,01
Amplitude	0	-0,1

Анализ изображения без артефактов

Чтобы подтвердить, что нейронная сеть не выдает ложных корректировок, на вход нейронной сети было подано изображение без дефектов (рис 1.2).

При этом выходные данные нейронной сети сопоставлялись с необходимыми данными, которые были подобраны на этапе формирования данных для обучения. Сопоставление нормализованных данных можно увидеть в Т 4.

Можно заметить, что значения схожи и ни по одному из параметров не превышают 5 % от соответствующего изменения параметра в данных для обучения. Также проведен анализ денормализованных данных. Сопоставление денормализованных данных можно увидеть в Т 5.

Как можно заметить, единственный параметр, заметно отличный от нуля, – это Set Point, что часто встречается у схожих нейронных сетей. Это произошло потому,



ПО ЩУЧЬЕМУ ВЕЛЕНИЮ ВРЯД ЛИ, НО ПОСТАВИМ МАТЕРИАЛЫ БЕЗ ВОЛОКИТЫ

В организации закупок и поставок технологических материалов есть множество бюрократических нюансов. Мы в них разбираемся и практикуем индивидуальный подход к содержанию договоров, условиям оплаты, срокам и условиям поставки товаров. А еще мы умеем договариваться, слушать, понимать и идти навстречу.

Потому что нам важно, чтобы у вас все было так, как вам нужно.

100 %

согласование договоров
с нашими клиентами
за последние 3 года

>500

договоров мы подписываем
и реализуем ежегодно

фз

четкое соблюдение требова-
ний фз 275, фз 223, фз 44

КАЧЕСТВО

Как ваш рН?

Ключевые требования и
подходы к выбору жидкостей
для отмыки печатных узлов
на рН-нейтральной основе

Текст: Денис Поцелуев, К.Э.Н.

”

Многообразие компонентной базы, большое количество комбинаций материалов на печатном узле, повышение требований к надежности электроники и ряд других факторов определяют специализированные требования заказчиков к современным технологическим материалам. В этой статье мы рассмотрим предпосылки появления рН-нейтральных отмывочных жидкостей и современные требования к ним, а также информацию об отличительных особенностях и характеристиках рН-нейтральной жидкости Гидронол[®] Н18 и опыте ее применения на российских производствах РЭА.

«Нужно ли знать про pH-уровень отмычной жидкости?»? «Какая жидкость не смывает маркировку с компонентов?»? «Что эффективнее отмывает от флюса – концентрат на водной основе или растворитель?»? – это одни из немногих, но актуальных вопросов, которыми задаются заказчики.

В статье мы ответим на эти вопросы, а также вы узнаете:

- какие отмычные жидкости на водной основе предпочитают российские производители электроники – щелочные или pH-нейтральные?
- почему в линейке Гидронол® только через 1,5 года появилась первая уникальная pH-нейтральная отмычная жидкость;
- мифы и факты о pH-нейтральных жидкостях для отмыки электроники: совместимость с оборудованием и маркировкой компонентов; требования к техпроцессу; безопасность на рабочих местах и влияние на здоровье персонала;
- результаты испытаний pH-нейтральной отмычной жидкости Гидронол® H18 на действующих производствах РЭА.

Как известно, одно из основных назначений жидкости для отмыки печатных узлов – эффективно удалять остатки флюса. Флюс на основе канифоли является наиболее часто используемым флюсом для пайки электроники, а канифоль – это смесь смоляных кислот и их изомеров. То есть большинство флюсов для пайки имеют кислую основу (pH ниже 7). Соответственно для эффективной нейтрализации кислоты требуется щелочь, то есть жидкость с pH выше 7. Чем выше уровень pH, тем эффективнее идет процесс нейтрализации кислоты. Поэтому большинство современных отмычных жидкостей, как на водной основе, так и на основе растворителей, имеют значение pH на уровне 10–11. Тогда возникает вопрос: а зачем нужны отмычные жидкости с pH-нейтральным составом, насколько они эффективны и находят ли свое применение на российских производствах?

Обратимся к истории. Изначально pH-нейтральные составы были востребованы при производстве силовой электроники. Необходимость применения нейтральной среды вызвана требованиями по совместимости с материалами и компонентами, такими как медь, алюминий, редкоземельные металлы. Но так как зачастую технологические процессы не предусматривают отмыку от флюсов, то такие жидкости востребованы для подобных задач в небольших объемах.

До появления отмычных жидкостей Гидронол® компания «Остек-Интегра» одной из первых, если не самая первая, начала поставки зарубежной отмычной жидкости с нейтральным pH на российский рынок, но не для силовой электроники, а для одного из контрактных производителей. У данного производителя были конкретные требования к отмычной жидкости, которые можно разделить на две группы:

■ специфические:

- минимальное воздействие на маркировку компонентов,
- отсутствие пенообразования,
- отсутствие потемнения паяк,
- экономическая эффективность новой жидкости должна превосходить существующую не меньше, чем на 10–15 %;

■ общие или минимально обязательные:

- качественная отмывка печатных узлов от флюсов паяльных паст после поверхностного монтажа и жидких флюсов – после селективной пайки и ручного монтажа,
- способность эффективно отмывать остатки паяльных материалов различных брендов и производителей,
- универсальность – жидкость должна одинаково хорошо работать в струйных установках разных производителей, которые использует заказчик,
- стабильность процесса отмывки – обязательное наличие достоверных способов контроля состояния раствора.

Процесс внедрения был непростым: более двух недель нахождения специалистов «Остек-Интегра» на территории заказчика, 240 л образцов отмычных жидкостей, привлечение специалистов мирового уровня, финальная отладка и оптимизация процесса отмывки на четырех установках струйной отмывки печатных узлов.

Но вложенные усилия себя оправдали – заказчик успешно внедрил на производстве pH-нейтральную отмычную жидкость, поставляемую на тот момент от одного из зарубежных партнеров. По результатам работы с жидкостью заказчик отметил существенно меньшее количество проблем с маркировкой на компонентах, более длительный срок жизни раствора в баке, высокое качество отмывки. Но вместе с тем в процессе отмывки были выявлены специфические требования и условия работы с жидкостью, которые непосредственно влияют на качество отмывки. Об этом мы расскажем чуть позже.

Так почему же в процессе переходного периода от зарубежных отмычных жидкостей к жидкостям Гидронол® в линейке не сразу появилась отмычная жидкость с нейтральным уровнем pH? Вольтер писал, что «Лучшее – враг хорошего». Чаще всего так говорят, когда, стремясь к лучшему, портят хорошее. Но при разработке своих продуктов и материалов «Остек-Интегра» всегда ориентируется только на лучший результат, даже не рассматривая хороший продукт как компромисс. В процессе работы над составом pH-нейтральной жидкости Гидронол® H18 в ходе различных экспериментов длительное время не удавалось определить несколько критически важных компонентов, которые отвечали за совместимость с чувствительными металлами. Доля этих компонентов в составе жидкости не превышала нескольких процентов, а в мире нужное сырье можно найти всего лишь у двух-трех производителей. Именно этими факторами объясняется столь долгий период разработки

и очень скрупулезного тестирования Гидронол® Н18, который занял почти два года. После того как удалось определить недостающий компонент, он был закуплен в достаточном количестве для поддержания необходимого складского запаса и стабильного производства Гидронол® Н18.

Прежде чем перейти к рассказу непосредственно о самой жидкости Гидронол® Н18, следует определить, какие ключевые требования должны предъявляться к рН-нейтральным отмывочным жидкостям в принципе.

Общие ключевые требования для рН-нейтральных жидкостей

Совместимость с чувствительными металлами. Помимо совместимости с базовыми и распространенными материалами жидкость обязательно должна быть совместима с чувствительными к щелочным растворам металлами, например алюминием и медью, компоненты из которых все чаще стали встречаться на печатных узлах. Металлы не должны менять свой цвет или разрушаться под воздействием раствора.

Совместимость с маркировкой компонентов и печатного узла. Влияние жидкости на маркировку компонентов должно быть минимальным или отсутствовать в принципе. Исходя из практики, по сравнению с щелочными жидкостями влияние рН-нейтрального раствора на маркировку более щадящее. Но, к сожалению, до сих пор на рынок поставляются компоненты с маркировкой такого низкого качества, что она не выдерживает воздействия даже обычной воды для ополаскивания.

Универсальность в части применения жидкости в установках разных производителей. Ввиду широкого многообразия установок струйной отмывки на производствах отмывочная жидкость должна отвечать следующим минимальным требованиям:

- отсутствие пенообразования;
- совместимость с основными компонентами и узлами оборудования;
- качественная отмывка от флюса с учетом существующего конструктива оборудования и настроек технологического процесса отмывки.

Эффективность отмывки. Измерение эффективности отмывочной жидкости – это сложный процесс, требующий тщательного анализа различных факторов, влияющих на качество отмывки. Методов и подходов может быть несколько, но для простоты расчетов рекомендуется использовать сравнительную оценку себестоимости процесса отмывки (затраты) и полученного результата. Под результатом следует понимать количество качественно отмытых печатных узлов за период. А затратами будут являться расходы на отмывочную жидкость за тот же период. Только важно корректно учитывать расходы на жидкость, а именно:

- считать стоимость за литр готового раствора, а не концентрат (чем ниже значения рекомендуемой концентрации раствора, тем ниже его стоимость и ниже расходы на долив в систему);

- учитывать срок работоспособности раствора до его полной замены (чем реже меняется жидкость, тем меньше на нее расходы);
- учитывать потери раствора за цикл отмывки (чем больше по времени цикл отмывки, тем больше естественные потери раствора отмывочной жидкости).

Для предварительной оценки и сравнения эффективности различных жидкостей можно ограничиться пересчетом стоимости на литр готового раствора, используя рекомендуемые производителем значения концентрации раствора. Но более объективную картину предоставят результаты, полученные в процессе реальных испытаний на производстве.

Стабильность. Гарантия получения качественного результата на протяжении длительного времени особенно важна в процессах отмывки печатных узлов, когда на результат влияют несколько переменных факторов (оборудование, время, температура, механика, химия). Отмывочная жидкость не должна менять свой состав и свойства в пределах диапазонов температуры и концентрации, установленных производителем. Если в составе жидкости присутствуют легкие фракции, то при нагреве они могут испаряться в первую очередь и оказывать непосредственное влияние как на концентрацию и расход моющего раствора, так и на его свойства и эффективность отмывки.

Безопасность. При работе с отмывочной жидкостью необходимо быть уверенным, что в продукте не содержатся опасные для здоровья человека вещества, даже если персонал работает в средствах индивидуальной защиты. Рекомендуется запрашивать у поставщика или производителя отмывочной жидкости паспорт безопасности на продукт. Помимо стандартных разделов про рекомендованные средства индивидуальной защиты и обращение с веществом, очень внимательно надо изучить раздел про состав, в котором обязательно должны быть указаны содержащиеся опасные вещества и их доля в составе. Известно, что некоторые производители при производстве отмывочных жидкостей в ряде случаев используют недорогие компоненты, которые могут повышать эффективность отмывки, но по своей природе опасны и токсичны для человека и живых организмов. При наличии в жидкости опасных веществ, предельные значения которых могут представлять угрозу здоровью персонала, необходимо обратиться к службе охраны труда на предприятии.

Гидронол® Н18 с нейтральным уровнем рН: отличительные особенности и характеристики

Гидронол® Н18 – это отмывочная жидкость на водной основе с нейтральным уровнем рН, которая разработана для удаления флюса в процессах отмывки печатных узлов в оборудовании для отмывки методами «струи-в-воздухе» или погружения с ультразвуком. Продукт можно использовать для удаления флюса с выводных рамок, дискретных устройств, силовых модулей, светодиодов питания и пе-

чатных узлов. Ниже приведена информация о подтверждении соответствия Гидронол® H18 ключевым требованиям для pH-нейтральных отмывочных жидкостей.

Совместимость с чувствительными металлами.

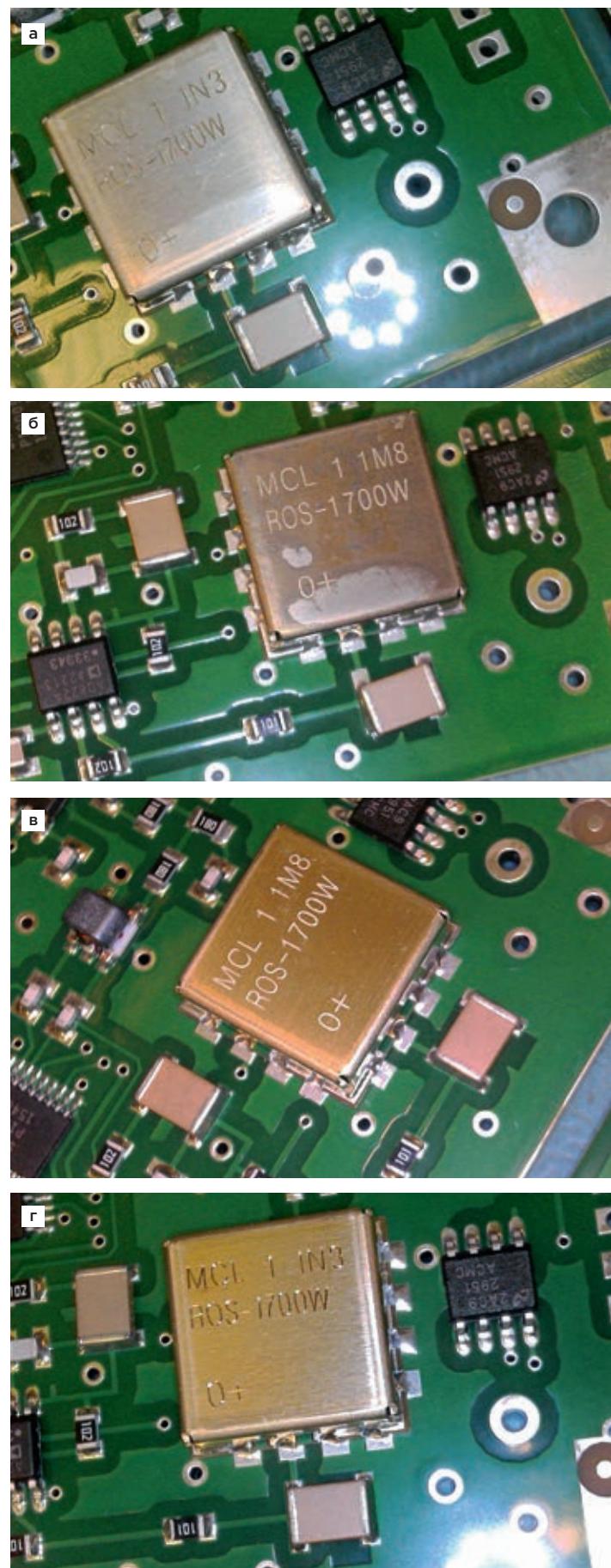
На этом этапе пришлось плотно поработать с формулой состава, так как длительное время не удавалось найти баланс между качественной отмывкой и отсутствием отрицательного воздействия на алюминий. Но в итоге Гидронол® H18 прошел лабораторные испытания и испытания на реальных производствах и показал высокую совместимость и отсутствие отрицательного воздействия на чувствительные к щелочным растворам металлы, включая алюминий (РИС 1). Результаты испытаний отражены в специальном документе, который называется «Лист совместимости» и может быть предоставлен по первому запросу заказчика.

Совместимость с маркировкой компонентов и печатного узла. Не менее важной задачей было минимизировать либо же полностью исключить отрицательное влияние жидкости на маркировку компонентов. В большинстве случаев при использовании Гидронол® H18 маркировка не повреждалась либо было отмечено несущественное воздействие (РИС 2). Бывает, что маркировка некоторых производителей компонентов может смываться pH-нейтральными жидкостями при повторной отмывке или увеличении температуры отмывки/ополаскивания. В таких случаях мы рекомендуем заранее проводить лабораторные испытания для проверки совместимости с маркировкой и подбора оптимального режима отмывки.

Универсальность в части применения жидкости в установках разных производителей. Полевые испытания жидкости Гидронол® H18 на действующих производствах подтвердили ее применимость и эффективность в различных установках струйной отмывки как зарубежного, так и отечественного производства. Одним из важных и положительных свойств жидкости H18 клиентами было отмечено отсутствие пенообразования, в отличие от pH-нейтральной жидкости другого производителя. Также проводилось лабораторное сравнение пенообразования Гидронол® H18 с другими отечественными конкурентными жидкостями. Результаты испытаний приведены в Т 1.

Отдельно стоит выделить, что в некоторых струйных установках форсунки расположены достаточно далеко от корзины, поэтому в ряде случаев может не хватить кинетической энергии струи жидкости для удаления остатков флюса с поверхности печатного узла и из-под компонентов. Преимущество применения Гидронол® H18 в таких системах заключается в том, что высокая очищающая способность жидкости компенсирует недостаток кинетической энергии, не увеличивая при этом время цикла отмывки.

Вместе с тем при использовании Гидронол® H18 важно соблюдать определенные требования к технологическому процессу и качеству воды для приготовления раствора и ополаскивания, а именно:



1

Компоненты после отмывки щелочной жидкостью (а, б) и pH-нейтральной жидкостью Гидронол® H18 (в, г)



2

Совместимость с маркировкой компонентов и печатного узла:
а - Гидронол® Н18 (нет повреждения маркировки и компонентов);
б - другая отечественная pH-нейтральная отмывочная жидкость (удаление маркировки)

- проводимость воды для предварительного и финишного ополаскивания не должна превышать 10 мкСм/см. Проточная вода под запретом;
- обязательно наличие подогрева в предварительном и финишном контурах ополаскивания – не менее 30 °С;
- рекомендовано обновление воды для ополаскивания после каждого цикла;
- при замкнутом цикле обязательна еженедельная замена воды в баке предварительного ополаскивания.

Эффективность отмывки. Высокая буферная емкость Гидронол® Н18 в сравнении с конкурентными жидкостями позволяет отмыть большее количество печатных узлов без полной замены раствора. Буферная емкость – это количественная оценка максимально возможной загрязненности канифолью раствора от-

мывочной жидкости. Данный тест позволяет сделать сравнительные теоретические расчеты по эффективному сроку жизни раствора без замены. Гидронол® Н18 по результатам лабораторных исследований обладает буферной емкостью, в 2,5 раза превосходящей показатели конкурентных жидкостей.

Экономичность Гидронол® Н18 обеспечивается за счет использования уникальной технологии ФЭО (фазоэмulsionная отмывка). Технология ФЭО – это сочетание отмывочных жидкостей на спирто-органической основе с отмывочными жидкостями на нейтральной или щелочной водных основах. Уникальность и преимущество данной технологии заключается в саморегенерации раствора, что позволяет отмывочной жидкости сохранять эффективность и срок жизни в несколько раз больше в сравнении с классическими технологиями отмывки. В отличие от поверхностно-активных веществ (ПАВ) у отмывочных жидкостей Гидронол®, основанных на ФЭО-технологии, не происходит истощения активных компонентов за счет процесса саморегенерации и самоочищения. Правильно организованный процесс отмывки и эффективная фильтрация позволяют существенно увеличить срок жизни моющего раствора в ванне и, следовательно, значительно сократить расходы на технологические материалы и количество утилизируемых отходов. Для увеличения срока жизни растворов Гидронол® рекомендуется применять системы поглощения флюса, имеющие не менее двух степеней очистки, включая предфильтр с размерами ячеек не более 20 мкм и основной фильтр с размерами ячеек 5 мкм. Такие системы фильтрации позволяют обеспечить очистку до 90 % твердых частиц загрязнений.

В **т 2** приведен пример сравнения эффективности двух жидкостей в абсолютном выражении.

Стабильность. В составе Гидронол® Н18, в отличие от ряда конкурентных жидкостей, не содержатся легкие фракции, так как при нагреве они бы испарялись

т 1

Сравнение пенообразования* Гидронол Н18 с другими жидкостями

ОТМЫВОЧНАЯ ЖИДКОСТЬ	ПЕНООБРАЗОВАНИЕ В ПРОЦЕССЕ ОТМЫВКИ	ПЕНООБРАЗОВАНИЕ В ПРОЦЕССЕ ОПОЛАСКИВАНИЯ	
Гидронол Н18	Концентрация 30 % → 0 мл пены	Концентрация 2 % в воде для ополаскивания – 10 мл пены (оседание через 8 секунд до 5 мл)	
Жидкость 2	Концентрация 30 % → 15 мл пены (оседает через 6 секунд)	Концентрация 2 % в воде для ополаскивания – 15 мл пены (оседание через 30 секунд до 5 мл)	
Жидкость 3	Концентрация 20 % → 45 мл пены (оседает через 20 секунд)	Концентрация 2 % в воде для ополаскивания – 30 мл пены (оседание через 30 секунд до 4 мл)	

* Для оценки высоты пены в мл использовался мерный цилиндр из набора Гидронол® для оценки концентрации раствора

Т 2

Пример сравнения экономической эффективности отмывочных жидкостей

	ЖИДКОСТЬ 2	ГИДРОНОЛ® Н18
Стоимость, руб. за литр без НДС (цены упрощены для расчетов)*	100	134
Концентрация по TDS, %	20	15
Потери раствора за один цикл, мл	250	200
Затраты вследствие выноса раствора на один цикл, руб.	5	4
Количество концентрата для заливки бака 33 л свежим раствором, л	6,6	5
Затраты на залив бака свежим раствором, руб.	660	663
Затраты на отмывочную жидкость итого в месяц, руб. (120 циклов отмыки)	1 260	1 146
Разница в стоимости затрат на отмывочную жидкость, %**		110

* для простоты расчетов приведена абстрактная стоимость, которая показывает примерную разницу в стоимости на основании данных из открытых источников

** при разнице в закупочной стоимости в 34 % не в пользу Гидронол Н18 выгода при его применении составляет не менее 10 %, не учитывая более длительный срок жизни раствора и ряд других отличительных особенностей

в первую очередь и оказывали бы непосредственное влияние как на концентрацию и расход моющего раствора, так и на его свойства и эффективность отмыки. В Т 3 приведены результаты сравнительных испытаний Гидронол® Н18 с некоторыми отмывочными жидкостями на потери при испарении. А наличие набора для достоверного контроля концентрации раствора Гидронол® К07 позволяют сделать процесс отмыки повторяемым и стабильным.

Безопасность. Для производства всех жидкостей Гидронол®, включая Гидронол® Н18, «Остек-Интегра» использует высококачественное сырье от проверенных поставщиков и производителей мирового уровня. А конечный продукт – отмывочная жидкость Гидронол® – не содержит никаких существенных объемов веществ с предельными значениями, которые необходимо отслеживать на рабочих местах. Информация о составе и содержащихся опасных веществах указывается в офи-

циальном паспорте безопасности, который предоставляется по первому запросу клиента на каждый продукт.

Пример 1

Один из ведущих производителей профессиональных средств связи различного назначения, с номенклатурой свыше 450 наименований различной серийности производства.

Проблема: существующая щелочная жидкость смыкает маркировку некоторых компонентов и повреждает паяльную маску.

Задачи для Гидронол® Н18: исключить повреждение маркировки и маски при сохранении высокого качества отмыки.

Применимые материалы:

- печатные узлы с покрытиями контактных площадок Гор. ПОС-61 по технологиям HASL, иммерсионное золото и с различными паяльными масками;

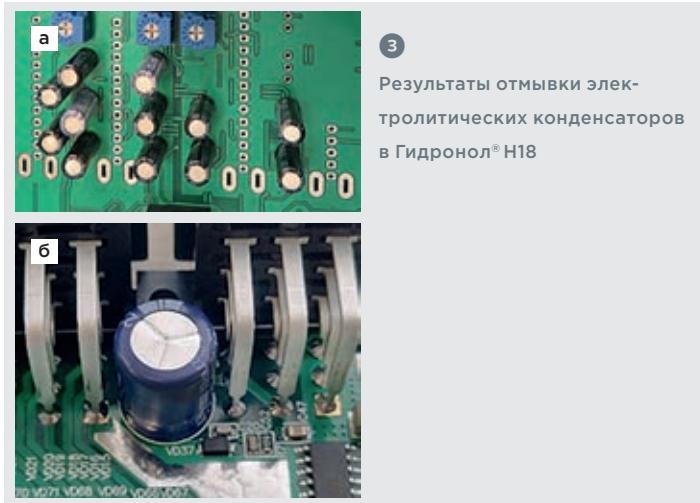
Т 3

Сравнение потерь при испарении* Гидронол Н18 с другими жидкостями*

ОТМЫВОЧНАЯ ЖИДКОСТЬ	45 °C	60 °C	
Гидронол Н18	67,2 мг/см ² ч	196,6 мг/см ² ч	
Жидкость 2	59,3 мг/см ² ч	231,94 мг/см ² ч	
Жидкость 3	86,5 мг/см ² ч	485,8 мг/см ² ч	
Деионизованная вода	82,1 мг/см ² ч	306,5 мг/см ² ч	



* 1 л отмывочной жидкости нагревался до 45 и 60 °C с минимальным перемешиванием



- керамические чип-конденсаторы 0402;
- микросхемы в корпусе BGA;
- резисторы типа Р1-12;
- микросхемы типа КТ-93-1;
- тестовые образцы алюминиевых деталей с покрытием Хим.Н12;
- паяльная паста Солиус CH801 тип 3, сплав припоя Sn62Pb36Ag2.

Оборудование для отмывки: система струйной отмывки PBT SuperSwash IIR+.

Параметры технологического процесса:

- концентрация Гидронол® Н18: 20 %. Измерение и контроль при помощи набора Гидронол® К07;
- типовая программа отмывки:
 - отмывка раствором при $T = 50^{\circ}\text{C}$ в течение 12 мин,
 - первичное ополаскивание деионизованной водой при $T = 55^{\circ}\text{C}$ в течение 10 мин,
 - финишное ополаскивание деионизованной водой $T = 25^{\circ}\text{C}$ в течение 10 мин,
 - сушка воздухом при $T = 60^{\circ}\text{C}$ в течение 10 мин («воздушные ножи»).
- контроль качества отмывки:
 - визуальный, с использованием микроскопа и микроэндоскопа Optilia Flexia BGA (только для печатных узлов с микросхемами в корпусе BGA),
 - тестовый набор Гидронол® КС для обнаружения канифольных остатков флюса на поверхности печатной платы,
 - тестовый набор Гидронол® КФ для обнаружения остатков активаторов флюса на поверхности печатных узлов.

Результаты испытаний:

- высокое качество удаления остатков флюса паяльной пасты после автоматизированного монтажа;
- отсутствие негативного влияния на критичные к воздействию моющих растворов маркировки

ЭКБ, в том числе микросхемы в корпусах типа КТ-93-1 и пленочную паяльную маску;

- отсутствие изменения цвета защитных металлических покрытий печатных плат;
- отсутствие изменения цвета образцов алюминиевых деталей с покрытием Хим.Н12 в пределах ГОСТ 9.301-86.

Пример 2

Научно-производственное объединение, предлагающее широкий спектр решений в области систем мониторинга, умного дома и вращающихся контактных устройств.

Проблема: из-за ограничений поставок зарубежной рН-нейтральной отмывочной жидкости необходимо найти и внедрить аналог российского производства.

Задачи для Гидронол® Н18: заменить зарубежную рН-нейтральную отмывочную жидкость при сохранении требуемых результатов отмывки в существующем технологическом процессе.

Применяемые материалы:

- алюминиевый компонент ТИЛ6В;
- алюминиевые электролитические конденсаторы;
- компоненты из цветных металлов.

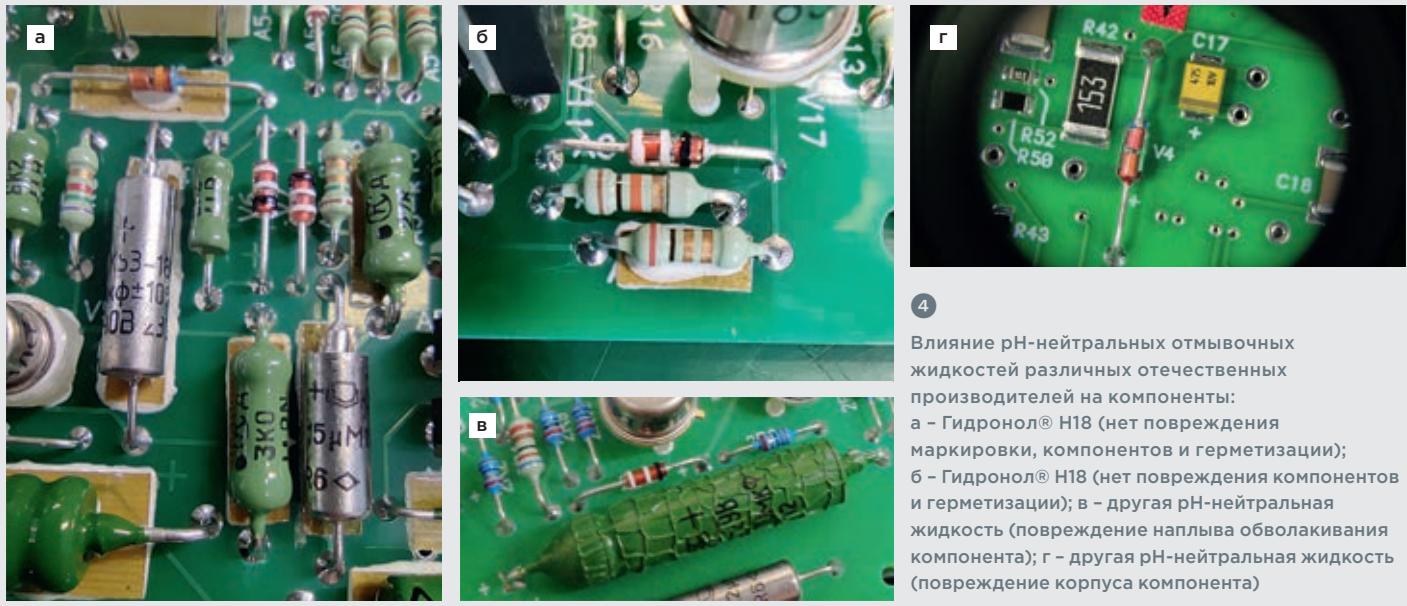
Оборудование для отмывки: система струйной отмывки PBT SuperSwash.

Параметры технологического процесса:

- концентрация Гидронол® Н18: 19 %. Измерение и контроль при помощи набора Гидронол® К07;
- типовая программа отмывки:
 - отмывка раствором при $T = 50^{\circ}\text{C}$ в течение 23 мин,
 - первичное ополаскивание деионизованной водой при $T = 44^{\circ}\text{C}$ в течение 13 мин,
 - финишное ополаскивание деионизованной водой $T = 40^{\circ}\text{C}$ в течение 14 мин,
 - сушка при $T = 60^{\circ}\text{C}$ в течение 10 мин.
- контроль качества отмывки:
 - визуальный, с использованием микроскопа под увеличением 20×,
 - тестовый набор Гидронол® КС для обнаружения канифольных остатков флюса на поверхности печатной платы,
 - тестовый набор Гидронол® КФ для обнаружения остатков активаторов флюса на поверхности печатных узлов.

Дополнительные испытания: часовая выдержка алюминиевого компонента ТИЛ6В в Гидронол® Н18 при $T = 62^{\circ}\text{C}$. Результат: не произошло окисление поверхности компонента, маркировка сохранилась.

Результаты испытаний: с поверхности печатного узла полностью удалены остатки канифоли, активаторов, флюса. Не обнаружено белого налета, шариков припоя, удаления маркировки, потемнения паяных соединений. Изменение цвета алюминиевых плат и компонента ТИЛ6В после отмывки не обнаружено (РИС 3).



4

Влияние pH-нейтральных отмывочных жидкостей различных отечественных производителей на компоненты:
 а - Гидронол® Н18 (нет повреждения маркировки, компонентов и герметизации);
 б - Гидронол® Н18 (нет повреждения компонентов и герметизации); в - другая pH-нейтральная жидкость (повреждение наплыva обволакивания компонента); г - другая pH-нейтральная жидкость (повреждение корпуса компонента)

Пример 3

Один из крупнейших контрактных производителей электроники в России. Предприятие выполняет все виды работ по изготовлению и монтажу печатных плат любых типов и уровней сложности, а также обеспечивает смежные услуги по влагозащите, маркировке, отмыке печатных узлов.

Проблема: при использовании существующей отечественной pH-нейтральной отмывочной жидкости смывается маркировка компонентов, в процессе отмыки наблюдается высокое пенообразование, что ухудшает результаты отмыки.

Задачи для Гидронол® Н18: исключить или сократить проблемы совместимости с оборудованием (пенообразование) и маркировкой компонентов.

Применяемые материалы: печатные платы с широкой номенклатурой отечественной ЭКБ и низкопрофильными компонентами.

Оборудование для отмыки: система струйной отмыки KOLB PSB500.

Параметры технологического процесса:

- концентрация Гидронол® Н18: 20 %. Измерение и контроль при помощи набора Гидронол® КО7;
- типовая программа отмыки:
 - отмыка раствором при $T = 50^{\circ}\text{C}$ в течение 30 мин,
 - первичное ополаскивание дейонизованной водой при $T = 40^{\circ}\text{C}$ в течение 8 мин,
 - финишное ополаскивание дейонизованной водой $T = 50^{\circ}\text{C}$ в течение 10 мин,
 - сушка в установке отмыки при $T = 20^{\circ}\text{C}$ в течение 1 мин,
 - продувка сжатым воздухом и сушка в сушильном шкафу до полного высыхания.
- контроль качества отмыки:
 - визуальный, с использованием микроскопа под увеличением 20 \times ,

- тестовый набор Гидронол® КС для обнаружения канифольных остатков флюса на поверхности печатной платы,
- тестовый набор Гидронол® КФ для обнаружения остатков активаторов флюса на поверхности печатных узлов.

Результаты испытаний: с поверхности печатного узла и из-под низкопрофильных компонентов полностью удалены остатки канифоли, активаторов, флюса. В процессе отмыки в установке не наблюдалось образование пены. Не обнаружено повреждения краски, маркировки и герметизации компонентов после отмыки. Проведено экспериментальное сравнение результатов отмыки и влияния на компоненты двух pH-нейтральных отмывочных жидкостей: Гидронол® Н18 и другой отечественной pH-нейтральной жидкости (рис 4).

Наконец-то в распоряжении отечественных производителей радиоэлектронной аппаратуры появилась отмывочная жидкость для особых и неповседневных задач – Гидронол® Н18 с pH-нейтральным составом. Данная жидкость не всегда может подойти для постоянного применения, но выручит в непростых технологических ситуациях, например, когда существуют высокие требования к жидкости по совместимости с чувствительными металлами и материалами печатного узла, с маркировкой компонентов. Жидкость специального назначения Гидронол® Н18 эффективно и ситуационно решает технологические задачи там, где не справляются жидкости на основе растворителей или щелочные растворы.

На практике доказана высокая экономическая эффективность Гидронол® Н18, позволяющая снижать себестоимость процесса отмыки на производстве на протяжении длительного использования.

Анализ дефектов печатных плат с помощью технической микроскопии

Текст: Александр Фролов

”

Анализ дефектов печатных плат имеет решающее значение для обеспечения функциональности и надежности электронных устройств. В статье представлен краткий обзор методов и приемов, используемых при анализе неисправностей печатных плат, начиная с выявления проблем и заканчивая углубленным анализом с использованием современной спектроскопии и микроскопии.

Печатные платы являются важнейшей частью современных электронных устройств, обеспечивая функциональность и взаимосвязь электронных компонентов. Однако даже при строгом контроле качества на всех этапах производства печатные платы могут выходить из строя из-за дефектов материала, загрязнений окружающей среды, проблем с пайкой или механического воздействия.

Точная диагностика и устранение этих дефектов особенно важны для поддержания надежности продукта и минимизации времени простоя. Для анализа отказов печатных плат используется множество комбинированных аналитических методов, позволяющих обнаружить основные причины сбоев.

Выявление симптомов и первичное обследование

Анализ неисправностей печатной платы начинается с выявления симптомов, указывающих на потенциальные неисправности. Эти симптомы могут проявляться в виде аномалий, таких как: изменение цвета, загрязнение, подозрительные паяные соединения, механические повреждения или коррозия. Использование стереомикроскопа при первоначальном осмотре позволяет предварительно оценить состояние печатной платы и дает ценную информацию о характере и степени неисправности (рис 1).

Распространенные механизмы отказа

Существуют две технологии монтажа компонентов на печатной плате: традиционная технология монтажа в отверстия (ТНТ) и технология поверхностного монтажа (SMT). Дефекты печатной платы обычно вызывают целый ряд проблем: от отказов компонентов до дефектов пайки и явлений, связанных с механическими нагрузками. К ним относятся микротрещины, трещины слоя припоя, корродированные отверстия, холодная пайка, дефектные или закороченные контактные площадки, остатки флюса, электромиграция, термическая усталость и механические перегрузки.

Понимание механизмов этих дефектов имеет решающее значение для целевого анализа и эффективных стратегий смягчения последствий.

Пробоподготовка

Для более детального анализа образцы печатной платы готовят аккуратно во избежание появления артефактов или повреждений. Образцы должны быть вырезаны точно, чтобы не допустить растрескивания деликатных материалов, включая стекло или керамику (рис 2).

Монтаж и притирку выполняют осторожно, чтобы не допустить механического разрушения или деформации, особенно хрупких компонентов. Процесс полировки также требует пристального внимания, чтобы ограничить количество остатков и обеспечить чистоту поверхности для анализа, что является важным для точной характеристики дефектов. В идеале финишный процесс выполняют с использованием установки ионного утонения Сохем СР-8000+ (рис 3).



1

Рабочее место визуального контроля на основе цифрового микроскопа и безокулярного микроскопа



2

Линия пробоподготовки MTDI: отрезной станок, прецизионный отрезной станок, пресс горячей запрессовки, шлифовально-полировальный станок



3

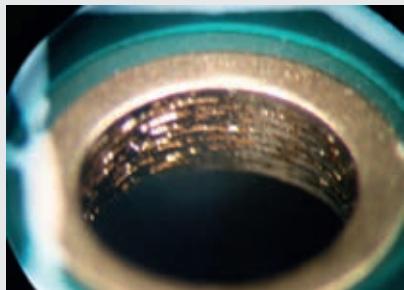
Установка ионного утонения Сохем СР-8000+

Примеры дефектов и их причин



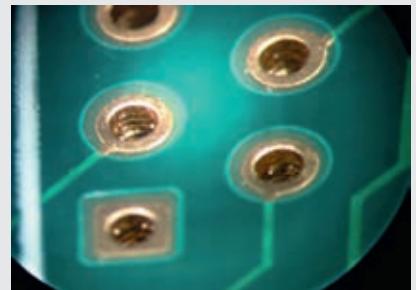
Дефект: смещение компонента в процессе оплавления

Причина: плохая смачиваемость/паяемость контактной площадки



Дефект: некачественная металлизация переходных отверстий

Причина: неудовлетворительная чистота внутренних поверхностей отверстий



Дефект: непропай

Причина: окисленные выводы компонента



Дефект: короткое замыкание между выводами компонента



Причина: неконтролируемые параметры процесса подготовки и/или нанесения паяльной пасты (ручное нанесение)



Дефект: смещение компонента

Причина: ошибка разработчика – неверные форма и размеры контактных площадок



Дефект: недостаточное количество пасты на контактных площадках



Причина: неконтролируемые параметры процесса нанесения паяльной пасты

СР-8000+ – это усовершенствованный инструмент для подготовки образцов, который травит поперечное сечение образца с помощью луча ионов аргона. Позволяет избежать физической деформации и струк-

турных повреждений, не требуя сложных химических процессов. Система упрощает анализ поперечного сечения образца за счет обработки больших площадей от десятков мкм до нескольких мм.



4 Растровый электронный микроскоп COXEM с установкой EDS

Аналитические методы

При анализе неисправностей печатных плат используются различные аналитические методы: от оптической микроскопии до инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FT-IR). Однако сканирующая электронная микроскопия с энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией (SEM-EDS) по-прежнему остается наиболее полным инструментом для определения характеристик места отказа, поскольку предлагает возможности визуализации с высоким разрешением и возможности элементного анализа. SEM+EDS позволяет оценить химический состав материала, идентифицировать механизмы отказа и обнаружить внешние загрязнения, давая всестороннее представление о природе и происхождении неисправности.

Передовые методы SEM

Инновации в технологии SEM, например, режим панорамы, доступный в SEM Coxem, обеспечивают улучшенные возможности локализации и определения характеристик неисправностей (РИС 4).



5

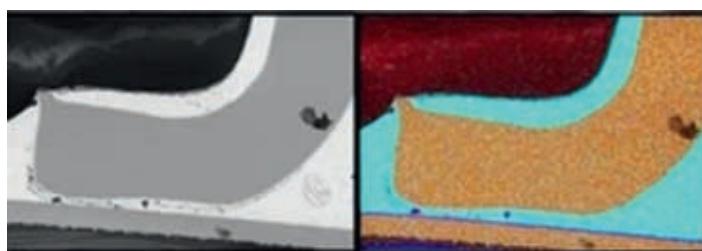
Получение и сшивание последовательности из 45 изображений BSE высокого разрешения с использованием режима панорамы Coxem. Изображение предоставлено: COXEM Co. Ltd.

Благодаря захвату последовательности изображений, объединенных вместе, режим панорамы дает возможность создавать изображения с высоким разрешением, охватывающие всю интересующую область. Эта функция в сочетании с усилением контрастности, которое обеспечивается визуализацией в обратнорассеянных электронах, позволяет быстро выявлять области дефектов и детально изучать особенности микроструктуры. Расширенные функции программного обеспечения для микроанализа EDS также позволяют точно определить характеристики загрязнения материала и химического состава, способствуя глубокому изучению основных причин неисправности (РИС 5, 6).

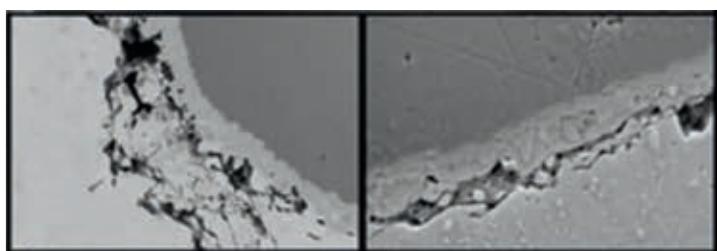
Заключение

Исследование неисправностей печатных плат требует междисциплинарного подхода с использованием различных аналитических методов и передовых инструментов микроскопии.

Благодаря тщательной подготовке проб, тщательному анализу и соблюдению отраслевых стандартов можно точно определить коренные причины дефектов, что позволяет принять обоснованное решение и реализовать эффективные корректирующие меры. Продолжающееся развитие технологии SEM позволит еще больше расширить возможности анализа отказов печатных плат и обеспечить надежность и производительность электронных устройств. □



6 BSE-изображение и EDS-карта припоя SMD-компонента (слева). Трещины в слое припоя и интерметаллической фазе, видимые на изображениях SE и BSE. Изображение предоставлено: COXEM Co. Ltd. (справа)



Главные проблемы конденсаторов и их решение

Текст: Арсений Ликий

”

Пожалуй, каждый инженер в своей жизни сталкивался с неработающим блоком питания, телевизором, усилителем звука или другой техникой, причиной выхода из строя которой являлись обычные электролитические конденсаторы. Известно, что этот пассивный компонент деградирует как от воздействия повышенных напряжений и пульсаций напряжения, так и от времени. Хороший «электролит» способен сохранять свою работоспособность (конечно, с некоторыми оговорками) и через 10 лет после производства, а вот продукция низкого качества может выйти из строя уже через год.

Ключевые характеристики конденсатора – это его ёмкость и эквивалентное последовательное сопротивление (ESR). Нельзя забывать и о токах утечки, коэффициенте абсорбции и ряде других параметров, например, тангенсе угла диэлектрических потерь. Но так или иначе в большинстве случаев отказ техники связан с тем, что конденсатор «высох» – у него упала ёмкость и/или увеличился ESR.

Измеритель С и ESR E7-53 (рис 1), разработанный инженерами компании «Остек-Электро», позволяет измерить эти два ключевых параметра конденсаторов в широком диапазоне ёмкостей: от 10 нФ до 500 мФ. А контроль ESR возможен в диапазоне от 2 мОм до 5 Ом. Впрочем, конденсатор с ESR выше 1 Ома смело можно утилизировать, так как при наличии такого сопротивления он просто не в состоянии выполнить свою главную задачу – быстро зарядиться и выступить в качестве мгновенного источника тока (естественно, если речь идёт об источнике питания).

Необходимо отметить, что на рис 1 представлен опытный образец разработанного прибора. Инженеры компании ведут работу над тем, чтобы минимизировать массогабаритные характеристики и повысить точность измерений. Но уже сейчас точностных характеристик прибора достаточно для выполнения как ремонтных работ, так и входного контроля конденсаторов.

Точность измерения ESR полностью зависит от ёмкости измеряемого конденсатора. Прибор E7-53 обеспечивает точность измерения ESR не хуже 15 % при работе на границе диапазона измерения, а при контроле конденсаторов средней и малой ёмкости – в пределах 5 % (т 1).

Важной особенностью измерителя E7-53 является возможность внутрисхемной работы: при проведении диагностики или ремонта не требуется выпаивать потенциально вышедший из строя конденсатор. Даже если речь идёт о диагностике цепи питания, в которой параллельно установлено большое количество электролитов, удаётся локализовать проблемный участок и значительно сократить временные затраты на устранение неисправности.

Прибор оснащён встроенной аккумуляторной батареей, которая обеспечивает автономную работу изделия в течение не менее 8 часов, а вся электронная начинка выполнена преимущественно из отечественной элементной базы.

Существуют ли аналоги разработанного прибора? Конечно, существуют. Но по понятным причинам приобрести их можно лишь на Алиэкспресс, OZON или Авито.

На рис 2 показаны приборы, которые успешно реализуются находчивыми предпринимателями, и являются ни чем иным, как радиолюбительской разработкой, «показометрами», но никак не средствами измерения. И речь тут вовсе не о наличии заветной бумаги, подтверждающей метрологические характеристики. Радиолюбители разрабатывают такие приборы, преследуя



1

Измеритель С и ESR E7-53

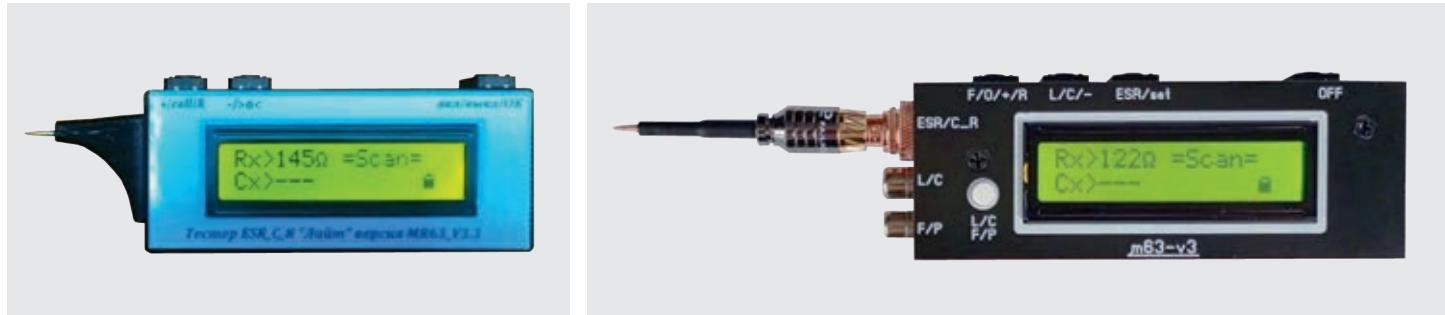
цель сделать максимально качественно из подручных и недорогих материалов. Стоит упомянуть, что и диапазон «измерений» таких приборов составляет всего 100 нФ...60 мФ. Конечно, «домашнему мастеру» такого прибора будет достаточно, особенно когда не стоит задача проверять дорогостоящие электролиты, применяемые в мощных импульсных блоках питания (например, серверных). Есть еще другой «комбайн», в просторечье именуемый «Тестер Маркуса». Приборчик позволяет успешно проверить параметры резисторов, конденсаторов, транзисторов и других полупроводников. И это тоже отличный показометр, но способный обеспечить лишь приблизительный, оценочный уровень точности, к тому же он не может проводить измерения прям на плате, то есть внутрисхемно. Конструктивной особенностью данного прибора (и всевозможных его модификаций) является наличие ZIF-панели с зажимными контактами и нулевым усилием.

RLC-метр – универсальное средство? Вовсе нет! Многие считают, что для задачи контроля параметров

т 1

Измерение ёмкости конденсаторов

ДИАПАЗОН ИЗМЕРЕНИЯ	ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ, %
0,01...0,499 мкФ	5
0,5...0,999 мкФ	3
1...99,99 мкФ	1
100...499 мкФ	2
500...4999 мкФ	3
5...99 мФ	5
100...500 мФ	10



2

Варианты приборов-«показометров»

конденсаторов подойдет RLC-метр. Но стоит заметить, что RLC-метры, как правило, измеряют импеданс, а все остальные величины являются результатом математической обработки. Часто ли разработчик импульсного блока питания оперирует импедансом конденсаторов, применяемых в схеме накачки? Или всё-таки он ориентируется на максимальный ток (зависящий от ESR напрямую) и непосредственно ёмкость конденсатора?

Существует методика, позволяющая оценить ESR конденсатора и при помощи RLC метра, но она требует производить измерение импеданса и угла фазового сдвига на компоненте на разных частотах, пока не будет найден нулевой фазовый сдвиг между сигналом тока и напряжения. Именно в этой точке реактивные составляющие – ёмкостная и индуктивная – минимальны, а импеданс компонента можно приравнять к чисто активному сопротивлению (ESR). Правда, как показывает практика, такой метод даёт результаты приемлемой точности далеко не всегда, потому что поведение электрохимического состава в некоторых моделях конденсаторов очень непредсказуемо. И у нас есть тому подтверждение.

Один наш крупный партнёр, который занимается серийным выпуском мощных импульсных блоков питания, передал нам партию неработоспособных конденсаторов ёмкостью 3300 мкФ, напряжением 160 В. Что они только с ними не делали: и проверяли на утечку, и проводили электротермотренировку... Параметры конденсаторов оставались в пределах нормы, в соответствии с паспортом изделия, а вот собранные модули не работали ни в какую. Мы провели исследование и выяснили, что RLC-метр определяет ESR на уровне 12 мОм, что действительно укладывается в норматив. Только вот измерив ESR с помощью E7-53, мы увидели совершенно иную цифру – 118 мОм. Результат отличается на порядок! И хотя ёмкость действительно находится в пределах нормы, с таким повышенным сопротивлением работа в мощном импульсном источнике попросту невозможна.

Учитывая всё вышеизложенное, можно сделать однозначный вывод – наиболее правильным методом измерения ESR конденсаторов является метод постоянного тока, который и реализован в измерителе E7-53. Широкий диапазон измерения ёмкости, высокий показатель времени автономной работы и небольшие габариты прибора позволяются организовать как рабочее место входного контроля конденсаторов, так и использовать E7-53 в качестве портативного средства измерения. Последнее, кстати, весьма актуально при проведении технического обслуживания телекоммуникационного и серверного оборудования, в шкафах которого можно обнаружить импульсные источники питания огромной мощности. Известно, что регламентами обслуживания производителя такого оборудования предусмотрена регулярная замена мощных конденсаторов, а стоимость их может составлять несколько тысяч долларов. Контролируя ёмкость и ESR такого компонента, можно значительно сэкономить финансовые средства предприятия.



3

Прибор «Тестер Маркуса»



РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ FLEX:РОБОТОИНСПЕКЦИЯ •••



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



Решения для сборочно-монтажных производств электроники
Остек-Умные технологии: flex@ostec-group.ru | ostec-flex.ru

Создание производств мирового уровня в России: первоочередные задачи, проблемы и перспективы

”

В условиях серьезных изменений на российском рынке одной из насущных задач стало создание производств электроники, отвечающих самым высоким современным требованиям. Предприятия отрасли ведут поиск решений и разработку концепций, направленных на повышение эффективности, качества управления и уровня технологического оснащения своих производств.

На выставке ExpoElectronica 2024 в рамках дискуссионной сессии «Путь к технологической независимости вычислительной техники: что пройдено, что предстоит» генеральный директор компании «Остек-СМТ» Евгений Липкин выступил с докладом, в котором рассказал о приоритетах развития отрасли приборостроения и создании производств, соответствующих мировому уровню по таким показателям, как: операционная эффективность, уровень менеджмента качества, возможность производства высокотехнологичной продукции с высокой добавленной стоимостью.



1

Мировая карта «компаний-маяков» по состоянию на январь 2023 года (по данным Всемирного экономического форума 2023 года)

Сегодня много говорят о необходимости достижения технологического суверенитета, однако следует учитывать, что импорт продукции в нашу страну никогда не прекратится в силу естественного международного разделения труда. Поэтому для устойчивого развития отечественной электронной отрасли необходимо создавать такую продукцию и такие производства, которые могли бы успешно конкурировать с лучшими мировыми брендами. Перспективы отрасли зависят от того, насколько быстро мы сможем создать производства, соответствующие мировому уровню.

Довольно длительное время отечественная радиоэлектронная отрасль, в частности предприятия, которые выпускали серийную продукцию, находилась в достаточно комфортных условиях. Мы ориентировались на серийное производство относительно простой продукции, не требующей от предприятий сверхусилий. Когда задача становилась чуть сложнее, мы просто делали выбор в пользу импорта. Конечно, оставались сегменты, в которых продукция имела свою специфику. В первую очередь, это изделия ответственного применения, связанные с безопасностью, защитой и др. Однако эта более сложная продукция производилась малыми сериями – до сотен штук.

В 2022 году ситуация изменилась, мы вышли из зоны относительного комфорта и встали перед острой необходимостью наладить серийное производство, причем в значительных объемах, весьма сложной продукции. И вот здесь вскрылись узкие места нашей отрасли. Выявился значительный дефицит производственных площадок и мощностей, которые могли бы серийно производить сложную аппаратуру с требуемым уровнем качества и цены. Кроме того, радикально возросли требования к производственным площадкам по всем параметрам: по системе обеспечения качества, по логистике, по степени автоматизации производства, по оснащению, по качеству производственного менеджмента, по квалификации персонала, по другим важнейшим показателям.

Современный тренд на достижение технологического суверенитета в России означает создание широкого спектра производственных площадок под разные продуктые

сегменты отрасли, которые могли бы производить серийно высокотехнологичную продукцию с высокой добавленной стоимостью.

В международной практике передовые производства принято называть – «предприятия-маяки», то есть те предприятия, которые «освещают» путь другим. Это образцово-показательные предприятия, которые на своих производствах обкатывают перспективные управленческие решения, доводят их до совершенства, повышают эффективность и передают накопленный опыт во внешний мир. И таких маяков в мире достаточно много. По состоянию на январь 2023 года в мире насчитывалось 132 компании-маяка. На карте (рис. 1) можно увидеть три ярко выраженных белых пятна – Австралия, Африка, Россия. Можно ли исправить ситуацию и создать производства мирового уровня в России, причем в сжатые сроки?

Компания «Остек-СМТ» разработала и реализует ряд комплексных решений в области создания современных производств, связанных с монтажом печатных плат. У компании две большие стратегические цели.

Во-первых, к 2030 году планируется создать как минимум 50 предприятий мирового уровня. В качестве промежуточного итога – и это вторая цель – на конец 2025 года запустить 25 «предприятий-маяков», то есть предприятий, на которых были бы реализованы те передовые решения, которые лягут в основу построения будущих предприятий мирового уровня.

Работа по реализации цели на 2025 год идет достаточно активно. В значительной степени это работа с предприятиями, где требуются существенная модернизация и построение новых производств. Здесь мы плотно сотрудничаем и с членами консорциума вычислительной техники, и с другими отраслевыми сегментами. Задача очень масштабная.

Что представляет собой предприятие международного, мирового уровня? Какие у него критерии? Во-первых, это определенный уровень технологической и организационной зрелости, который определяет уровень технологий, культуру производства, производственную эффективность. В качестве критериев этого уровня применяются международные стандарты, например, стандарты АРС.



2

Евгений Липкин на дискуссионной сессии «Путь к технологической независимости вычислительной техники: что пройдено, что предстоит»

Во-вторых, устойчивый рост в течение нескольких лет. В текущих условиях мы не можем использовать горизонт планирования больше трех лет, но хотя бы три года предприятие должно расти. Это важный критерий, показывающий, что предприятие развивается в правильном направлении.

Третий критерий – экспорт продукции и производственных услуг минимум в три страны мира. Это могут быть союзные, дружественные страны, не принципиально. Если продукция находится на внешних рынках, где нет протекций, и готово выдерживать конкуренцию, значит потенциал у предприятия есть.

Четвертый критерий – возможность серийного производства изделий с высокой добавленной стоимостью. Это продукция высокого передела с высокой интеллектуальной компонентой и ноу-хау, в перспективе – высокомаржинальная продукция.

Это самый верхний уровень критериев, фактически, их намного больше.

Создание производств мирового уровня в России сегодня сдерживается рядом обстоятельств. Можно выделить три фактора, которые создают больше всего проблем.

Первый фактор – ограниченный доступ к технологиям производства и управления. В силу ряда торговых санкций, существующих на данный момент, доступ к определенным средствам производства, ПО и другим инструментам ограничен. Раньше все это было доступно, сейчас приходится перестраиваться.

Второй фактор – дефицит компетенций в области производственного менеджмента и управления качеством. Это самая серьезная проблема на сегодняшний день, решить которую гораздо сложнее, чем восполнить нехватку технологов.

Третий фактор – сложность проектного управления при создании производства. Здесь существует ряд системных проблем. Например, предприятие закупило оборудование и подключило его, а что делать дальше – не всегда понимает. Это следствие недоработки на стадии целеполагания, то есть либо цель не точна, либо она не ставится вовсе. А если цель сформулирована не четко, то и дорога будет не прямой. Из-за этого страдают темпы развития проекта и его эффективность.

Какие пути решения этих проблем предлагает «Остек-СМТ»?

Во-первых, в части ограничений доступа к технологиям, – создание комплексных решений на базе доступного оборудования и ПО собственной разработки. Мы контактируем с дружественными странами, которые предлагают доступные решения. Мы находим решения, которые могли бы помочь в реализации непростых насущных задач, и работаем с российским ПО, включенным в Реестр, в том числе с ПО собственной разработки.

Второе – повышение квалификации персонала, в частности в сфере среднего менеджмента. Уже в этом году на базе одного из участников консорциума вычислительной техники будет реализован первый пилотный проект по подготовке специалистов среднего производственного менеджмента. Это самая востребованная и критически важная группа специалистов, без которых невозможно построить производство мирового уровня у нас в стране. Речь именно о среднем менеджменте производств – руководителях производств, руководителях цехов и др. Будет реализована комплексная программа подготовки. Сейчас идет формирование контента, привлечение докладчиков, в программу будет включен практикум.

Третье – реализация проектов «под ключ» с выведением их на целевые показатели. Мы предлагаем то, что востребовано рынком сегодня, а именно решения «под ключ», когда конечной точкой является не поставка оборудования и нажатие кнопки «старт», а вывод проекта на целевые показатели эффективности, производительности, выход годных с первого прохода и ряд других сводных показателей производства. Это серьезная проектная работа, требующая привлечения высококвалифицированных специалистов. Ряд таких проектов на сегодняшний день уже реализован.

Сейчас перед нами стоит важная задача обеспечения отечественных производств комплексными решениями, поддержкой и персоналом, который способен эффективно использовать предоставленный инструментарий и понимать, как с помощью этого инструментария обеспечить выход предприятия на целевые показатели, соответствующие мировому уровню.



Создание производств мирового уровня



Евгений Липкин
Генеральный директор Остек-СМТ

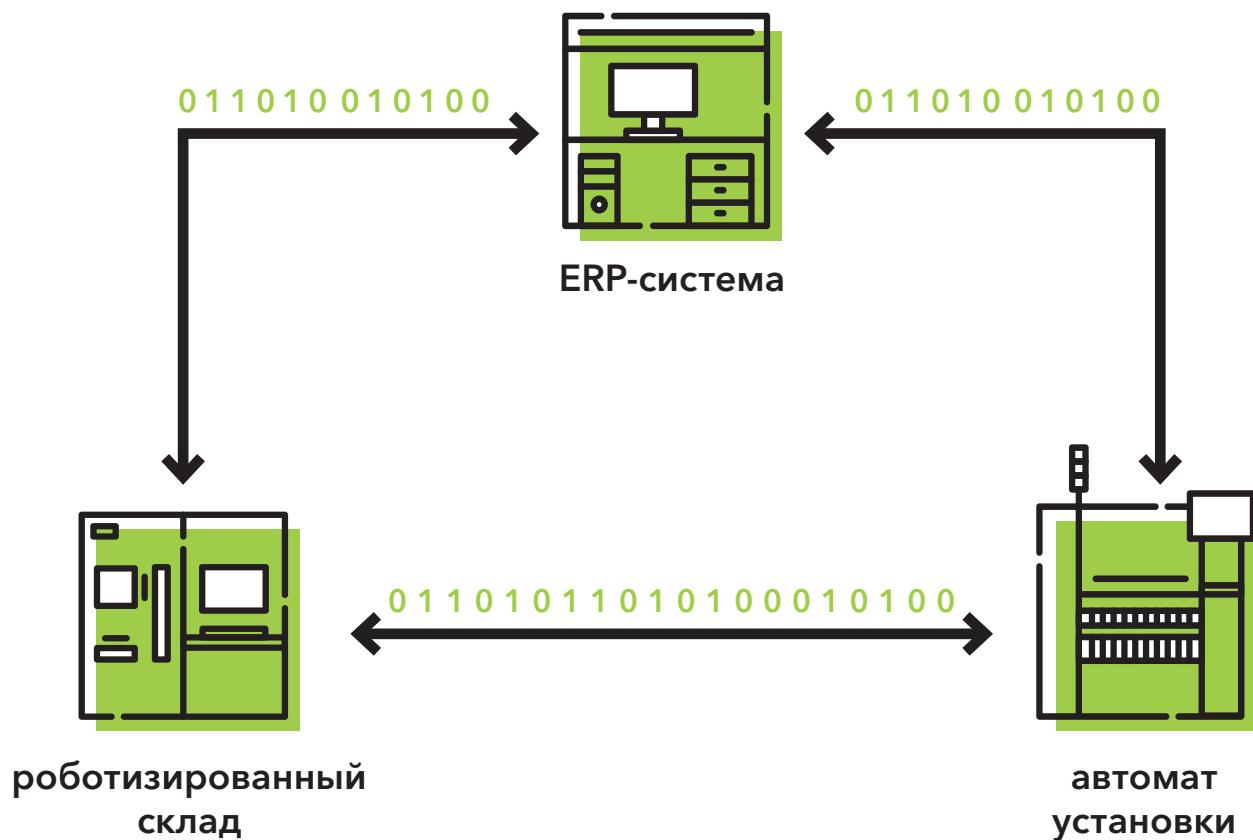


смотреть видеообзор

osteck-smart.ru/media

Склад 4.0

Комплексное решение
для цифрового сборочного производства



Узнать больше

Соответствие концепции «Индустрия 4.0»

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

Создание производства как проект. Базовые элементы

Текст: Сергей Морозов

”

Чтобы построить современное производство сборки печатных плат, необходимо продумать огромное количество деталей, реализовать обширный комплекс решений – необходимо полное погружение во все нюансы проекта. На результат влияют сотни факторов, связанных с конструкцией выпускаемых изделий, применяемыми технологиями, производственной логистикой, используемым оборудованием, обслуживающим персоналом, подготовкой помещений и инженерных коммуникаций. Важно не упустить ни одной детали. И все это – на основе углубленного анализа задач не только сегодняшнего дня, но и в перспективе долгосрочного развития.

В серии статей в общих чертах будет рассмотрено создание производства серийной сборки печатных плат и рассмотрены критерии, по которым можно определить, что производство является эффективным производством. Эти статьи, в первую очередь, ориентированы на тех, кто хочет создать новое производство, но не знает с чего начать. Мы обсудим вопрос конкурентоспособности выпускаемой продукции на мировом рынке и способы ее достижения. Рассмотрим, как повысить качество и надежность выпускаемой продукции, обеспечить низкое количество отказов в гарантийный период, повторяемость параметров технологических процессов, рыночную стоимость выпускаемых изделий и, по возможности, минимизировать ее, как достичь эффективности вложенных в производство инвестиций.

Проект построения производства успешен только тогда, когда в результате его реализации предприятие начинает выпускать экономически эффективные изделия с новыми качествами и по новым технологиям. Но на успешность проекта в таком понимании влияют и технологичность изделия, и продуманность производственных решений, и подготовка помещений, включая вопросы строительства, и потребительские свойства будущих изделий.

Создание производства необходимо рассматривать как реализацию полноценного проекта, а значит можно применять всемирно признанные практики по управлению проектами. На старте проекта необходимо определить основные цели проекта, границы сроков реализации, ориентировочный бюджет и состав участников проекта.

Производство сборки печатных плат

Как же выглядит производство сборки печатных плат и из каких необходимых элементов оно состоит?

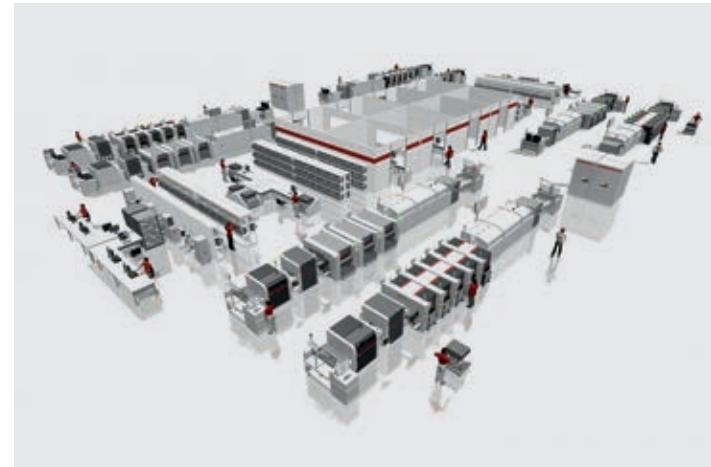
Склад

Любое производство начинается со склада и им же заканчивается. Правильная организация работы склада позволяет исключить простой производства из-за неправильного хранения материалов, некорректного учета и планирования закупок и является очень важным элементом цепочки.

После того, как продукция со склада взята, начинается сам процесс производства. Он включает множество этапов и каждый этап требует определенных ресурсов и времени, а также контроля качества на всех стадиях. В конце производства готовое изделие возвращается на склад, где оно хранится до момента отгрузки. Здесь проводится финальный контроль качества и упаковка продукции, после чего ее отправляют к потребителю.

Таким образом, склад является связующим звеном между всеми этапами производства и конечным заказчиком. От его работы зависит эффективность всего технологического процесса.

Склад – это также и отправная точка для организации процесса прослеживаемости. Это необходимо,



1

Производство

чтобы иметь возможность установить происхождение материалов, комплектующих и готовых изделий, а также определить историю их обработки, транспортировки и хранения. Фактически, должна быть построена система контроля и учета за движением продукции на всех этапах производства.

Цель организации прослеживаемости на производстве заключается в обеспечении качества и безопасности продукции, установлении ответственности за брак и несоответствующую продукцию, а также для оптимизации процессов производства и логистики.

Прослеживаемость обычно реализуется через внедрение информационных систем, которые связывают все этапы производства и обеспечивают возможность отслеживания продукции с помощью уникальных идентификаторов. Применительно к производству радиоэлектроники – это серийные номера и иная кодировка, нанесенные физически с помощью оборудования для маркировки (например, штрихкоды, QR-коды, метки RFID).

Процесс прослеживаемости на предприятии начинается с приемки комплектующих. При массовом производстве к вопросу о требованиях прослеживаемости добавляется еще и скорость работы склада. Чем быстрее комплектующие поступают на производство, тем быстрее будет готов продукт. Помощью складскому персоналу служат автоматизированные станции для регистрации компонентов. Они обеспечивают быстрое поступление компонентов благодаря машинному распознаванию заводской маркировки на упаковке. Обычно информация о производителе и компоненте, номер партии и количество компонентов на упаковке представлена в виде штрихкодов.

Автоматизированная станция регистрации компонентов взаимодействует с интеллектуальными системами хранения и ERP-системой предприятия. Каждая оприходованная катушка сразу же регистрируется в ERP-системе и готова к выдаче на производство.

Интеллектуальные склады способны автоматически организовывать внутреннее хранение, определяя оптимальное расположение поддонов. Персонал осуществляет погрузку и разгрузку единиц хранения через специальное окно, а все перемещения по складу автоматизированы. Система управления позволяет эффективно управлять дополнительными складскими площадями, такими как шкафы ячеистого хранения, а также контролировать площади существующих стеллажей, обеспечивая оптимальное использование всей площади склада.

Автоматизированное хранение компонентов, организованное таким образом, позволяет производству оперативно получать информацию об остатках компонентов, хранить их в соответствии с рекомендованными производителем условиями, соблюдая требования к температуре и влажности, отслеживать наличие комплектации для выполнения заказов, автоматически формировать ведомости закупки или доставки комплектующих с основного склада.

Учет комплектующих в автоматизированных системах хранения интегрируется с ERP-системой предприятия. Умные склады также связаны с автоматами установки компонентов. У этой связи три основные функции. Первая – в режиме реального времени происходит учет расхода компонентов в каждой катушке на установщике. В случае, когда частично использованная катушка вновь возвращается на хранение, у склада уже есть информация об остатке в этой катушке. Вторая – когда в катушке заканчиваются компоненты, установщик может заранее подать складу команду на выгрузку новой катушки. В таком случае оператор заранее заряжает питатель, полностью исключая возможность простоя установщиков из-за доставки компонентов и зарядки питателей. Третья – интеграция интеллектуальных систем хранения и установщиков создает привязку установленных компонентов к плате и обеспечивает их прослеживаемость.

Входной контроль

Перед началом производства компоненты, печатные платы, материалы, поступившие на склад, проходят входной контроль. Как правило, этим занимается служба качества. При получении печатных плат происходит их визуальный осмотр, контроль толщины и состава покрытий с помощью специализированных инструментов, проверка на целостность цепей с помощью установки электрического контроля, оценка паяемости с помощью специального тестера.

При получении комплектующих выполняется их визуальный контроль по внешнему виду, проверка на соответствие параметров. Материалы, которые будут использоваться в производственном процессе, должны быть проверены на наличие дефектов.

Объем и вид контроля в основном зависит от вида готового изделия. Если это штучное изделие для кос-

мического применения, то контроль может быть близок к 100 %.

Перед поступлением на производство комплектующие нужно распаковывать, поскольку их упаковочные материалы не должны попадать на производственную площадку. Все эти материалы собирают и вывозят на переработку непосредственно из складского помещения.

Маркировка

Цифровая трансформация предприятий сегодня перестала быть просто модным трендом. Это крайняя необходимость с жесткими требованиями к процессам сбора, хранения и использования информации. Одно из этих требований – наличие читаемой маркировки на каждой единице цифрового сборочно-монтажного производства. Маркировке подлежат комплектующие, печатные платы, оснастка, инструмент и сами станки. У каждого элемента, подлежащего учету и контролю, должен быть собственный уникальный код или отметка.

Участок сборки печатных узлов на фоне других производственных и особенно складских зон предприятия выглядит небольшим. Производство на линии поверхностного монтажа начинается с автоматического загрузчика. Печатные платы из автоматического загрузчика поступают в лазерный гравировщик, который гравирует код (QR-код или иной код) на каждой плате. Это необходимое условие для заводской системы прослеживаемости, с помощью которой можно узнать всю «историю жизни» изделия на технологических этапах производства.

В зависимости от вида собираемого изделия и соответствующего технологического процесса по его сборке далее оно может проходить через следующие участки производства: участок поверхностного монтажа, участок выводного монтажа, рентгеновский контроль, функциональный контроль, участок депанелинга и т. д.

Остановимся немного подробнее только на описании участка поверхностного монтажа.

Участок поверхностного монтажа

Печать паяльной пастой

Критический важный этап в процессе, на котором принтер наносит паяльную пасту, используя заготовленный ракель и трафарет. Паяльная паста представляет собой схожую с замазкой смесь порошкообразного металлического припоя и липкого флюса. Для удержания компонентов поверхностного монтажа на месте флюс служит временным клеем, а также используется для очистки поверхностей пайки от загрязнений и окисления.

Каждая площадка должна быть покрыта правильным количеством пасты, иначе соединение будет некорректно установлено при расплавлении припоя в печи для оплавления. Установки трафаретной печати высокого качества обеспечивают высокую повторяемость процесса благодаря контролю параметров нанесения пасты: давления ракеля, его угла, скорости перемещения

и влажности воздуха в зоне печати, которая контролируется датчиками в составе установки.

Контроль нанесения паяльной пасты

Установка автоматической оптической инспекции (SPI) контролирует качество нанесения паяльной пасты. Если дефект нанесения пасты обнаружен на SPI, плата отправляется на отмыку. Если качество допустимое, то далее плата отправляется в установщик компонентов.

Размещение компонентов

Используются специальные установщики для монтажа компонентов на печатной плате. Из упаковки каждый компонент извлекается тем или иным способом. Так, для катушек с SMD-компонентами – с помощью вакуума захватывающей насадкой, и машина установки помещает компонент в предусмотренное место на плате. Плата перемещается по конвейерной ленте, в то время как электронные компоненты размещаются на ней быстрыми и точными машинами. В таком процессе требуется точность, так как каждое ошибочное размещение компонента может оказаться дорогостоящим и занять большое количество времени на ремонт.

Помимо высокой производительности современные установщики компонентов способны быстро выполнять переналадку – где-то в течение получаса. Это время, необходимое, чтобы загрузить новые рабочие программы, пристыковать к автоматам уже подготовленные подкатные тележки с питателями и запустить саму сборку.

Зарядка питателей и подготовка программ осуществляется вне линии и без необходимости ее остановки. Управляющие программы для автоматов готовятся в специализированном ПО. Данные программы включают также инструменты для анализа сборочного процесса, что позволяет своевременно его корректировать, минимизировать брак и сокращать количество и время простоев.

Машины заранее предупреждают, что компоненты в конкретном питателе в скором времени подойдут к концу. При этом заправленный питатель может быть заранее установлен в свободный слот, и когда в питателе закончится лента с компонентами, машина начнет использовать новый. Такая функция значительно оптимизирует время.

Пайка оплавлением

Когда компоненты размещены, печатная плата отправляется по конвейеру в печь для пайки оплавлением в соответствии с настроенным температурным профилем. Пайка осуществляется в азотной среде. Это позволяет достигать более высокого качества пайки плат с миниатюрными компонентами и высокой плотностью их расположения. Азотными генераторами вырабатывается инертный газ, поэтому желательно предусмотреть два отдельных генератора, если один из них выйдет из строя.

Процесс пайки компонентов проходит следующие этапы:

- зона предварительного нагрева;
- зона стабилизации;
- зона пайки;
- зона охлаждения.

Если печатная плата двусторонняя, то этот процесс может повториться.

Следует отметить, что платы современной вычислительной техники имеют много слоев – у типичного изделия их 12–14. Такие платы обладают большой теплоемкостью и подчас нагреваются медленнее сложных компонентов, которые очень критичны к тепловым воздействиям несмотря на то, что такие компоненты сами по себе часто достаточно массивные. Поэтому термофилированию на этапе отладки должно уделяться большое внимание.

Контроль наличия дефектов в готовом изделии

После пайки проверяется наличие дефектов платы с помощью системы Автоматической оптической инспекции (АОИ). Одно из основных преимуществ применения АОИ – возможность выявлять систематические ошибки. Система позволяет собирать статистику дефектов, анализировать полученные за большой промежуток времени данные и на основе этой информации корректировать процесс сборки. Платы сортируются в зависимости от прошедшего автоматического контроля. При обнаружении дефектов плата попадает в буфер «BAD». В случае, если дефектов нет, – в буфер «GOOD». Платы с дефектами отправляются на участок ремонта.

Отмыка

На производстве, как правило, участок отмыки организован в отдельной комнате, смежной с помещением, где устанавливается сборочная линия. Если при сборке продукции используется не требующая отмыки паста, то платы сразу же отправляются на этап финальной сборки.

Финальная сборка

Далее платы поступают на участок финальной сборки. На этом этапе они устанавливаются в корпуса и передаются на финальное тестирование, где в полуавтоматическом режиме проверяется весь функционал продукции с помощью оператора. Далее распечатывается серийный номер, изделия упаковывают и отправляют на склад готовой продукции.

Проект построения производства можно условно разбить на пять этапов: Планирование, Проектирование, Реализация, Обучение, Оптимизация. В следующем выпуске журнала «Вектор высоких технологий» мы детально разберем каждый из них, а также отдельно обсудим вопросы, которые могут возникнуть после завершения проекта реализации и формального перехода его в фазу Эксплуатация.

Индустрия 4.0

не только на бумаге

Текст: Александр Завалко

”

Некоторым может показаться, что происходящие в последние годы события отменили в РФ не только CoViD-2019, нанотехнологии, но и четвертую промышленную революцию. Точнее не отменили, а сделали не актуальной. Дескать, не до виртуальных цифровых двойников сейчас и прочих недружественных изобретений коллективного Запада. Спешим не согласиться с такой оценкой ситуации.

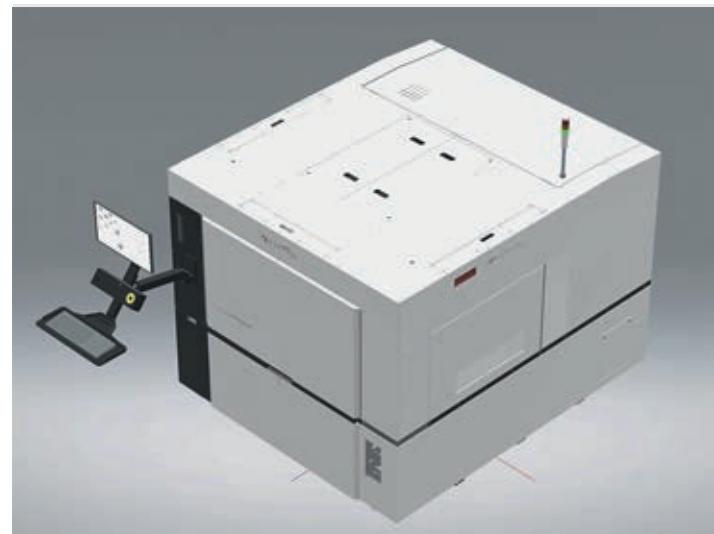
Именно сейчас роль 3/4/5D-моделирования, проектирования приборного производства в цифровой реальности стала актуальна как никогда. Выросли сроки поставки и бюджеты закупки технологического оборудования, подготовки помещений, закупки комплектующих, расходных материалов, найма и адаптации производственного персонала. Все ключевые элементы приборного производства стали дороже, дольше и рискованнее в реализации.

Поэтому подходы «по месту подберем», «сами доработаем», «сначала аванс и заказ на производство получим, потом разберемся» стали еще более ненадежными. Из-за повсеместного изменения цепочек поставок стало сложно опираться на советы опытных и бывалых коллег. Уже нельзя вот так взять и купить «известный, проверенный, первоклассный» станок или электронный компонент у опытного, надежного поставщика.

Более того, в приборостроении «известная и проверенная» модель оборудования значит, что модель – устаревшая. По крайней мере, морально. Средний срок морального устаревания промышленного оборудования в электронике – около 5 лет.

Мы всегда ратовали за применение современного, инновационного, передового в стране и мире оборудования, но без подходов «первый блин – комом» и других «детских» болезней. Уменьшить риски очень помогает цифровое моделирование будущего производства.

На **рис 1** показана 3D-модель конвейерной, полностью автоматической установки рентгеновского контроля электронных изделий. Модель новейшая, таких не то что в РФ, а вообще в мире – пока еще считанные единицы. При этом срок заказа, изготовления, поставки, подготовки помещений и персонала, пусконаладки, освоения такого оборудования в производстве – не менее года. Для мощной многотонной рентгеновской установки не подойдет любое помещение, эксплуатировать ее должны обученные работе с источниками ионизирующего излучения работники, проходящие медицинские осмотры и т. д.



1

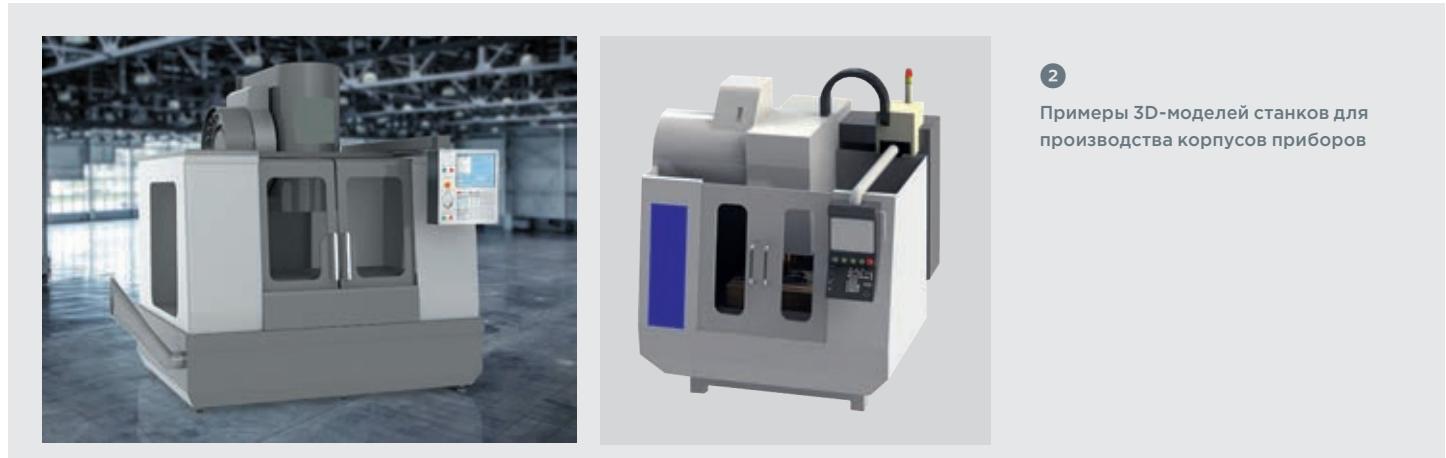
Новейшая модель AXI

Кроме 3D-моделей оборудования мы используем также специальное ПО, моделирующее сборку и проверку изделий роботами (селективной пайки волной припоя, автоматами установки SMD- и ТНТ-компонентов, установками оптической и рентгеновской инспекции и т. д.). Для своевременной подготовки помещений к размещению оборудования готовим специальные технические требования.

В реальных проектах приборостроения иногда приходится учитывать даже такое «непрофильное» для нас оборудование, как металлообрабатывающие центры (**рис 2**).

Не будем настаивать, что даже самое тщательное и самое продуманное применение виртуальных цифровых двойников на 100 % защищает от ошибок и рисков. Один из главных источников рисков – сам рынок, геополитика, курсы валют, сюрпризы регуляторов, конкурентоспособность планируемых к производству изделий и другая конъюнктура.

Но наш многолетний опыт подтверждает известное высказывание: «План – ничто, планирование – все!»



2

Примеры 3D-моделей станков для производства корпусов приборов

Финальный контроль качества сборки продукции

Текст: Александр Антонов

”

Конструкция современных печатных узлов включает использование не только SMT-, но и ТНТ-компонентов. Наличие последних обуславливает необходимость внедрения дополнительных технологических операций по их монтажу. Для этой цели на современных серийных производствах помимо участка поверхностного монтажа организуют дополнительную линию, включающую станции по ручной и/или автоматической установке ТНТ-компонентов и автоматизированную систему волновой или селективной пайки.



1

Пример линии для монтажа выводных компонентов с финальным контролем сборки

Стоит также отметить повсеместное применение большого количества компонентов со скрытыми выводами (н-р, в корпусах CSP, BGA и QFN) и потребность контроля скрытых паяных соединений, например, в тех же ТНТ-компонентах при контроле заполненности припоеем монтажных отверстий. Для решения этого вопроса в российских условиях, например, применяют отдельно стоящие системы рентгеновской инспекции, на которых производят выборочный или сплошной ручной контроль собранных изделий.

Но, как показывает практика, учитывая непрерывное усложнение собираемой продукции, трудоемкость ручного контроля и необходимость обеспечения требуемого уровня качества, особенно в условиях серийной сборки, зарубежные производители все чаще прибегают к полностью автоматизированным решениям контроля на этапах основной и финальной сборки продукции.

Появлению таких решений способствует активное развитие современных технологий и появление гибких многофункциональных систем. Современные конвейерные системы рентгеновской инспекции AXI благодаря встроенным продвинутым алгоритмам обработки изображений позволяют выделять рентгеновские срезы и выполнять автоматический контроль SMT- и ТНТ-компонентов. Это дает возможность использовать их и в линиях поверхностного, и в линиях последующего выводного монтажа.

Эти возможности, а также сама природа рентгеновского излучения, при которой на изображении легко детектировать металл, делают AXI незаменимым инструментом при контроле невидимых глазу, скрытых или плохо детектируемых паяных соединений.

Однако и у рентгеновского контроля есть свои ограничения. Он не способен увидеть достоверно то, что видно только визуально, т. е. оптическим методом. Например, рентгеновское изображение не позволяет качественно оценить повреждение,

перекос, переворот и ошибки полярности при монтаже ряда компонентов, например, в пластиковом корпусе. Также в задачи рентгена не входит чтение 2D-кодов или различной маркировки, нанесенной на корпуса компонентов.

Поэтому одновременно с рентгеновскими системами развиваются и широко используются оптические системы инспекции. Для решения задач финальной сборки на рынке появился отдельный класс систем ARV, построенных на базе коллаборативного робота, позволяющего позиционировать оптический модуль относительно объекта инспекции под разными углами. Это дает широкие возможности по интеграции и встраиванию робота в различные этапы производства, включая промежуточные и финальные операции сборки, требующие пристального контроля. Для этого у робота есть все необходимое, включая богатый набор готовых программных алгоритмов и возможность настройки подходящей подсветки для решения различных задач.

Роботизированная оптическая инспекция в конвейерной линии может быть установлена в дополнение к системе AXI для выявления дефектов, недоступных рентгеновскому контролю. Например, она легко справится с задачами по сверке маркировки, чтению меток/признаков полярности, выявлению перекоса, повреждения различных компонентов и обнаружению посторонних предметов на поверхности изделия. Кроме того, возможно использование ARV и на последующих финальных этапах сборки продукции, включающих, например, операции ручного и механического монтажа дополнительных узлов собираемого изделия и его последующее корпусирование.

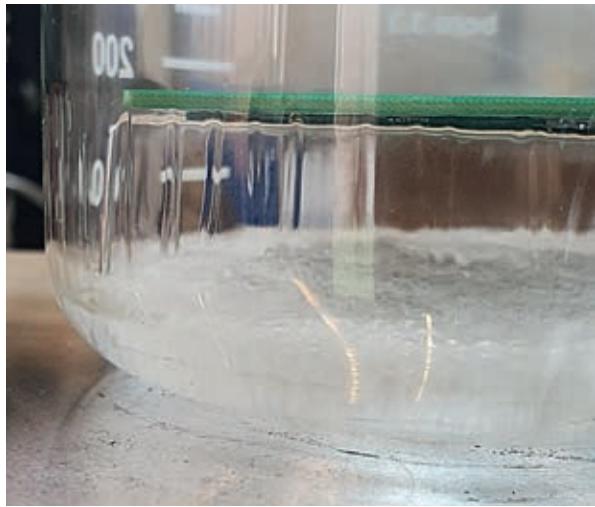
Такой подход позволяет в полной мере реализовать комплексную стратегию автоматизированного контроля и обеспечить полную паспортизацию сборки на всех стадиях производства, включая дополнительные технологические операции и этапы финальной сборки продукции.

Горячие коктейли для электроники

Текст: Александр Завалко

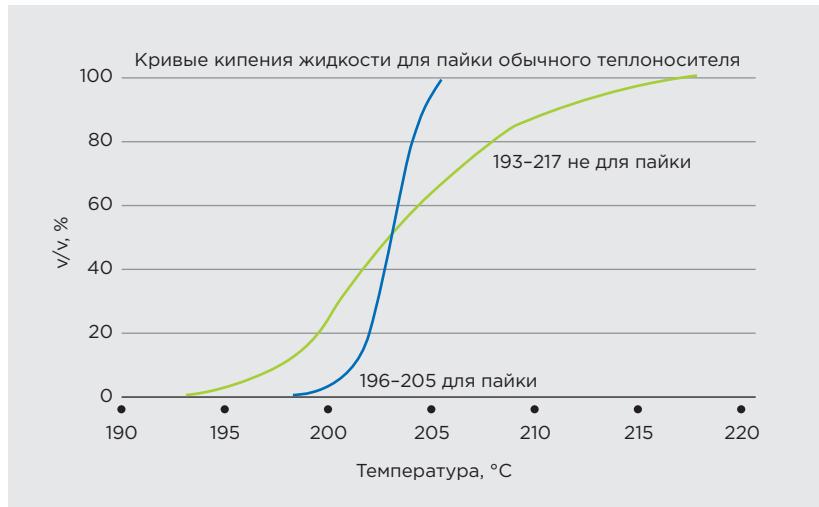
”

Давайте поговорим на горячую тему! Технология пайки электронных изделий оплавлением припоя в парах инертного теплоносителя появилась еще в прошлом тысячелетии. Только в России запущены и работают десятки установок. Процесс очень простой, доступный даже в бытовых условиях (рис 1).



1

Колба + плитка + проволока = самодельная «пароварка» для печатных узлов



2

Разброс Т начала и конца кипения в жидкостях различного типа. Разбросу Ткип соответствует разброс Т паров

Для работы нужны специальные технологические жидкости с фиксированной температурой кипения в 200, 215, 230, 240 °C. Эти жидкости от «недружественных» производителей приходится импортировать, и поэтому опять обострился вопрос: можно ли смешать жидкости с различной температурой кипения, чтобы получить промежуточную рабочую температуру? Например, перемешать жидкости 215 и 240 °C так, чтобы итоговая смесь кипела при 225 °C?

Собранные практические мнения по этому поводу диаметрально противоположны. От «никаких проблем, я часто так на своей установке пайки в паровой фазе делаю» до «категорически нельзя так делать, это все равно что смешать парацетамол с этанолом и выпить».

Производитель жидкостей для пайки в парах также указывает, что нельзя смешивать жидкости с различной температурой кипения (Ткип). Что стоит за этим запретом? Только маркетинг или есть технические основания? Почему «заводские» отзывы технологов такие разные? Для ответов надо разобраться, как получаются жидкости с различной Ткип и как она измеряется.

Согласно документации производителя, Ткип жидкости измеряется согласно ASTM D1120 или ГОСТ 33594-2015 (идентичен ASTM). В тексте ГОСТа стоит отметить три момента:

Определяется температура, при которой образец жидкости начинает кипеть.

Измерение «метеочувствительно» к атмосферному давлению и погрешность Ткип составляет до 2 °C для климата среднерусской равнины (изменения от 720 до 770 мм рт. столба).

Допустимое по ГОСТу расхождение результатов испытаний различных образцов жидкостей с Ткип выше 100 °C может составлять до 5,6 °C.

И тут самое время вспомнить, что рассматриваемые жидкости не имеют четкого стехиометрического состава, у них нет конкретной фиксированной химической формулы типа

H_2O . Теплоносители – азеотропные (то есть не разделяемые перегонкой) смеси фторированных полимеров. Чтобы в процессе перегонки (пайки в парах) жидкость не разделялась на фракции, необходим минимальный разброс полимеров по размеру и массе молекул. Поэтому состав жидкостей специально подбирают под заданную температуру кипения, стремясь к минимальному разбросу по Ткип в образце. Иначе будет происходить постепенное выкипание легких фракций и повышение Ткип жидкости. Кроме того, разбросу Ткип соответствует и разброс температур паровой рубашки, в которой происходит пайка электроники.

В азеотропности – ключевое отличие жидкостей для пайки от аналогичных жидкостей для смазки или систем охлаждения (рис. 2 из документации производителя теплоносителей).

Что же получится при смешивании различных жидкостей для пайки оплавлением? Примерно то же самое, что при смешивании керосина, солярки и бензина. Смесь с разнородными свойствами и увеличенным диапазоном (разбросом) температур кипения и паров. Напомним, что даже для «чистого» теплоносителя Ткип начала кипения может изменяться на 7,6 °C из-за вариаций химического состава партий и атмосферного давления. После «порчи» чистого теплоносителя диапазон Т начала и конца кипения может составлять 20 и более градусов (рис. 2).

К каким последствиям это приводит при пайке? Пайка «на смеси» может пройти без последствий (при пайке изделий малой теплоемкости на хорошем оборудовании), а может произойти и порча изделий, различные дефекты пайки и повреждения микросхем из-за большого разброса температур в рабочей зоне (при пайке сложных теплоемких изделий на не самом лучшем оборудовании).

В итоге получается рискованная «метеочувствительная» технология пайки с непредсказуемыми практическими результатами. Как и при езде на смеси нефтепродуктов.

Ремонт печатных узлов с крупной элементной базой

Текст: Владимир Казанцев

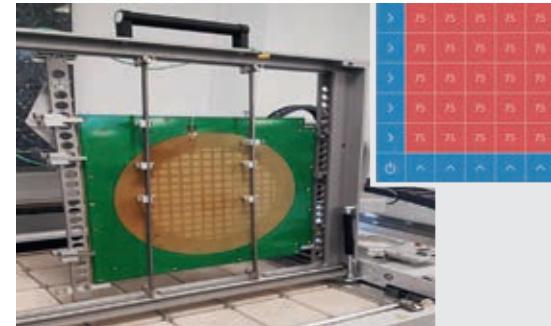
”

Последние 3-4 года в России активно развивается выпуск компьютерной техники. Выпуск такой продукции не обходится без ремонтных работ. И если для типовых изделий электроники процесс ремонта понятен, то процесс ремонта компьютерной техники имеет ряд нюансов и особенностей.



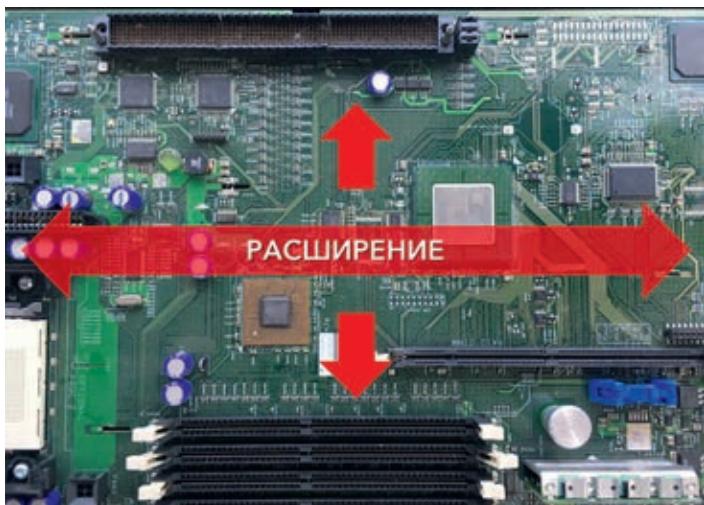
1

Крупногабаритная микросхема



4

Нижние зоны нагрева



2

Неравномерное терморасширение печатной платы рядом с длинным компонентом

Первая и, наверное, самая критичная особенность – это габариты ремонтируемых компонентов. И тут два типовых варианта габаритного компонента. Первый – габаритные сокеты процессора, причем габариты могут достигать 100×75 мм, и второй – длинные разъемы, например PCI и DIMM. Типовая длина последних порядка 150 мм. И во время ремонта необходимо демонтировать и заново монтировать такие компоненты,

а, стало быть, прогревать такие локальные площади. К сожалению, на сегодняшний день есть немного решений по ремонтным центрам, которые имеют нужные области нагрева компонента.

Вторая особенность – это габариты и вес самих плат. Серверные платы могут достигать габаритов 600×500 мм. Думаю, ни у кого не возникают сомнения, что теплоемкость и вес таких плат тоже будут высокими. Важным моментом при работе с этими платами является понимание тепловых процессов, происходящих во время ремонта.

Если в процессе пайки оплавлением основным источником передачи тепла к паяльной пасте является плата (например, в случае конвекционной печи горячий воздух греет плату, а уже плата греет компонент и пасту), то в процессе ремонта плата тепло забирает. И если габаритную плату полностью не подогревать, холодные края будут забирать очень много тепла. Также если плату полностью не подогревать, тепловые расширения будут сильно коробить плату. Также важно понимать, что расширению платы по разным осям также будут препятствовать длинные разъемы.

В итоге получаем, что для ремонта, например, большой серверной платы необходимо как подогревать всю плату полностью, так и хорошо греть область компонента. Т.е. надо иметь и габаритный нижний нагрев для подогрева, и габаритный верхний нагрев для пайки и выпайки.



3

Верхний гибридный нагреватель ремонтного центра и спецзахват для габаритного тяжелого компонента

Проработка разделителей групповых заготовок

Текст: Владимир Казанцев

”

В последние годы приобретают большую популярность автоматические и полуавтоматические фрезерные разделители для удаления перемычек в групповых заготовках. Для этого есть несколько объективных причин, рассмотрим их далее.



Причины популярности автоматических фрезерных разделителей:

- На рынке стало на порядок больше предложений автоматических разделителей, чем еще 5 лет назад.
- Серийный выпуск оборудования положительно (для покупателей) сказался на цене оборудования.
- Усложнились формы плат и требования по удалению перемычек. Если для простых плат можно использовать простые пневматические разделители с вырубающими лезвиями, то для плат сложной формы уже нужны фрезерные разделители (длинные перемычки, перемычки должны быть удалены полностью вдоль края печатной платы, перемычки нелинейной формы).

На первый взгляд, технология автоматического разделения кажется простой, из-за чего производители электроники часто берут дешевые решения, как правило, напрямую из Китая из с Aliexpress и других подобных маркетплейсов. При такой покупке нет никакой технической и технологической поддержки по оборудованию от производителя и/или продавца. Очень часто при проработке подобных задач слышим от заказчиков следующие фразы: «Оборудование простое, да у меня у самого настольный фрезер есть! Какая там технология, оснастка и нюансы?! Можно вообще фрезу купить и об нее руками разделять! Запустим сами, даже не приезжайте!» и т. д. Однако на практике ситуация для заказчика сильно отличается от его первоначальных представлений.

На что же обращать внимание при проработке и выборе подобного оборудования? В первую очередь, для современных автоматических и полуавтоматических разделителей, практически для каждого типа печатного узла требуется специализированная оснастка.

Некоторые производители вместе с установкой поставляют универсальные пины для фиксации печатных

плат, однако при работе с такими пинами возникают следующие проблемы:

- Первая, и, наверное, самая критичная проблема – далеко не всегда на таких пинах можно жестко зафиксировать каждую единичную плату в мультиплексии. Особенно если платы маленькие.
- Вторая – вопросы с повторяемостью. Допустим в первый раз удалось настроить пины под мультиплексию, написать программу разделения и разделить партию изделий. Потом перенастроили пины под другое изделие. Но в следующий раз, когда снова надо будет разделять первое изделия, установить пины точь-в-точь в предыдущее положение не получится, а значит надо будет заново писать и настраивать программу разделения.

Оснастка изготавливается по определенным требованиям, и в первое время нужна техническая и технологическая поддержка от поставщика. Конечно же заказчик рано или поздно сам сможет изготовить нужную оснастку, но цена этого «опыта» будет недешевой – потеря времени, потеря материалов на оснастку, потеря фрез из-за некорректных оснасток, испорченные печатные узлы. Для изготовления оснастки в идеале необходимо предоставить CAD-данные на изделие и тестовые образцы. Однако по опыту работы, возможно изготовить оснастку без реальных тестовых образцов печатных узлов, но в этом случае очень желательно предоставить 3D-модель изделия со всеми компонентами.

Также разделение печатных плат – это определенная операция со своими параметрами процесса. При невыполнении этих параметров есть риск испортить множество изделий.

Таким образом, хотя процесс автоматического фрезерного разделения печатных узлов не сложен сам по себе, но он имеет свои нюансы и требует отдельной проработки и наличия технической и технологической поддержки.

ОТ ПЕРВОГО ЛИЦА

Серийное сборочное производство электроники с нуля

Беседовал Юрий Ковалевский

”

Нижегородское предприятие «Континент ЭТС», входящее в Группу компаний «Узала», уже более четверти века занимается производством собственной продукции, но наибольший его опыт связан с изготовлением шкафов электротехнического назначения, а также для промышленной автоматизации. В конце 2018 года компания решила открыть новое направление – разработка и производство программируемых логических контроллеров (ПЛК). ПЛК компании уже находят применение на крупных предприятиях различных отраслей, а сейчас «Континент ЭТС» вплотную подошел к запуску собственного серийного производства по сборке печатных узлов данных изделий, которое было создано с нуля на основе решения FLEX от «Остек-Умные технологии». О том, как возникла идея этого проекта и как он был реализован, рассказал технический директор ООО «Континент ЭТС» Кирилл Юрьевич Конурин.

Кирилл Юрьевич, с чего начиналась деятельность компании «Континент ЭТС», и как вы пришли к производству электронной аппаратуры?

Компания была создана в 1996 году как торговая, но уже через год стала производственной. Изначально предприятие работало в сфере электротехники, преимущественно разрабатывало и производило электротехнические шкафы. То есть наше производство в основном включало металлообработку, слесарные и сборочные операции.

В течение всей своей истории компания находилась в поиске новых рынков и направлений. Это было обусловлено прежде всего активной жизненной позицией директора – Александра Александровича Алексеева. Такой подход позволял предприятию не только развиваться, расширять сферу деятельности, но и успешно проходить сложные периоды, которые время от времени случались на нашем рынке.

Так, в 2008 году мы открыли для себя рынок противопожарных средств. Осваивали мы и другие направления, связанные с металлообработкой. В 2016–2017 годах компания вышла на рынок автоматизации. На данный момент это направление является у нас основным, и на него приходится порядка 70–80 % выпускаемой предприятием продукции. При этом компания продолжает работать и в области электротехники, с которой всё начиналось.

В конце 2018 года Александр Александрович побывал на японском предприятии, занимающемся изготовлением ПЛК – ключевых электронных устройств в сфере промышленной автоматизации, и у него возникла идея создать подобное производство и в нашей компании. К тому моменту у нас уже был определенный опыт изготовления шкафов управления, и мы видели, что подавляющее большинство ПЛК, применяемых в отечественных системах автоматизации, импортные, а немногочисленные контроллеры российского производства, которые использовались в таких системах, были специализированные, в отличие от зарубежных универсальных ПЛК. Создание собственного универсального контроллера явно направлялось. Потенциальная потребность в таком изделии при удачных обстоятельствах могла бы обеспечить его полноценное серийное производство. Но нужно понимать, что на тот момент это был рискованный шаг, поскольку на российском рынке присутствовали мировые лидеры в данной области, и конкурировать пришлось бы с ними. Тогда ведь мы не могли предвидеть, что эти производители в 2022 году покинут Россию.

Вероятно, риск был еще и в том, что для производства электроники нужны иные компетенции, чем для металлообработки, и можно было просто не найти квалифицированные кадры для этого направления. Это так?

С одной стороны, вы правы: производство электроники было абсолютно новым направлением для нас, и поначалу мы даже не представляли, как оценивать



Технический директор ООО «Континент ЭТС» К.Ю. Конурин

уровень специалистов, которые приходили к нам на собеседования. В этой оценке нам большую помощь оказали коллеги из Нижегородского политеха (НГТУ им. Р. Е. Алексеева), совместно с которым мы выполняли разработку первой серии ПЛК. Нам удалось найти квалифицированного руководителя отдела, затем его заместителя. Их компетенции помогли в том, чтобы взять на работу инженеров-схемотехников, конструкторов, программистов. К настоящему времени в компании достаточно большое подразделение, занимающееся именно направлением разработки электронных устройств. По той же схеме набирался и производственный персонал: сначала мы нашли хорошего начальника производства, а он уже подбирал людей для своей команды – технологов, операторов и т. п.

Хотя и отдел разработки, и производственное подразделение по данному направлению у нас в целом укомплектованы, мы не прекращаем работу по поиску талантливых специалистов и подготовке кадров на будущее. Сейчас с НГТУ, помимо нашего сотрудничества в области разработки, у нас заключено соглашение по подготовке кадров, в рамках которого студенты вуза будут проходить практику на нашем предприятии.

С другой стороны, мы к тому моменту имели многолетний производственный опыт, и он нам очень помог, поскольку базовые подходы в любом производстве похожи. Мы понимали, какие задачи стоят перед технологическим отделом, производственным персоналом, и проектировали имевшиеся у нас компетенции на новую тематику.

И, конечно, в организации производства электронной аппаратуры нам очень помог Остек. При выборе поставщика оборудования тот факт, что для нас это



ПЛК с модулями ввода и вывода разработки ООО «Континент ЭТС»

направление новое, сыграл очень большую роль. Для нас не было проблемой привезти оборудование: в области металлообработки мы большую часть технологических установок закупали напрямую, то же могли сделать и с оборудованием для сборки электроники. Но нам была необходима помочь в его выборе и последующем монтаже и наладке, ведь мы изначально ориентировались на построение серийного производства с нуля. Должен сказать, что компания «Остек-Умные технологии» с этой задачей справилась просто великолепно. Их предложение было детально выверено, исходя из наших потребностей. В нем не было ничего лишнего. Конечно, у нас были некоторые вопросы к первоначально предложенному составу оборудования. Некоторые наши замечания специалисты Остека учли и скорректировали предложение, по некоторым вопросам они привели убедительные аргументы, почему нужно сделать именно так, как они предложили. Это обсуждение заняло буквально недели две, если не меньше, и изменения относительно первоначального предложения оказались минимальными.

Процесс пусконаладки проходил четко и отлажено. Специалисты Остека всегда приезжали точно в назначенное время и выполняли все работы в оговоренные сроки.

Какие еще факторы повлияли на выбор поставщика оборудования? Рассматривали ли вы других поставщиков, кроме «Остек-Умные технологии»?

Конечно, мы рассматривали других поставщиков. Процесс выбора был достаточно долгим и, я бы сказал, драматичным. Мы получали разные предложения, на одно из них уже почти согласились, но всё же в конечном итоге выбрали решение FLEX от «Остек-Умные технологии».

Факторов, повлиявших на наше решение, было много. Например, мы активно пользуемся государственной поддержкой. На разработку ПЛК мы полу-

чили субсидию Минпромторга России в соответствии с постановлением Правительства РФ от 17 февраля 2016 года № 109. Это позволило нам высвободить средства для приобретения оборудования, которое, в свою очередь, мы закупили с привлечением дополнительных средств федерального Фонда развития промышленности (ФРП). Кроме того, мы получили заем от ФРП Нижегородской области на строительство и подготовку производственных помещений. Эта поддержка нам очень помогла, без нее нам было бы сложно создать данное производство. Должен отметить, что вопреки распространенному мнению о сложности получения финансирования от государства, нам это удалось сравнительно легко. Да, субсидию мы получили не с первого раза, но мы не опустили руки, и в конечном итоге наша заявка была удовлетворена без особых сложностей. Поэтому я бы рекомендовал всем инновационным компаниям пользоваться имеющимися мерами господдержки: их сейчас много, и они действительно помогают двигаться вперед.

Так вот, поскольку для закупки оборудования мы воспользовались займом от ФРП, мы взяли на себя определенную ответственность в соответствии с условиями фонда, поэтому прописали в договоре на поставку и ответственность поставщика. В Остеке не побоялись взять на себя соответствующие обязательства, дать гарантии, что оборудование прибудет в срок, и предоставить необходимую информацию о поставке для фонда. Само собой, это было важно для нас.

Еще одним аргументом в пользу Остека стало то, что данная компания предоставляет сильные решения для интеллектуального управления производством.

Наше предприятие является одним из лидеров в отечественной промышленности по внедрению инструментов бережливого производства и повышения производительности. У нас внедрена так называемая новая производственная система (НПС) «Континент ЭТС», отмеченная дипломом ГК «Росатом». Мы стали одним из первых участников национального проекта «Производительность труда» в Нижегородской области, первыми среди коммерческих предприятий запустили собственную «Фабрику процессов» – учебно-производственную площадку, на которой участники осваивают методы бережливого производства и учатся применять их на практике.

Мы уделяем такое внимание данным вопросам, потому что осознаем, что это является важным конкурентным преимуществом. Оборудование сейчас есть у многих, и чтобы быть успешным в изготовлении собственной продукции или в оказании услуг на контрактной основе – а на этот рынок мы также собираемся выходить – необходимо, чтобы это оборудование работало эффективно. Такие интеллекту-

альные решения компании Остек, как «Умная линия», «Умное рабочее место», «Склад 4.0», уверен, помогут нам в дальнейшем повысить производительность и эффективность нового производства. Пока это планы на будущее, но уже на этапе выбора поставщика для нас было важно, что, работая с этой компанией, мы сможем получить не только оборудование как таковое, но и продуманные инструменты для анализа и управления производственными процессами.

И, конечно, нельзя не упомянуть фактор цены. На рынке можно часто услышать мнение, что Остек – это качественно, надежно, но дорого. Но в нашем случае мы получили от компании «Остек-Умные технологии» предложение, по стоимости сопоставимое с тем, от которого мы в итоге отказались, но при этом включающее оборудование более высокого класса, например струйную отмыку вместо ультразвуковой, 3D-АОИ вместо 2D и т. п.

Но еще раз подчеркну, что главным фактором стали компетенции и опыт Остека в организации производств электроники, благодаря которым они предложили нам, новичкам в данной области, решение, оптимально подходящее для наших задач, и помогли оперативно выполнить наладку и запуск оборудования.

Вы сказали, что идея создания собственных контроллеров появилась в конце 2018 года, и сразу планировалось создать серийное производство данных изделий. Как повлиял на ваши планы уход с российского рынка ряда зарубежных производителей оборудования в 2022 году?

Конечно, до 2022 года на рынке было представлено другое оборудование. Когда многие известные западные бренды перестали поставлять свои решения в Россию, Остек проделал, на мой взгляд, просто колосальную работу по поиску доступных решений, способных удовлетворить потребности отечественных производств. Благодаря этому с точки зрения возможностей оборудования мы получили практически то, что изначально ожидали. Единственное, от чего нам пришлось отказаться, – это некоторые вспомогательные установки, без которых на начальном этапе можно обойтись, и это произошло не потому, что им не удалось найти замену, а потому, что в 2022 году валютный курс был нестабильным, и так получилось, что мы осуществляли закупку практически на минимуме курса рубля, и эти установки не вписались в бюджет.

Конечно, была мысль подождать, пока курс рубля вырастет, но мы сразу от нее отказались. Наше руководство посчитало, что правильнее начать производить продукцию как можно быстрее, заработать денег и уже тогда закупить дополнительные установки. И это оказалось совершенно верным решением. Ведь с российского рынка ушли западные произво-



Линия FLEX:SMT на новом производстве

дители не только технологического оборудования, но и промышленных контроллеров, на которых строилось подавляющее большинство систем автоматизации в нашей стране, и срочно потребовалась замена для их продукции.

Если система автоматизации строится с умом, то она базируется на решениях минимального количества производителей, желательно – одного, потому что так проще обеспечить обслуживание, замену выходящей из строя аппаратуры, да и программистам и операторам легче работать в одной системе с одним интерфейсом. А теперь представьте, что этот единственный производитель перестал поставлять вам запчасти, модули, отказывает в сервисе. По сути, это означает, что вам нужно перестраивать всю систему, но уже на основе другого оборудования. И мы с нашими решениями оказались здесь очень кстати.

Нам, новичкам на этом рынке, в этой ситуации удалось войти в крупные проекты во многом благодаря тому, что мы действовали очень быстро. Как я уже сказал, идея создания собственного ПЛК возникла в конце 2018 года. 2019 год был посвящен обсуждениям, планированию, формированию команды по новому направлению, выстраиванию кооперации с партнерами. В 2020 году мы уже приступили к разработке ПЛК совместно с НГТУ им. Р. Е. Алексеева. Первые поставки потребителям начались в 2022 году. Правда, у нас ушло некоторое время на переработку нашего ПЛК, потому что мы изначально делали ставку на отечественные микроконтроллеры, а оказалось, что они производились на зарубежной фабрике, которая перестала оказывать услуги российским компаниям в 2022 году, и эти микроконтроллеры оказались недоступны.

Поскольку мы сразу приступили к подготовке помещений для производства – а они у нас выполнены по всем правилам: с необходимым уровнем чистоты, электростатической защитой, воздушным отоплением и т. п. – мы смогли сравнительно быстро подойти



Цифровой микроскоп для контроля качества изделий

к этапу запуска собственного производства. Поставщики оборудования мы выбирали довольно долго, но уже точно можно сказать, что сделали правильный выбор. Сейчас мы на финишной прямой: пусконаладочные работы находятся на завершающем этапе, заканчивается обучение персонала, и уже собраны первые печатные узлы наших ПЛК на новой линии поверхностного монтажа FLEX. Этот процесс идет даже быстрее, чем мы предполагали. Первый запуск плат контроллеров был выполнен у контрактного производителя, и изначально мы думали, что второй запуск также будет производиться на стороне, но сейчас понимаем, что эти платы будут собраны уже на нашем собственном производстве. Это даст существенное снижение себестоимости изделий и, кроме того, учитывая нынешнюю загрузку контрактных производств, обеспечит более оперативный и управляемый выпуск наших ПЛК.

В то же время тот факт, что мы занимаемся этим направлением недавно, тоже дал нам определенное конкурентное преимущество. У многих наших конкурентов решения не обновлялись годами, они основаны на достаточно старых микроконтроллерах. Мы же использовали в наших ПЛК современную ЭКБ, благодаря чему они пре-восходят по ряду характеристик изделия конкурентов. В частности, в них заложены передовые технологии передачи и обработки данных, имеется запас быстродействия, что очень ценно в современных условиях, когда в АСУ ТП постоянно растет количество контролируемых сигналов и сигналов управления.

Вы сказали, что вошли с вашими ПЛК в крупные проекты. О каких отраслях идет речь?

Первым нашим потенциальным заказчиком стал Центр промышленной автоматизации – производственный филиал АО «Транснефть – Верхняя Волга», расположенный в нашем городе. В настоящий момент на базе его испытательного центра проводится тестирование

наших ПЛК. Кроме того, мы прорабатываем поставку своих решений для ПАО «Газпром», ГК «Росатом». Наши ПЛК применяются в Московском метрополитене, управляют бутобоями с искусственным интеллектом в «Алросе». Ожидается поставка на различные предприятия металлургической отрасли, энергетики, химического, пищевого производства и других отраслей. Работаем мы как напрямую с заказчиками, так и с интеграторами, которые строят системы с использованием нашего оборудования.

Звучит действительно масштабно. Какой при этом объем выпуска планируется обеспечить на линии FLEX?

Изначально мы рассчитывали на объем производства 5 тыс. комплектов в год. Каждый комплект включает, собственно, контроллер и некоторое количество модулей ввода и вывода, которое может варьироваться в широких пределах. Минимальный комплект включает три платы, но бывает, что количество плат достигает нескольких сотен. В среднем мы можем считать, что в комплекте 15–20 плат, таким образом производительность линии должна была составлять порядка 75–100 тыс. плат в год.

Но эти планы у нас были до 2022 года. Сейчас спрос на контроллеры значительно возрос, и, по всей видимости, мы будем расширять производство. У нас уже есть для этого помещения, и что хорошо в решениях от «Остек– Умные технологии» – они масштабируемы. В дальнейшем мы сможем поставить еще одну линию, затем еще одну, и все они будут работать в рамках единой концепции, будут совместимы с точки зрения ПО, управляться из единого центра. Поэтому у нас есть уверенность в том, что, освоив первую линию FLEX, мы сможем без проблем наращивать производственные возможности. Кроме того, как я уже говорил, мы будем повышать производительность путем увеличения эффективности, внедряя интеллектуальные решения от Остека.

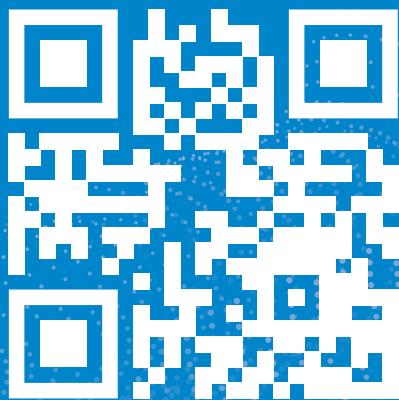
У Остека есть решение для производств с большими объемами выпуска – SMART. Вы не думали о приобретении такой линии?

Я не исключаю, что в будущем нам понадобится линия такого уровня. Наша компания постоянно развивается, в течение всей своей истории движется от простого к сложному. Сейчас нам было нужно создать наше первое производство для сборки печатных узлов с нуля, и FLEX оказался отличным решением для этой задачи. Сейчас я уже могу с уверенностью об этом говорить. А как дальше будут развиваться события – посмотрим. Я очень рад, что в лице компании «Остек–Умные технологии» мы нашли надежного и профессионального партнера, на которого в любом случае мы сможем положиться в дальнейшем развитии.

Спасибо за интересный рассказ.

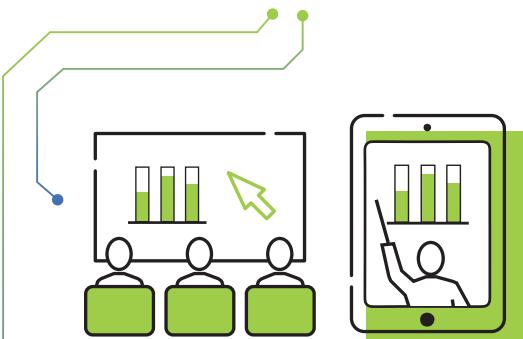
FLEX — РАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПЕРЕДОВЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

Когда нет ничего лишнего, но точно есть все нужное

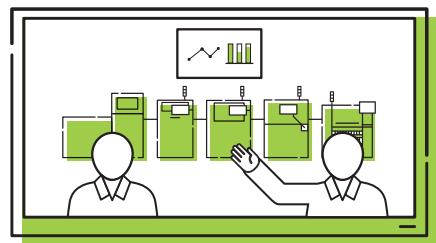


РЕШЕНИЯ ДЛЯ СБОРОЧНО-МОНТАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ЭЛЕКТРОНИКИ
Остек-Умные технологии: flex@ostec-group.ru | ostec-flex.ru

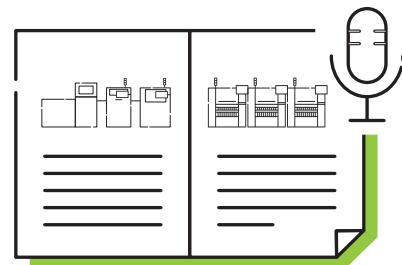
АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОСТЕК-СМТ



СЕМИНАРЫ
ОНЛАЙН И ОФЛАЙН



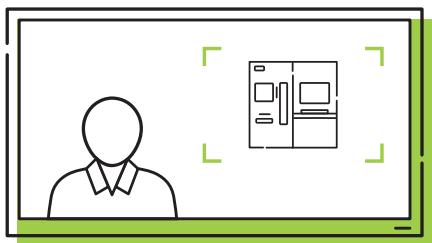
РЕПОРТАЖИ И КЕЙСЫ
С ПРОИЗВОДСТВ



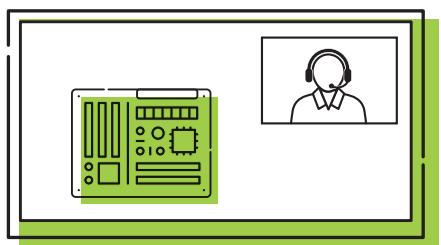
ЭКСПЕРТНЫЕ
СТАТЬИ И ИНТЕРВЬЮ



ПРОФИЛЬНЫЕ КАНАЛЫ
В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ



ВИДЕООБЗОРЫ
РЕШЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ



ВИДЕОПРЕЗЕНТАЦИИ
И ЗАПИСИ ВЕБИНАРОВ

