

01 (61) апрель 2025

ВЕКТОР

ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
Научно-практический журнал

▼ ТЕХНОЛОГИИ
Дмитрий Суханов

20 БУДУЩЕЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
УСТРОЙСТВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ
ИЗОБРАЖЕНИЙ – ИНТЕГРАЦИЯ
ТРЕХСЛОЙНОГО СТЕКА

▼ КАЧЕСТВО
Андрей Насонов

38 ПОЧЕМУ
«КАДРЫ РЕШАЮТ ВСЁ»?

▼ ОТ ПЕРВОГО ЛИЦА
Редакция

4 «СДЕЛАНО НАМИ»:
СОВРЕМЕННЫЕ РОССИЙСКИЕ
МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПАЙКИ
И ПРОИЗВОДСТВА
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ



сделано нами

Вы давно знаете нас как надежного и проверенного поставщика материалов для электронной промышленности. Сегодня мы перешли на следующий уровень и стали их производителем. Сделанные нами материалы уже применяются более чем в тысяче техпроцессов на российских производствах. Мы убеждены, что современные отечественные материалы не должны уступать ведущим мировым брендам по своим техническим и эксплуатационным характеристикам. И активно работаем над этим — в собственной лаборатории и на нашем производстве в России.

СОЛИУС — новое имя на рынке высококачественных паяльных материалов. Под этим брендом представлены сделанные нами паяльные пасты, флюсы и флюс-гели для надежных паяных соединений и стабильного технологического процесса. Каждый компонент исходного сырья проходит тщательный входной контроль, а каждая готовая партия — серьезный анализ. Чтобы вы получали привычно высокий результат независимо от условий и обстоятельств.

Сделано нами — сделано на совесть.



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



Уважаемые читатели!

Сначала я планировал написать традиционную колонку редактора и, как это принято, рассказать о содержании номера, представить авторов и темы их статей. Наши авторы поднимают актуальные темы, и каждая из них интересна и полезна.

Но сегодня мне хочется вместо формального представления поделиться с вами своими размышлениями и впечатлениями от событий, в которых я участвовал как участник и как спикер. В начале года я побывал на нескольких значимых мероприятиях, и они заставили меня серьезно задуматься.

Идёт 2025 год, и вновь ощущается, что мир стремительно меняется. Эти перемены вызывают одновременно надежду и тревогу, как любое значительное событие в нашей жизни. Для описания текущего состояния мира можно использовать концепцию SHIVA-мира, предложенную психологом и управляющим партнёром «ЭКОПСИ Консалтинг» Марком Розиным в 2022 году. Аббревиатура – это: Split (расщеплённый), Horrible (ужасный), Inconceivable (невообразимый), Vicious (жестокий) и Arising (возрождающийся). Подробное значение каждой буквы можно найти в интернете, однако важно подчеркнуть, что SHIVA-мир ставит перед бизнесом серьёзные вызовы и требует трансформации. Я подробнее остановлюсь на двух из них.

«Расщеплённость» означает, что старый порядок невозможно восстановить. Традиционные методы, модели и решения больше не работают в новой реальности. Тем не менее, существует надежда на возрождение. Появляется новый стартовый рубеж, и тот, кто первым поймёт потребности формирующегося рынка, сможет завоевать аудиторию и получить значительные преимущества.

В моей маркетинговой практике я вижу отражение этих изменений. Растущий интерес к таким услугам как маркетинговые исследования и рыночная аналитика свидетельствует о стремлении промышленных компаний глубже понимать рынок, его возможности и угрозы, прежде чем принимать важные решения. Особенный интерес вызывают глубинные интервью с целевой аудиторией, направленные на выявление истинных «болей» и «задач» клиентов, на понимание того, что для них по-настоящему ценно. Исходя из полученной информации, компании стремятся пересмотреть своё ценностное предложение. В этой же сфере я вижу решение проблемы повышения доверия между контрагентами в отрасли. Ответ кроется

в формулировании и чёткой демонстрации отраслевых ценностей и принципов, строгое соблюдение которых рождает доверие.

Вопрос кадрового голода звучит на каждом мероприятия, и сложно предложить что-то принципиально новое. Однако стоит отметить, что уровень производительности труда в России значительно ниже, чем на Западе – разница составляет в среднем от 2,5 до 3 раз. Опыт показывает, что управленческая и технологическая модернизация позволяет сократить численность персонала на 30 %. Внедрение искусственного интеллекта в бизнес и промышленность обещает ещё больший эффект.

С другой стороны, возникает страх перед искусственным интеллектом, связанный не только с потерей рабочих мест, но и с опасениями, схожими с сюжетом классического фильма «Терминатор», где технологии выходят из-под контроля. Но несмотря на тревоги, эта техническая революция прямо сейчас открывает уникальные перспективы для роста и развития.

Выступая на отраслевой конференции, В.В. Шпак подчеркнул: «Современные экономические тенденции диктуют переход от массового потребления к индивидуализированным продуктам. Успех теперь сопутствует компаниям, способным быстро адаптироваться и предлагать уникальные решения. Поэтому производственные мощности должны быть гибкими и автоматизированными, обеспечивая оперативный переход от идеи к готовому изделию».

По моему мнению, ключевыми инструментами для достижения этой цели станут искусственный интеллект и такие технологии, как: нейросети, дополненная реальность (AR), виртуальная реальность (VR) и Data-Driven подходы. В 2025 году маркетинг будет активно использовать нейросети для персонализации контента и автоматизации процессов, дополненную реальность для создания интерактивного покупательского опыта, а виртуальную реальность – для проведения иммерсивных рекламных кампаний. Data-Driven подходы помогут интегрировать данные из разных источников, проводить прогнозную аналитику и оптимизировать стратегии, что позволит улучшить взаимодействие с клиентами.

Подводя итоги конференции, В.В. Шпак акцентировал внимание на важности быстрого реагирования на вызовы современности и подчеркнул необходимость объединения усилий для создания конкурентоспособных технологических решений. В этой связи хочу поделиться мыслью моего коллеги: «В мире, где единственной постоянной является изменчивость, мышление вероятностями становится не просто полезным, а необходимым. Оно помогает действовать уверенно в условиях неопределенности, принимая взвешенные и смелые решения». Можно ли строить долгосрочные стратегии, учитывая классические аспекты внешней среды – политику, экономику, социальные и технологические факторы? Безусловно! Как самолеты и морские лайнеры достигают пункта назначения, несмотря на многочисленные внешние воздействия, так и компании могут успешно двигаться к своим целям, если правильно определят конечную точку маршрута.

Антон Большаков



В НОМЕРЕ

ОТ ПЕРВОГО ЛИЦА

- «СДЕЛАНО НАМИ»: СОВРЕМЕННЫЕ РОССИЙСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПАЙКИ И ПРОИЗВОДСТВА РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ 4
- КАКОВ ОН – ПУТЬ К ЭФФЕКТИВНОСТИ РОССИЙСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ? 12

Автор: Юрий Ковалевский

ТЕХНОЛОГИИ

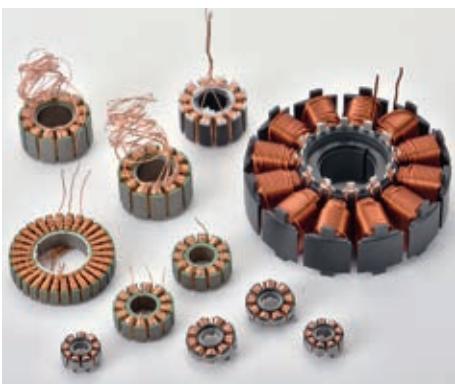
- БУДУЩЕЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ – ИНТЕГРАЦИЯ ТРЕХСЛОЙНОГО СТЕКА. 20
- Автор: Дмитрий Суханов
- МЕТОД ДИФФУЗИОННОЙ ПАЙКИ КРИСТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРИСТОЙ МЕДИ И ПРИПОЙНОЙ ПАСТЫ CU-SN ПРИ КОРПУСИРОВАНИИ СИЛОВЫХ ЭК. 26
- Автор: Григорий Савушкин
- ТЕХНОЛОГИЯ РЯДОВОЙ НАМОТКИ МЕДНОЙ ПРОВОЛОКИ: ПРИНЦИПЫ, ПРЕИМУЩЕСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ 32
- Автор: Антон Кузнецов



ОТ ПЕРВОГО ЛИЦА стр. 4

КАЧЕСТВО

- ПОЧЕМУ «КАДРЫ РЕШАЮТ ВСЁ»? 38
- Автор: Андрей Насонов
- МЕТОДОЛОГИЯ ИЗМЕРЕНИЯ SPICE-ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ПО ПОСТОЯННОМУ ТОКУ С ПОМОЩЬЮ Л2-156 42
- Авторы: Кирилл Степушин, Светлана Кандеева
- ВЗРЫВОЗАЩИТА НА ПРОИЗВОДСТВАХ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ 52
- Автор: Александр Евсенийкин



ТЕХНОЛОГИИ стр. 32

ОТ ПЕРВОГО ЛИЦА

- ВРЕМЯ ПРИШЛО. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ В РОССИИ 58
- Автор: Пётр Семёнов



КАЧЕСТВО стр. 52

ОПТИМИЗАЦИЯ

- ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ: ОПТИМИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ «ТОВАР К ЧЕЛОВЕКУ» 66
- Автор: Артур Данчук

ТЕХПОДДЕРЖКА

ПАЯЛЬНАЯ ПАСТА. ГОТОВИМ ПРАВИЛЬНО! 72

Авторы: Вячеслав Ковенский, Роман Порядин



ОТ ПЕРВОГО ЛИЦА стр. 58

АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОСТЕК-СМТ

СОЗДАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА КАК ПРОЕКТ. КЛЮЧЕВЫЕ ЭТАПЫ . . . 78

Автор: Сергей Морозов

КАК СДЕЛАТЬ РАСЧЕТЫ FPV РЕАЛЬНО ПОЛЕЗНЫМИ? 92

Автор: Александр Завалко

НЮАНСЫ РАБОТЫ С ПАСТОЙ 94

Автор: Геннадий Егоров

PRESS FIT: ДЕМОНТАЖ ЗАПРЕССОВАННЫХ КОМПОНЕНТОВ 95

ПАЙКА VS PRESS FIT 96

Автор: Виктор Орешков

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ПРОФИЛЬ ПАЙКИ: ОСОБЕННОСТИ 98

Автор: Александр Романов

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПЕЧАТНЫЕ УЗЛЫ 100

Автор: Павел Моисеев

ЭФФЕКТИВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО: А ЧТО, ТАК МОЖНО БЫЛО? . . . 102

Автор: Евгений Липкин



ТЕХПОДДЕРЖКА стр. 72



АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЙ стр. 78

АВТОРЫ НОМЕРА

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

Антон Кузнецов

Главный специалист по продажам Отдела
автоматизации моточных производств
ООО «Остек-ЭТК»
cable@ostec-group.ru

Андрей Насонов

Технический директор
ООО «Остек-Электро»
ostelectro@ostec-group.ru

Кирилл Степушин

Инженер-схемотехник отдела разработки
Светлана Кандеева
Инженер-программист отдела разработки
ООО «Остек-Электро»
ostelectro@ostec-group.ru

Александр Евсенейкин

Директор направления ОРМ
ООО «Остек-АртТул»
info@arttool.ru

Пётр Семёнов

Генеральный директор
ООО «Остек-Сервис-Технология»
ost@ostec-group.ru

Артур Данчук

Технический директор направления АСХ
ООО «Остек-АртТул»
info@arttool.ru

Вячеслав Ковенский

Генеральный директор
Роман Порядин
Главный специалист технического
сопровождения
ООО «Остек-Интегра»
materials@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

Геннадий Егоров

Начальник группы сборочно-монтажного
производства «Остек-Умные технологии»
flex@ostec-group.ru

Виктор Орешков

Старший инженер Технического управления
ООО «Остек-СМТ»
smt@ostec-group.ru

Александр Романов

Главный специалист отдела технической
поддержки «Остек-Умные технологии»
flex@ostec-group.ru

Павел Моисеев

Ведущий специалист технической поддержки
«Остек-Умные технологии»
flex@ostec-group.ru

Евгений Липкин

Генеральный директор
ООО «Остек-СМТ»
ООО «Остек-Умные Технологии»
smt@ostec-group.ru, flex@ostec-group.ru

ОТ ПЕРВОГО ЛИЦА

«СДЕЛАНО НАМИ»: современные российские материалы для пайки и производства радиоэлектроники

“

В интервью редакции журнала «Вектор высоких технологий» генеральный директор ООО «Остек-Интегра» Вячеслав Евгеньевич Ковенский рассказал о важных аспектах деятельности компании, связанных с брендом «СДЕЛАНО НАМИ», о трансформации из дистрибутора в производителя технологических материалов, поделился проблемами и решениями сложных вопросов, а также планами компании.

Вячеслав Евгеньевич, компания Остек-Интегра хорошо известна на рынке как поставщик широкого спектра технологических материалов для пайки и производства радиоэлектроники. Расскажите, пожалуйста, что она представляет собой сегодня?

Сегодня Остек-Интегра – это компания, плавно переходящая от исключительно дистрибуторской модели бизнеса к форме с собственными разработками материалов и собственным производством. Конечно, мы сохраняем значительный объём поставок зарубежных материалов, но всё большее внимание уделяем разработке, производству и продажам собственных продуктов. Доля продаж материалов, разработанных нами, с каждым годом увеличивается и сегодня уже составляет около 20 % в общем объеме наших поставок. Мы активно инвестируем в создание новых материалов и собственного производства, ориентируясь на долгосрочную перспективу. Наша цель – сформировать в России широкий современный ассортимент и сильный бренд, конкурентоспособный на мировом уровне.

Почему вы решили развивать собственное производство?

Решение начать производство связано с санкциями, введенными против России после 2014 года. До этого момента мысль о собственном производстве казалась невозможной. Однако угроза прекращения поставок материалов от наших партнёров заставила задуматься об альтернативных мерах. Мы начали разработку материалов, хотя тогда никто не мог предположить, что мы сможем заменить таких крупных игроков, как Zestron, HumiSeal или Indium. Эта деятельность придавала смысл нашему бизнесу и открывала новые перспективы. Постепенно мы накапливали опыт и совершенствовали процессы. К 2022 году ситуация кардинально изменилась – ключевые поставщики прекратили сотрудничество с нами. Это стало стимулом к ускорению перехода на материалы собственного производства. Страгетия оказалась оправданной, поскольку позволила нам стать менее зависимыми от внешних факторов, учитывать особенности местного рынка и обеспечивать стабильное наличие запасов сырья. Команда Интегры с полным правом испытывает гордость за свою работу – ведь на рынке стали появляться материалы, созданные нашими руками, это очень важно. Сегодня все продукты, которые мы разрабатываем и производим в России, объединены в группу «СДЕЛАНО НАМИ» (рис. ①).

Расскажите более подробно о линейке «СДЕЛАНО НАМИ». Какие конкретные группы материалов уже разработаны и производятся в России?

Основные усилия направлены на три продуктовые категории.

Первая – это материалы для пайки, объединённые под брендом «Солиус». Сюда входят пасты, флюсы и флюс-гели (рис. ②). Все поставляемые сегодня флюсы и флюс-гели разработаны и производятся в России. В ассортименте есть паяльная паста нашего произ-



Генеральный директор ООО «Остек-Интегра» В.Е. Ковенский



①

Логотип



②

Паяльная паста Солиус Н1



3

Гидронол H18



4

Влагозащитное покрытие Элтрин У1

водства со сплавом Sn62, мы ведем активные работы по бессвинцовой и водосмыываемой пастам.

Вторая продуктовая категория – это решения для отмывки печатных узлов, трафаретов и оборудования. Уже созданы 12 видов жидкостей для различных процессов: ультразвуковых, струйных, вакуумных систем очистки, а также жидкости для отмывки трафаретов и оборудования. Мы полностью заменили всю номенклатуру, которую раньше поставляли от компании Zestron. Хочу подчеркнуть, что Гидронол – это комплексное решение для отмывки печатных узлов, оно включает не только жидкости, но и средства для контроля концентрации, контроля качества отмывки, а также наши знания и опыт, которыми мы делимся с клиентами. Всё делаем в России. (рис 3)

Третья группа материалов – это влагозащитные покрытия и сопутствующие материалы. Наш основной лак Элтрин У1 – это однокомпонентный уретановый лак для специализированных задач (рис 4). Он обладает такими же преимуществами, как и известные уретановые аналоги, например от HumiSeal. Лак технологичен, надежен и удобен в использовании благодаря однокомпонентному составу. Мы считаем, что он станет привлекательной альтернативой проверенному временем двухкомпонентному лаку УР-231. Элтрин У1 оказался самым сложным в разработке и производстве среди всей линейки. В феврале этого года мы завершили пусконаладку нового оборудования и приступили к серийному производству лака и вспомогательных материалов (рис 5).

Продуктовая линейка «СДЕЛАНО НАМИ» – это только бренд или реальные продукты вашей компании, произведённые в России?

Логотип «СДЕЛАНО НАМИ» на упаковке материалов, в документации и описании подтверждает, что клиент имеет дело с продуктом российского производства:

- Рецептура разработана в России.
- Производство осуществляется в России.
- Есть полный комплект технической документации.
- Продукция прошла всесторонние лабораторные и производственные испытания.
- Сырьё проходит обязательный входной контроль.
- Готовый продукт подвергается выходному контролю.
- Сохраняется арбитражный образец на каждую партию.
- Есть гарантии качества на поставленную продукцию.

Под логотипом «СДЕЛАНО НАМИ» скрывается серьёзная работа наших инженеров и специалистов. Мы стремимся, чтобы каждая партия соответствовала самым высоким мировым стандартам.

Но, конечно, важно уточнить, что именно подразумевается под «российским материалом». Недавно один из клиентов выразил сомнение: «Вы называете свой материал российским, но разве это так, если вы просто смешиваете ингредиенты».

Хороший вопрос. Что в ваших материалах российского?

Дело в том, что у каждого бизнеса и продукта своя специфика. Возьмите наших прежних поставщиков – Zestron, Indium или HumiSeal. Ни одна из этих компаний сама не производит сырьё. Например, для изготовления жидкостей для отмывки печатных узлов используются сложные растворители, производимые на крупных химических предприятиях. Эти предприятия удовлетворяют спрос не только радиоэлектронной отрасли, но и других, например потребности лакокрасочной промышленности и так далее. Подавляющее большинство ведущих мировых производителей материалов для пайки и производства радиоэлектроники не за-

нимаются производством сырья. Абсолютно точно, что никто из производителей флюсов не производит спирт, составляющий более 90 % состава многих флюсов. Исключение составляют лишь случаи, связанные с производством порошка припоя для паяльных паст.

Мы стараемся приобретать российские компоненты, но, к сожалению, российская промышленность не производит нужное нам сырьё. Даже порошок припоя нужного качества в России не выпускают. Большую часть сырья и упаковку нам приходится импортировать.

Поэтому мы действуем так же, как большинство компаний в этой области: используем лучшее мировое сырье и производим итоговый продукт с нужной нам рецептурой и требуемыми свойствами. Главное, что отличает наши материалы от зарубежных и делает их «российскими», – это рецептуры, разработанные в России, это локализованные знания о способах получения материалов с нужными характеристиками и свойствами, это полный цикл производства и контроля качества в России, это частично российское сырье. В общем, это наши люди плюс наша интеллектуальная собственность и производственные мощности, которые мы развиваем именно здесь.

Но остаётся риск, что вы можете остаться без сырья.

Этот риск существует всегда. В современных реалиях можно потерять доступ к любым ресурсам и даже возможности платить при наличии денег можно лишиться, как мы уже знаем. Однако приобретение сырья – гораздо более диверсифицированный процесс, чем покупка готового материала. Например, вместо единственного поставщика, такого как, например Zestron, можно обратиться к различным поставщикам и производителям растворителей. Мы тщательно отбираем лучшие варианты и работаем с сырьем от мировых лидеров, и даже среди них есть выбор и разные способы закупки. Всегда существуют аналоги, доступные в Китае или других странах. Кроме того, у нас несколько уровней резервирования сырья. Мы используем наиболее подходящее сырьё, но всегда готовы перейти на альтернативные варианты. Кроме того, срок хранения сырья обычно превышает срок хранения готовых материалов, что позволяет иметь значительные запасы. Например, для жидкостей Гидронол мы поддерживаем запасы сырья и готовых продуктов на девять месяцев вперёд. Это даёт уверенность в стабильности поставок клиентам в условиях неопределённости. Если что-то пойдет не так – есть время перестроиться.

Имеет ли для клиентов значение, что продукт произведен в России? Или важны другие характеристики и атрибуты?

Несколько лет назад мы проводили опрос среди клиентов, выясняя, насколько для них важно место



5

Первая партия лака Элтрин У1

происхождения и разработки материалов. Насколько я помню, около 60–70 % респондентов ответили, что это не влияет на их выбор, главное – свойства и цена. Тем не менее, примерно столько же клиентов отметили, что государственная политика и требования государственных закупок способствуют использованию отечественных материалов.

Сегодня наблюдается устойчивая тенденция к повышению интереса к материалам российского производства. При этом не все клиенты однозначно могут и готовы ответить, чем должно подтверждаться производство в России: наличием ТУ, декларацией соответствия, надписью на наклейке, письмом от компании или сертификатом Минпромторга.

В общем, рассчитывать на выбор и покупку благодаря происхождению материалов в России, конечно, можно, но не сильно. Нужно быть лучшими для клиентов. Поэтому мы ставим перед собой две важные задачи.

Во-первых, свойства и качество наших материалов должны соответствовать лучшим мировым аналогам и ожиданиям клиентов – мы постоянно над этим работаем.

Во-вторых, цена должна оставаться конкурентоспособной. Мы не стремимся быть самыми дешёвыми, так как для этого нужно уходить в ниши очень дешевого сырья, дешевой упаковки и прекратить инвестиции в раз-



6

Входной контроль сырья

витие. Мы предлагаем продукцию хорошего качества по соответствующей, разумной, рыночной и абсолютно конкурентоспособной стоимости.

Конечно, мы рассчитываем, что клиенты будут лояльны к продуктам, разработанным и производимым дома, в нашей стране. Рассчитываем на их поддержку и ожидаем, что, выбирая между российскими материалами и аналогичными зарубежными продуктами, клиенты предпочтут отечественные. Уверен, что каждый российский производитель надеется, что его продукция будет пользоваться спросом в том числе и потому, что она создана дома.

Получается, что ваши материалы не самые дешёвые. Это наценка за бренд или есть другие причины?

Маркетинговые расходы не включены в себестоимость наших материалов, поэтому любые наценки за бренд сейчас исключены. Продвижение и поддержку бренда «СДЕЛАНО НАМИ» мы оплачиваем из других источников.

Важную роль в стоимости продукта играет качество сырья и, что немаловажно, качество упаковки. Мы используем высококачественное сырьё мирового уровня, а не дешёвое неизвестного происхождения, наши материалы проходят строгие проверки, любое сырьё проверяется перед использованием. Это повышает се-

бестоимость, но гарантирует высокое качество готовой продукции (РИС 6).

Кроме того, для входного контроля качества сырья и выходного контроля готовой продукции приобретено и используется серьезное дорогостоящее оборудование, что также вносит свой вклад в стоимость. Но без этого нельзя, так как свойства от партии к партии должны быть одинаковыми, а качество стабильным (РИС 7).

Повторю, что мы предлагаем продукцию хорошего качества по разумной, абсолютно конкурентоспособной стоимости.

Говорят, что для внутреннего рынка производить в России невыгодно и без выхода на внешние рынки невозможно достичь нужных объёмов. Насколько ваше производство оправдано с экономической точки зрения?

В нашем случае производство экономически оправдано. Даже нынешних объёмов российского рынка достаточно, чтобы наша модель оставалась выгодной. Но, конечно, нужно иметь или стремиться к доминирующей доле на рынке и большим объёмам, иметь большой разносторонний ассортимент, над чем мы постоянно работаем. Поэтому и пасты, и флюсы, и жидкости для отмычки, и влагозащита, иначе, как говорится, «не взлетит»... Мы ведем активную разработку материалов и конкурентную борьбу, которая сегодня во многом носит характер конкуренции с зарубежными поставщиками как из Китая, так и по-прежнему из многих недружественных стран.

Лаборатория и производство требуют значительных вложений. Какие источники финансирования вы используете?

Мы финансируем все проекты исключительно за счёт собственных средств. С первых дней разработки и производства мы используем прибыль компании для реализации необходимых инициатив. В этом году уже было закуплено дополнительное оборудование для производства паяльных паст, ожидаем его поставку летом. Также получили серьёзное оборудование для производства влагозащитных покрытий. Мы рассматриваем возможность использования государственных программ поддержки, таких как субсидии и гранты, однако эти схемы требуют тщательной отчётности и гарантят возврата средств. В нашем бизнесе всегда существует риск, что инвестиции не окупятся, поэтому мы предпочитаем использовать собственные средства компаний.

Что позволило вашей компании успешно заняться разработкой и производством материалов, а не остаться только в области дистрибуции?

В нашем случае совпал целый ряд обстоятельств и наработанных компетенций, которые в совокуп-

ности позволили нам развиваться как разработчику и производителю материалов. Это и санкции, и ограничения поставок, и политика государства в области импортозамещения, и наработанные знания, и отношения с клиентами и наше желание организовать собственное производство.

Если по существу, то одним из ключевых факторов для нашего быстрого развития после 2022 года стали технические наработки прошлых лет и технические компетенции. Помимо знаний в части областей применения наших продуктов, начиная с 2014 года, мы хорошо изучили изнутри многие материалы. Были готовы разработки различных позиций и, в принципе, мы были готовы начать своё производство и до 2022 года. Кроме того, мы глубоко понимаем технологические процессы наших клиентов, что дает нам возможность создавать продукцию, подходящую для нужд заказчиков.

Вторым важным фактором является наше глубокое знание рынка, большое количество существующих и лояльных клиентов. Мы точно знаем, кому и какие материалы предложить, когда и с кем вести переговоры. Наши сильные рыночные позиции, особенно в сфере сборки электроники, где у нас около тысячи клиентов, дают нам преимущество.

Огромную роль играет сложившаяся команда профессионалов, состоящая из инженеров, химиков, разработчиков, производственных специалистов, специалистов поддержки, логистики, коммерческих сотрудников. Именно их усилия и вера в успех делают возможным достижение поставленных целей.

Благодаря сочетанию всех перечисленных факторов мы способны эффективно разрабатывать, производить и продавать нашу продукцию.

Расскажите подробнее о вашей команде разработчиков. Какими компетенциями и опытом они обладают?

В нашей команде работают опытные специалисты, например наш главный разработчик имеет стаж в компании уже более десяти лет. Также в числе опытных сотрудников – технический директор, с которым мы начинали этот проект двенадцать лет назад. Тогда мы даже не представляли, как приступить к решению задачи, а теперь обсуждаем создание предприятия с современными производственными площадями и новейшим оборудованием.

Кроме опытных сотрудников, у нас начинают свой трудовой путь недавние выпускники вузов (МИТХТ, РХТУ, МГУ, Московский политехнический университет). Мы принимаем на работу молодых специалистов сразу после окончания учёбы, и они активно включаются в рабочий процесс, получая новые практические знания и опыт. Энергия и энтузиазм юности сочетаются с опытом старших коллег, создавая синергический эффект. Молодёжь мотивирована тем, что результат их труда не



7

Подготовка к измерению реологических свойств пасты

остаётся на полках, а применяется в реальных продуктах, которые можно увидеть на улицах, в магазинах или услышать по телевидению.

На производстве тоже трудится молодая и активная команда. Поскольку масштабы производства пока не очень велики, каждый сотрудник выполняет много разных функций: это и сложные задачи, связанные с соблюдением точных пропорций компонентов, и работа с высокотехнологичным оборудованием, и простые операции вроде наклеивания этикеток.

Расскажите подробнее о вашем лабораторном оборудовании.

В нашей лаборатории более 15 единиц оборудования (рис. 8). Среди них – жидкостный и газовый хроматографы, спектрометры, которые позволяют анализировать составы и подбирать нужные компоненты. Для разработки паяльных паст мы используем реометры и высокоточные вискозиметры, позволяющие контролировать реологические параметры каждой партии. Это оборудование применяется как для анализа сырья, так и для контроля готового продукта. Работа в лаборатории включает не только использование современных приборов, но и кропотливую ручную работу, потому что никакие программы не



8

Лаборатория. Участок хроматографии и исследований материалов

могут предсказать точные свойства смеси компонентов. Да и часто одинаковые по названию компоненты ведут себя по-разному в составе материала. Поэтому оборудование – это хорошо, но ключевое, безусловно, – это головы и руки нашего коллектива (рис. 9).

Помимо собственных лабораторных возможностей мы активно сотрудничаем с институтами и исследовательскими центрами. Некоторые виды исследований и испытаний возможно производить только на уникальном оборудовании и с уникальными методиками, которые мы в своей лаборатории пока не воспроизвели. Но работаем и над этим. Стремимся, чтобы у наших разработчиков все было «под рукой».

Как вы учитываете мнения и пожелания клиентов при разработке новых материалов? Как происходит анализ потребностей рынка?

Начальный выбор направлений для разработки опирается на анализ популярности существующих продуктов, их долей на рынке и информации от наших клиентов. После завершения разработки мы тестируем материалы сначала в лабораторных условиях, а затем обязательно предлагаем их для тестирования клиентам. Чтобы считать материал прошедшим полевые испытания, необходимо получить от трёх до пяти положительных отзывов. Если отзывы негативные, мы пересматриваем продукт и либо вносим изменения, либо оцениваем необходимость разработки другого материала. В любом случае, продукт не выйдет на рынок, и разработка не будет считаться завершенной, пока мы не получим твердую обратную связь от наших клиентов. В нашем случае именно слово клиентов определяет готовность материала.

В текущей работе с выпущенными в серийное производство материалами наши инженеры и отдел продаж ежедневно и тесно взаимодействуют со всеми клиентами, обратная связь поступает непрерывно. Согласно действующей в компании системе управления качеством, все рекламации на материалы фиксируются.



9

Текущая работа в лаборатории

По каждому случаю специалисты делают выводы и проводят корректирующие мероприятия. Это позволяет постоянно «держать руку на пульсе». Мы стремимся, чтобы незамеченных нареканий не оставалось, и относимся внимательно к каждому замечанию.

Таким образом, наша основная стратегия – максимально соответствовать ожиданиям и потребностям клиентов, оставаясь конкурентоспособными на рынке.

Планируете ли вы сертифицировать материалы как отечественные?

Мы активно работаем над получением соответствующих сертификатов, подтверждающих происхождение нашей продукции. Речь идет о получении СТ-1 и других аналогичных документов. Важно отметить, что процесс получения этих документов довольно сложен и требует полного раскрытия информации, вплоть до разглашения коммерческой тайны, что существенно замедляет продвижение в данном направлении. Тем не менее, мы надеемся, что по мере роста спроса на наши материалы и их внедрения на государственных и оборонных предприятиях, процесс включения в стандарты и разрешения на использование упростится. Мы работаем в данном направлении, и надеюсь, что в ближайшие месяцы будут первые результаты.

Вы видите компанию в будущем как дистрибутора или производителя материалов?

Необязательно выбирать что-то одно. Большая и важная часть нашего бизнеса – это дистрибуция и продажи, без умения продавать наши материалы нет смысла их производить. Поэтому мы останемся компанией, связанной с дистрибуцией, продолжим продавать, продолжим уделять существенное внимание маркетингу и продвижению. Не всё мы сможем производить самостоятельно, поэтому останется значительная доля материалов, которые мы продолжим закупать в больших объемах, будем обеспечивать логистику и складскую обработку, а затем обслуживать наших клиентов и организовывать поставки небольшими партиями в любую точку России. Не забывая, конечно, и про техническую поддержку наших клиентов.

Мы продолжим развиваться и как производственная компания. Если всё пойдет по плану, то в перспективе 3–4 лет примерно 40 % доходов компаний будет поступать от собственной продукции, остальные 60 % – от материалов других производителей.

Эти два аспекта должны помогать нам завоёвывать рынок и удовлетворять больше клиентов.

Поделитесь вашими стратегическими целями на 2025–2026 годы.

Недавно мы провели стратегическую сессию, на которой обсудили дальнейшие направления развития. Если говорить исключительно о сегменте материалов для сборочно-монтажных производств, то наша главная цель – увеличить долю материалов собственного производства на рынке. Мы намерены конкурировать как с продукцией из недружественных стран, так и с китайскими производителями. Продолжим усиливать лабораторию и производство. Новое оборудование для производства паяльных паст позволит значительно улучшить наши производственные мощности. Также мы расширяем штат химиков и производственных работников, так как увеличивающийся ассортимент и растущие объемы требуют увеличения численности персонала. Основная задача – расширить присутствие наших материалов на рынке и продолжить улучшать их в соответствии с потребностями клиентов. □

Спасибо за интересный рассказ.



Каков он – путь к эффективности российского приборостроения?

Беседовал: Юрий Ковалевский



В начале года в свет вышла вторая книга Е.Б. Липкина, генерального директора ООО «Остек-Умные технологии» и ООО «Остек-СМТ», специалиста с более чем 20-летним опытом работы в радиоэлектронной отрасли, включающим руководство сотнями проектов по оснащению и модернизации производств приборостроения. Новая книга называется «Производство мирового уровня. Путь к эффективности российского приборостроения».

Мы поговорили с Евгением Борисовичем о том, что скрывается за этим названием, о мотивах, побудивших к написанию данной книги, а также о том, почему необходимо строить в нашей стране производства электроники мирового уровня и как книга может в этом помочь.

Евгений Борисович, разрешите вас поздравить с выходом новой книги! Она называется «Производство мирового уровня. Путь к эффективности российского приборостроения». Что вас побудило написать эту книгу и что стоит за ее названием?

Мы говорим о производствах мирового уровня уже давно. Интуитивно все понимают, что это что-то серьезное, основательное, продуманное, технологичное. Но оказывается, что от такого интуитивного понимания очень сложно перейти к конкретике. И один из мотивов написать эту книгу как раз и заключался в том, чтобы конкретизировать, что такое производство мирового уровня, разобрать это более подробно, поэлементно.

Эта книга – своего рода манифест, некое заявление о том, чем мы занимаемся, в каком направлении идем. И в то же время она – попытка ответить на ряд вопросов, на которые далеко не всегда есть ответы в отраслевом инфополе.

Уже более десяти лет в промышленности говорится об импортозамещении. В последние годы особенно остро всталася задача компенсировать дефицит той или иной продукции, которая ранее поставлялась на российский рынок из-за рубежа, но теперь мы вынуждены осваивать ее производство внутри страны. На этом фоне несколько отошло на второй план то, что, вообще говоря, импортозамещение не ограничивается изготовлением функционального аналога продукта, который мы ранее импортировали. Такой продукт обладает массой других характеристик, таких как качество, цена, срок поставки и т. п. И это также должно быть включено в понятие импортозамещения.

Сейчас этот фактор начинает всё сильнее проявлять себя, и построение в России производств, способных изготавливать продукцию, сопоставимую с изделиями лучших мировых представителей соответствующих рыночных сегментов и по потребительским свойствам, и по качеству, и по экономическим показателям, становится крайне актуальной задачей как для отрасли, так и для страны в целом. Моя книга – попытка дать ответы на вопросы, связанные с построением таких производств. Я надеюсь, что она поможет выбрать правильный план действий, верный путь развития отечественного приборостроения. Наверное, поэтому слово «путь» часто встречается на ее страницах.

Таким образом, сама по себе книга не была для меня самоцелью. Мотивом стали желание помочь отрасли, поспособствовать повышению уровня зрелости отраслевых специалистов, обозначить направление для дальнейшего изучения этой темы, поскольку очевидно, что одна книга не может ответить на все вопросы. Но она может стать основой для инсайтов, которые возникнут у ее читателей из производствен-



Е.Б. Липкин, генеральный директор ООО «Остек-Умные технологии» и ООО «Остек-СМТ»

ной сферы, и побудить их к более глубокому погружению в определенные аспекты построения производств мирового уровня.

Еще одним мотивом для меня было то, что, работая над книгой, приходится изучать и анализировать большое количество источников: статей, публикаций, примеров из практики. Я это ощущал еще по первой своей книге, вышедшей семь лет назад.

В результате этой работы приобретаешь знания по предмету, которые помогают самому намного глубже погрузиться в тему, лучше структурировать для себя те или иные вопросы и, конечно, транслировать всё это команде компании.

Что понимается в книге под производствами мирового уровня?

Насколько мне известно, формализованного или стандартизированного определения этого термина не существует, ни в каком документе оно не дается. Поэтому я взял на себя смелость сформулировать это определение в книге, и звучит оно так: «Производство мирового уровня – это производственное предприятие, которое способно выпускать продукцию с потребительскими свойствами, стоимостью и их соотношением не хуже, чем аналоги ведущих мировых производителей в конкретном рыночном сегменте». Последнее уточнение очень важно. Сегменты рынка могут быть разные – как премиальные, так и «класса эконом». По сути, сегмент определяется особенностя-

ми продукта и его экономикой, то есть себестоимостью, ценой на рынке и т. д.

Но в книге приводится и более широкий набор критериев этого понятия, потому что оно, безусловно, тесно связано с вопросами конкурентоспособности, ведь главная задача – создать продукцию по крайней мере не хуже, чем у других. Иными словами, возникает вопрос сопоставления. И это сопоставление может быть в разных измерениях. В книге я предложил четыре базовых измерения: гарантии качества, стоимость, доступность продукции, а также характеристики продукции и комплекс сопутствующих услуг. Этот список не претендует на полноту, но, на мой взгляд, включает основные аспекты.

Возможно, кто-то предложит его дополнить другими характеристиками – я с удовольствием изучил бы обратную связь по этому вопросу.

Я надеюсь, что книга поможет выбрать верный путь развития отечественного приборостроения

Почему я говорю именно про гарантии качества? Потому что качество как таковое покупатель не всегда может оценить на этапе выбора продукции. Таким образом, предприятие должно быть способно убедить потенциального клиента в том, что продукция разработана и изготовлена правильно и что риски для покупателя минимальны. Думаю, что причина включения в этот список стоимости продукции очевидна, равно как и доступности, потому что даже самое лучшее изделие никому не будет нужно, если его приходится ждать, допустим, год, а приемлемый аналог от конкурента доступен здесь и сейчас. Наконец, в современном мире продукт может оказаться неинтересным без услуг, которые строятся вокруг него. Уже давно мы живем в парадигме, когда продукт и сервис представляются связанный продуктово-сервисной системой.

Значимость этих четырех измерений проверена мировой практикой. Дефицит внимания к каждой из них приводит к не самым лучшим последствиям для бизнеса. Но еще раз подчеркну: одна из целей книги – предложить базу и придать импульс для дальнейшей дискуссии. Возможно, в отрасли возникнут идеи, как этот вопрос уточнить или расширить. Такая дискуссия, на мой взгляд, очень важна, потому что, когда подобное обсуждение начинается, появляются новые мысли, и рано или поздно они переходят в действия.

Вы упомянули мировую практику. Как вы считаете, российская радиоэлектронная промышленность должна следовать ей, или у нее есть свой, особый, путь в достижении результата, который можно назвать производством мирового уровня?

Наша страна не изолирована; мы живем в условиях глобализации, где технологии, хоть у них и может быть страна происхождения, не имеют границ. Так или иначе, все используют одну и ту же компонентную базу, практически одно и то же технологическое оборудование, инструменты разработки. Конечно, есть определенные исключения, но, если говорить в целом, создавать все технологии, компоненты и т. п. самому – очевидно, не самый эффективный и рациональный путь. На это просто не хватит ни времени, ни сил, ни финансов. Поэтому свой путь для радиоэлектронной промышленности страны, по-видимому, должен заключаться в некой локализации подходов – в соответствии с принципом «мысли глобально, действуй локально». Это означает, что нужны нестандартные ходы, отраслевые решения и т. п. И я думаю, нам такой путь необходим.

У нас есть заметное отставание от мирового уровня, и чтобы оно сократилось, нас либо должны «подождать», либо у нас должен быть существенный избыток ресурсов относительно наших глобальных конкурентов, который мы могли бы использовать для совершения качественного прорыва, следя по их следам, либо мы должны найти способы срезать путь. Очевидно, что первые два сценария нереалистичные: развитие приборостроения в мире только набирает обороты, а ресурсы у нас конечны. Поэтому нам ничего не остается, как проявить смекалку и совершить некий маневр, чтобы достичь поставленных целей быстрее. Время у нас весьма ограничено. Большинство целевых показателей отрасли у нас привязано к 2030 году. Остается пять лет. Это очень короткая дистанция.

Я вижу решение данной задачи следующим образом: нам необходимо отложить второстепенные по значимости направления и сфокусироваться на том, что может дать максимально быстрый качественный скачок. В книге я постарался проанализировать, что можно выбрать в качестве таких ключевых направлений, в частности, в приложении к «Индустрии 4.0». Эта тема мне наиболее близка: ей была посвящена моя первая книга, а в новой работе четвертая часть так и называется: «Индустрия 4.0: российская версия».

Так что у нас нет другого варианта, кроме как идти своим путем, но этот путь должен учитывать то, что происходит вокруг нас. Некоторые идеи, как это сделать, рассмотрены в книге, но здесь нужно искать нестандартные и неочевидные решения как в масштабах отрасли, так и на уровне отраслевых сегментов

и даже отдельных предприятий. Приборостроение неоднородно, в разных его сегментах есть свои факторы успеха, поэтому необходимо учитывать ситуацию в том числе в каждом конкретном секторе рынка. Свой путь придется искать и, скорее всего, придется искать его коллективно.

Деятельность вашей компании в основном сконцентрирована на приборостроении. Насколько подходы и идеи, рассмотренные в книге, универсальны, применимы к электронной и радиоэлектронной промышленности в целом?

В принципе, если не погружаться в детали, промышленность – это получение продукции из сырья и комплектующих посредством определенных технологических решений. В таком крупном масштабе суть любого производства одинакова, и с этой точки зрения определенные подходы из одного производственного сегмента могут быть применены в другом. Но если погрузиться в конкретные направления, у всех из них есть свои нюансы. В одних направлениях основным критерием является качество, в других – себестоимость продукции. Где-то делаются уникальные изделия под заказ – практически, произведения искусства, а где-то – массовое производство однотипной продукции. Кроме того, различные подотрасли находятся на разном уровне зрелости, в разном состоянии с точки зрения конкурентоспособности, доступности тех или иных ресурсов, на разных фазах жизненного цикла. Поэтому до определенных пределов те или иные принципы можно применить ко всей промышленности, но лишь до определенных пределов. При погружении в детали обобщение может перестать работать.

Моя книга в первую очередь написана про конкретный производственный сегмент, она не задумывалась как универсальная, хотя бы потому, что я не являюсь экспертом во всех направлениях отечественной промышленности. Я понимаю, что могут быть нюансы, которые для меня неочевидны. В приборостроении я работаю уже более 20 лет, хорошо знаю это направление изнутри, общаясь с огромным количеством партнеров, заказчиков, поставщиков.

Это помогло мне в книге очень глубоко погрузиться в отраслевую специфику по отдельным разделам, хотя многие примеры взяты и из других отраслей.

Тем не менее, частично те или иные изложенные в ней идеи, уверен, могут быть полезны для многих руководителей в смежных направлениях, способствовать появлению инсайтов с учетом их специфики.

В начале нашего разговора вы сказали, что некоторое время назад из-за необходимости быстрого замещения ранее импортировавшейся продукции вопросы качества, потребительских свойств, конкурентоспособности отошли на второ-

рой план, а сейчас они вновь становятся актуальными. С чем это связано? Изменилась конкурентная среда, другие условия работы отрасли?

Прежде всего, лично я считаю, что, не совершив качественного изменения в повышении эффективности, мы не выживем как отрасль – по крайней мере в тех масштабах, в которых это предполагается. Отечественное приборостроение на текущий момент – это очень широкий спектр продуктовых сегментов от очень дорогих штучных изделий с колossalными требованиями к характеристикам и качеству до относительно простых приборов, которые производятся

У нас нет другого варианта, кроме как идти своим путем, но этот путь должен учитывать то, что происходит вокруг нас

массово, где битва идет за каждую копейку. Сейчас, по сути, мы пытаемся охватить максимально широкий спектр продукции, и в каждом из этих сегментов разные вызовы.

На сегодняшний день по показателям эффективности в серийном производстве наша страна существенно отстает, допустим, от Китая. В моей книге приводится сравнительный анализ, который показывает, что разница по отдельным показателям может достигать пяти и даже более раз. Конечно, еще остаются определенные благоприятствующие обстоятельства, снижающие уровень конкуренции с мировыми игроками, и в моменте некоторые вопросы можно проигнорировать, но на более длительной дистанции во многих сегментах конкуренция вернется снова. И если себестоимость продукции предприятия будет существенно выше, чем у зарубежных производителей, то так или иначе возникнут определенные сложности. Либо придется жертвовать рентабельностью, либо вообще уходить из наиболее конкурентных сегментов.

Кроме того, дополнительным фактором, который заставляет задуматься об эффективности, является финансовая ситуация. Сегодня ключевая ставка не позволяет привлекать дешевые деньги широкому кругу предприятий, а это очень сильно влияет на инвестиционные проекты в производственном сегменте. В таких условиях при тех параметрах эффективности, которые мы имеем на данный момент, развивать производства будет сложно.

Конечно, это не значит, что в этой обстановке нельзя жить. Вполне возможно строить производства и делать их успешными. Но возможно это, только

если строить их изначально с учетом того, что их эффективность будет на уровне эффективности производств в тех странах, которые являются для нас основными конкурентами. Поэтому повышение эффективности производств и производительности труда – это тема, которой необходимо уделять приоритетное внимание здесь и сейчас. Об этом говорят и с высоких трибун. И моя книга в определенной степени уже содержит ответы, как это сделать, какие показатели и как должны измеряться, какие меры помогают решению этой задачи, на что следует обратить внимание. Безусловно, в ней не предлагается исчерпывающий список мероприятий, но определенные идеи и мысли после ее прочтения появиться должны.

Насколько, на ваш взгляд, сама отрасль – руководители предприятий, их сотрудники – готовы к этим переменам?

Конечно, за всех ответить сложно: сколько людей, столько и мнений. Я думаю, если провести опрос на тему необходимости в повышении эффективности и подходов к этому, мы услышим весь спектр возможных позиций. Но если попытаться вывести некое среднее, то я бы сказал, что на Руси обычно не принято смотреть очень далеко. Мы привыкли жить одним днем. Вспомните, что было в 2022 году, когда только начали вводиться торговые ограничения. Постоянно звучало: «Надо только немного подождать, месяц-два, и всё будет как прежде». Прошел год – «Теперь точно скоро всё закончится». Сейчас прошло почти три года, и всё еще не все поняли, что это очень надолго.

Повышение эффективности производств и производительности труда – это тема, которой необходимо уделять приоритетное внимание здесь и сейчас

Так же далеко не у всех есть понимание, что конкуренция с зарубежными игроками будет нарастать и что это означает? А означает это серьезные изменения в бизнесе. Причем перестройка производства и повышение эффективности – это процесс, который может затянуться на пять-десять лет, а возможно – и на более длительный период. Это предполагает переосмысление стратегии, бизнес-процессов, квалификаций, которые должны быть у сотрудников.

Конечно, никто не будет спорить, что высокая эффективность лучше, чем низкая. Но решиться на радикальные системные преобразования, уйти

на пять-десять лет в трансформацию производства готовы немногие. Такую необходимость трудно принять психологически. И это ощущается в отрасли. Иными словами, осознание важности данного вопроса в отрасли в той или иной степени есть, но оно не настолько крепкое, чтобы предприятия ринулись меняться с завтрашнего дня.

В книге я попытался в определенном смысле подсветить некие моменты, которые могут, как мне кажется, повысить степень мотивации к изменениям. Насколько это получилось – судить читателям.

Но я искренне верю, что книга мотивирует хотя бы нескольких производителей сделать шаги в нужную сторону, и мы получим в нашей стране больше эффективных и конкурентоспособных производств.

В грядущей конкурентной среде основным конкурентом для российского приборостроения будет Китай?

Мировые центры производства всем хорошо известны. Китай в настоящее время доминирует по объемам производства электронной продукции и, по сути, является конкурентом для всех в мире. Мы – не исключение. Более того, в нашем случае это особенно ярко выражено, потому что на фоне ограничений со стороны западных стран для Китая сейчас очень удачный момент в плане импорта в Россию.

Безусловно, есть сегменты, в которых установлены требования по степени локализации производства, но если говорить о нерегулируемой части рынка, например о бытовых ноутбуках и подобных изделиях, то в этих сегментах конкурировать с китайскими производителями будет архисложно. Их стоимостные показатели намного привлекательней, чем у российских предприятий, учитывая огромную разницу в объемах производства.

На регулируемом рынке, конечно, ситуация иная. Но и здесь нельзя не думать об эффективности, потому что в любом сегменте, даже там, где цена определяется не рынком, есть понятие рентабельности, и если у предприятия рентабельность слишком низкая, оно не будет устойчивым. Повышенная эффективность, предприятие может снизить себестоимость продукции и даже при той же цене на продукцию высвободить средства для инвестиций в новые разработки, развитие производственных мощностей, создание клиентских сервисов и т. п.

Первый раздел части 1 вашей книги называется «Зачем нужно собственное производство?». Действительно, насколько эффективна модель, когда компании производят свою продукцию сами, в сравнении с моделью, когда они пользуются услугами контрактных производств?

Тема собственных производств и контрактных услуг в книге поднимается несколько раз, не толь-

ко в ее начале. Контрактное производство – отличная модель, которая позволяет войти в рынок начинающим игрокам с небольшими объемами без необходимости инвестиций в собственные производственные мощности. Это хорошо для отрасли, для экономики.

Но контрактное производство бывает разным, и здесь важно не смешивать различные модели. На сегодняшний день модели контрактного производства в мире, как правило, предполагают большой спектр сопутствующих сервисов. И в какую модель идти, каждый выбирает, исходя из своей ситуации. Если говорить о крупных брендах, можно найти массу примеров, когда компания-владелец бренда не имеет ни одного собственного завода. Такова, в частности, компания Apple. Она размещает производство своей продукции у ряда контрактных производителей. Но размещает она именно производство самих изделий – аппаратной части. Что произойдет, если кто-то скопирует аппаратную часть, допустим, iPhone (что, кстати, сделано уже много раз)? Будет ли это полноценной копией iPhone? Нет, потому что основные компетенции Apple – в софте, в цифровой экосистеме, в сервисах, которые построены вокруг самого изделия. Таким образом, компания Apple защищена с точки зрения рисков, связанных с размещением производства на стороне.

В книге рассматривается еще один интересный пример – взаимоотношения компании Dell и компаний, которая сейчас называется ASUS. Между ними тоже были отношения «заказчик – контрактный производитель». Для Dell это закончилось плохо, потому что они не учли всех рисков таких отношений.

К сожалению, работая по кооперации, надо всегда держать в уме, что есть риски: твои технологии могут «уплыть», на этих же мощностях может делаться продукция твоих конкурентов и т. п. Если твой успех зависит от компании, которая для тебя, по сути, черный ящик, стоит задуматься о том, как исключить эти риски. Не всегда внешний подрядчик может выступать продолжением бизнеса заказчика.

В то же время отношения с подрядчиком могут быть такие, при которых для заказчика всё прозрачно. Он видит производственные показатели, в определенном смысле может управлять качеством и экономикой производства своей продукции, работая с контрактным производителем в тесном взаимодействии. Допустим, цена изделия составляет определенную величину, но рынок движется в сторону снижения стоимости продукции данного типа. Если взаимодействие с внешним подрядчиком позволяет в дальнейшем подстроить производство так, чтобы обеспечить снижение цены до целевого уровня, – это правильное взаимодействие. Если же контрактный производитель говорит: «Я работаю как могу, и не лезь в мою работу», – вряд ли с ним можно выстраив-

вать стратегическое сотрудничество. То же касается качества. Например, Apple очень жестко контролирует производственные площадки своих подрядчиков. У них эта ситуация очень хорошо проработана. Я это знаю из первых уст. С этой точки зрения, возвращаясь к вопросу, нужно ли компании собственное производство, имеет смысл переосмыслить сам этот термин. В моей книге дается определение собственного производства, как производственной площадки, которую вы контролируете. И при этом не важно, кому фактически принадлежит эта площадка. То есть если отношения «заказчик – контрактный производитель» позволяют заказчику и контролировать ситуацию в моменте, и выстраивать определенные процессы на будущее – это можно считать собственным производством.

Решиться на радикальные системные преобразования готовы немногие

Выбор же между созданием производственных мощностей внутри компании и работой с внешним подрядчиком каждый делает сам, исходя из своей ситуации. Вообще, возможность кооперации – это благо. Контрактный производитель может за счет нескольких заказчиков набрать хороший объем и распределить определенные затраты, снизив себестоимость продукции. Есть и другие преимущества работы с контрактными производителями. Но самое главное, не отдавать внешним подрядчикам всё на откуп, а активнее включаться в процесс.

Есть ли в России примеры производства, достигших уровня, который можно назвать мировым?

То определение производства мирового уровня, которое я привел в начале разговора, – это некая база, а ключевым индикатором является то, насколько успешно может компания конкурировать как на внутреннем, так и на внешнем рынках с мировыми игроками. Сейчас мы, к сожалению, находимся в ситуации, когда оценивать можно только конкуренцию на внутреннем рынке. В этом аспекте можно сказать, что есть отечественные производители, которые могут без мер поддержки впрямую конкурировать с зарубежными компаниями по своей тематике. До 2022 года некоторые предприятия успешно поставляли свою продукцию на экспорт в западные страны. Но таких производств мало. Могло бы быть больше.

Могло бы быть больше даже с учетом объема внутреннего рынка?

Есть примеры стран с маленьким внутренним рынком, но большим экспортом. Та же Малайзия, население которой в несколько раз меньше населения России.

В то же время наш внутренний рынок не так уж и мал. У нас страна с большой географией, а это означает длинные линии коммуникаций, развитую сеть автомобильных и железных дорог и т. п. В общем, у нас есть, с чем работать. И несмотря на то, что одним из значимых индикаторов построения производства мирового уровня является успешная конкуренция с мировыми игроками в том числе на внешних рынках, в моменте имеет смысл сфокусироваться на рынке внутреннем, потому что, как подсказывает мировая практика, внутренний рынок может стать хорошим трамплином для развития в будущем. Ведь у себя дома продавать намного проще: люди говорят на одном языке, работа ведется в едином правовом поле, легче выстраивать коммуникации, логистику, решать различные коммерческие и юридические вопросы.

Наш внутренний рынок не так уж и мал. У нас есть, с чем работать

При этом о развитии экспорта тоже нельзя забывать: на внутреннем рынке рано или поздно станет тесно, и игрокам придется либо укрупняться – поглощать друг друга, объединяться и т. п., либо идти на внешние рынки. А путь на внешние рынки предполагает очень серьезную подготовку: развитие определенных компетенций, адаптацию продукции, поиск партнеров за рубежом. Эта работа может растянуться на годы, и если ее не начать заранее, то не удастся выйти на экспорт, когда ситуация для этого сложится.

Если, как вы говорите, пока сконцентрироваться на внутреннем рынке, насколько велики, по вашему мнению, шансы увеличения количества российских производств, способных конкурировать с зарубежными игроками внутри страны с тем, чтобы выполнить планы по замещению импортного оборудования на российском рынке до 2030 года?

Генри Форду принадлежат такие слова: «Думаете ли вы, что сможете, или думаете, что не сможете, – в обоих случаях вы правы». Всё зависит от того, верим ли мы сами в свои способности. А наш народ много раз делал невозможное возможным, достигал

высочайших целей, когда никто в нас не верил. Самое главное – поверить в себя.

В этом аспекте необходимо обратить внимание на такой важный момент, как стимулирование, скажем так, экономического патриотизма в обществе. К сожалению, про это мало говорится. Во многих странах покупать продукцию местных производителей – достойное и социально одобряемое поведение.

Тому, чтобы переломить негативные стереотипы об отечественной продукции, должно уделяться больше внимания

У нас же часто российские бренды на полках магазинов вызывают у покупателей скепсис и даже иронические улыбки. Конечно, это не всегда так, но в целом данная проблема остается. На мой взгляд, тому, чтобы переломить негативные стереотипы об отечественной продукции, должно уделяться больше внимания. Но это уже вопрос, выходящий за рамки только производственных задач: он в большей мере лежит в плоскости маркетинга и информационной деятельности.

Конечно, целевых показателей по импортозамещению можно достичь по-разному. Можно и таможенные пошлины поднять настолько, что просто никто из зарубежных игроков не сможет здесь ничего продать. Но если мы говорим про открытый рынок, то, безусловно, это задача нетривиальная, и для того чтобы ее решить, необходимо, чтобы качество продукции, ее потребительские свойства, стоимостные показатели, сопутствующие сервисы, логистика, маркетинг – всё это было на уровне, сопоставимом с мировым.

Так что, думаю, если задача поставлена, и, если мы поверим в свои силы, можно найти пути, как достичь установленных целей.

Сейчас в отрасли много говорится про дефицит кадров. Насколько этот вопрос принципиален с точки зрения построения производства мирового уровня и какие его аспекты наиболее важны?

Действительно, проблема нехватки кадров – одна из самых острых в отрасли. В некоторых сферах она уже становится критической. По существующим оценкам, к 2030 году дефицит специалистов в электронной промышленности достигнет 50 тыс. – это очень большая цифра, а времени осталось не так много. В лоб эта проблема не решается: даже если, допустим, сейчас большое количество выпускников школ удастся заин-

тересовать этим направлением, и они поступят на соответствующие специальности вузов, то они закончат эти вузы через пять–шесть лет, а потом еще потребуется, чтобы они три–пять лет отработали на предприятии и набрались опыта, прежде чем они полноценно включатся в работу и начнут приносить пользу с точки зрения развития отрасли. Суммарно это восемь и более лет, а до 2030 года осталось лишь пять.

Поэтому, очевидно, помимо программ, ориентированных на длительную подготовку, необходимо реализовывать различные меры по повышению квалификации и переобучению специалистов, уже имеющих производственный опыт. Уверен, что в отрасли есть люди, которых, если правильно всё организовать, можно дополнительного обучить за значительно более короткое время, и они смогут внести гораздо более весомый вклад в успех своих предприятий и отрасли в целом. При этом могут применяться разные модели, в том числе и обучение без отрыва от производства, и онлайн-программы.

Ценную роль могут сыграть и публикации по современным технологиям и подходам к организации производства, которые могут помочь в самообразовании специалистов отрасли, – в том числе и моя книга. Сейчас она уже доступна не только в печатном виде, но и в электронной форме, и ее цена вполне посильна даже для студентов. Есть множество книг в мире, которые могли бы быть полезны с этой точки зрения. Возможно, имело бы смысл их перевести на русский язык и сделать доступными для отраслевых специалистов.

Но есть и второе направление, которое может помочь справиться с дефицитом отраслевых специалистов. Это, собственно, сокращение трудозатрат, повышение производительности труда и эффективности производств. Но здесь возникает другая проблема. У нас не так много руководителей предприятий и специалистов по организации производства, которые бы обладали всем спектром необходимых инструментов и знаний для того, чтобы обеспечить мировой уровень эффективности. Таких специалистов – буквально единицы. У подавляющего большинства сотрудников отечественных предприятий не было возможности поработать на передовых мировых заводах, впитать в себя лучшие практики, знания, компетенции, опыт, чтобы затем это использовать уже здесь, в отечественной промышленности. Уровень производственного менеджмента – это, наверное, наша ахиллесова пятка, одно из основных препятствий для того, чтобы сделать качественный скачок в повышении эффективности производств.

В то же время по крайней мере я не слышал, чтобы вузы готовили таких специалистов, которые по окончании обучения могли бы пойти на предприятие отрасли и настроить систему управления качеством, обеспечить сбор и обработку параметров эффектив-

ности, предложить и реализовать меры по ее повышению. Про соответствующие курсы повышения квалификации мне тоже ничего не известно. Вероятно, что-то подобное существует, но информации об этом мне найти не удалось, хотя я целенаправленно ее искал. В результате получается замкнутый круг: чтобы снизить потребность в кадрах, необходимо повышать эффективность производств, а специалистов, которые смогли бы это сделать, практически нет. С этим, я считаю, следует поработать в первую очередь.

Мы реализуем большое количество проектов, инициатив, чтобы то, что заявлено в книге, стало реальностью в нашей отрасли

Таким образом, на мой взгляд, к решению кадрового вопроса в отрасли следует подходить комплексно, двигаясь параллельными путями: и работая над эффективностью производств, и реализуя программы подготовки новых кадров, и повышая квалификацию действующих сотрудников предприятий.

Расскажите, пожалуйста, про планы на будущее – ваши и вашей компании.

Главная задача, которую мы ставим перед собой, – помочь как можно большему количеству отечественных предприятий реализовать на практике идеи и подходы по строительству производств мирового уровня, которые в том числе рассматриваются в книге. Это непростой путь. Под решение данной задачи мы определенным образом перестраиваем внутреннюю структуру компаний, привлекаем специалистов, которые обладают необходимыми компетенциями, усиливаем свою команду.

Тема построения производств мирового уровня является ключевой в рабочей стратегии ООО «Остек-СМТ» и ООО «Остек-Умные технологии», и в рамках ее реализации мы разрабатываем комплексные решения SMART и FLEX. Эти линейки регулярно развиваются и расширяются в ответ на требования рынка.

Мы реализуем большое количество проектов, инициатив, чтобы то, что заявлено в книге, стало реальностью в нашей отрасли, чтобы российское приборостроение стало значимым в мире, чтобы наши производители смогли конкурировать с зарубежными компаниями на открытом рынке, какими бы крупными ни были наши конкуренты. Это наш основной вектор, и мы верим, что у нас это получится.

Спасибо за интересный рассказ.

ТЕХНОЛОГИИ

Будущее интеллектуальных устройств для формирования изображений – интеграция трехслойного стека

Текст: Дмитрий Суханов

”

За последнее десятилетие использование всё меньших габаритов при разработке электронных устройств привело к сильному скачку их функциональности и производительности, что, в свою очередь, пристимулировало быстрый прогресс в области интегрированных технологий. Методы 3D-интеграции выделяются как особенно многообещающие, они раскрывают потенциал электроники с точки зрения производительности, размера, эффективности и функциональности.

Благодаря вертикальному развитию структур – наложению нескольких слоев – 3D-интеграции удалось облегчить объединение нескольких функций электронных устройств в ограниченном пространстве и достичь повышения производительность при ограниченном энергопотреблении. В результате, многоуровневая память, чиплеты и гетерогенная интеграция начали стремительно набирать обороты.

Тем не менее, в последние годы датчики изображения на основе комплементарного металл-оксид-полупроводника (КМОП) явно лидируют в области 3D-интеграции. Давайте разберёмся.

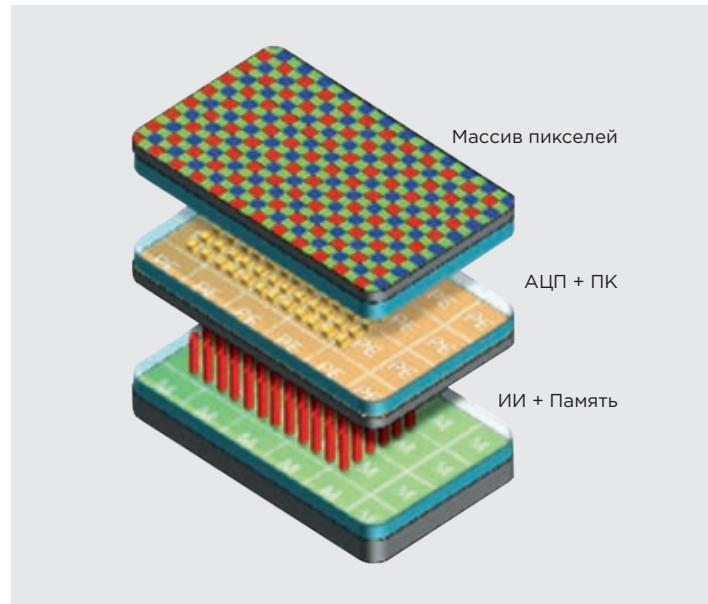
Среди новых технологий в области восприятия изображений ключевой тенденцией является применение 3D-многослойных стеков устройств. Благодаря 3D-гибридному бондингу уже сейчас двухслойные устройства формирования изображений более продуктивны и позволяют объединить две отдельно оптимизированные технологии: специализированную пиксельную технологию (низкий уровень шума, высокая динамика, высокая квантовая эффективность) и усовершенствованную аналоговую и цифровую КМОП-технологию (высокая плотность, низкое энергопотребление).

Для дальнейшего развития многослойной интеграции было решено добавить третий слой

Трехслойная интеграция представляет особенный интерес, поскольку помимо возможности оптимизации отдельных слоев она предлагает использование дополнительного слоя – устройство на кремниевой пластине для реализации новых функций, размещения инновационных решений по разделению функций или использования различных модулей с передовыми технологиями. Таким образом, «трехслойный» подход поспособствовал гонке за уменьшением «пиксельности» сенсоров, сохраняя при этом оптические характеристики приборов. Это также позволяет предусмотреть прямую реализацию нейронной сети и памяти, чтобы встроить искусственный интеллект (ИИ) в сам датчик изображения.

Технологии, необходимые для такого нового поколения интеллектуальных устройств формирования изображения на основе встроенного ИИ, разрабатываются во многих компаниях по всему миру. В статье мы рассмотрим работу компании CEA-Leti в рамках программы IRT Nanoelec/Smart Imager, в которой участвуют CEA, STMicroelectronics, Siemens EDA, Prophesee, Lynred и Grenoble INPUGA. Программа решает все ключевые задачи: от инновационных архитектур до проектирования и разработки кремниевых технологий.

В частности, сочетание гибридного соединения и высокоплотных сквозных кремниевых переходов (HD TSV – high-density through-silicon vias) является крайне многообещающим для интеграции различных компонентов для сенсоров и формирователей изображений. Мы рассмотрим результаты разработки компании CEA-Leti в области кремниевых технологий, включающие гибридный бондинг



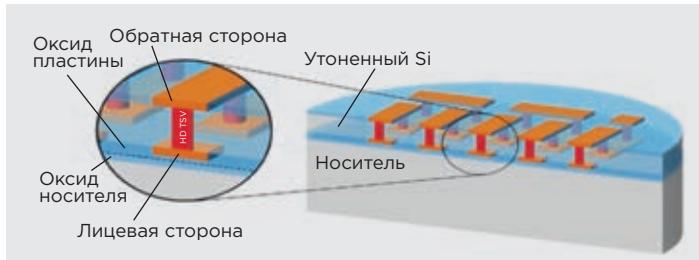
1

Иллюстрация трехслойного интеллектуального устройства формирования изображений, где слой 1 – массив пикселей (фотодиод), слой 2 – устройство аналого-цифровой обработки сигнала, слой 3 – устройство с искусственным интеллектом (AI – artificial intelligence)

пластина-к-пластине и HD TSV, с демонстрацией двухслойной и трехслойной интеграции. Достигнутые результаты прокладывают путь к следующему поколению интеллектуальных устройств для формирования изображений (РИС 1).

Разработка TSV высокой плотности 1 × 10 мкм

TSV необходимы для 3D-интегральных схем, поскольку они обеспечивают плотные вертикальные соединения, которые уменьшают задержку и увеличивают пропускную способность. Как часть трехслойного датчика изображения они создают условия для интеграции дополнительных функций (например ИИ для более продвинутых возможностей обработки) непосредственно в датчике, тем самым повышая его общую производительность и универсальность. HD TSV с диаметром 1 мкм были впервые разработаны с глубиной 10 мкм. Действительно, из-за ограниченной точности процесса утонения можно было достичь общего изменения толщины (TTV – total thickness variation) около 3 мкм по пластине. Следовательно, толщина кремния менее 9 мкм была бы неактуальной ввиду неравномерности утонения, и в этих условиях рассеяние электрического сопротивления, вызванное более чем 30 % изменением общей высоты, было бы неприемлемым. Соотношение сторон этих TSV – 10:1 было довольно сложным с точки зрения процесса, поскольку процессы усиленного плазмой (PECVD – plasma-enhanced chemical vapor deposition) плазмохимического осаждения из газовой фазы едва ли способны достичь дна таких глубоких отверстий с данным аспектным соотношением. Следовательно, ожидалось плохое покрытие ступеней для диэлектрического слоя, предназначенного для изоляции металлических TSV от окружающего кремния. Это



2

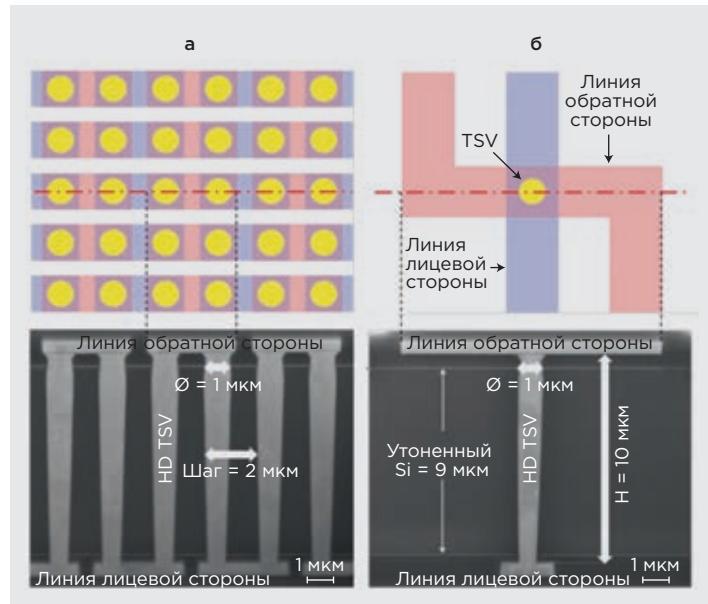
Схематическое изображение TV 1L, используемого для получения необходимых характеристик HD TSV

ограничение было выявлено на базовом первом слое (1L) тестируемого устройства (TV – test vehicle). Используя всего лишь один уровень металлизации, полученной по дамасской технологии (дамасцен), удалось получить слой 1L TV и использовать его для получения HD TSV (рис 2). Эти слои металлизации расположены на каждой стороне утоненной пластины, которая, в свою очередь, установлена на промежуточном носителе. Реализованная многослойная система получена с помощью процесса бондинга слоев оксид-оксид независимо от «сборки» всего многоуровневого стека (без вкладов гибридных соединительных площадок или переходных отверстий).

Полученное TV включало реализацию последовательно соединенных структур с шагом 2 мкм (рис 3а), что дало 100 % выход по параметру проводимости в 10000 HD TSV, тем самым продемонстрировав, что соединения как с передней, так и с задней линиями были выполнены без брака. Затем были использованы структуры с одним изолированным TSV (рис 3б) для точного измерения электрического сопротивления одного TSV без вкладов от линий питания. Было получено медианное значение сопротивления менее 1 Ом с минимальным значением около 0,5 Ом. Однако на определенных структурах такого рода с плотной матрицей HD TSV (шаг 2 мкм) вокруг тестируемого устройства (DUT – device under tests) измерение сопротивления было нарушено, скорее всего из-за утечки между фиктивными TSV. Поэтому часть тока, текущего от верхней линии к нижней, вероятно проходила через фиктивные TSV вместо или в дополнение к протеканию через DUT.

Морфологические характеристики, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ), подтвердили, что контакт с верхней и нижней линиями был хорошим, и внутри медных цилиндров отсутствовали пустоты. Совмещение между TSV и посадочными площадками (линия лицевой стороны) было исключительно хорошим (<50 нм). В общем, |Среднее| +3σ всего в 65 нм было измерено по всем пластинам эксперимента, что было получено благодаря полевому выравниванию, которое компенсировало искажение карты из-за процесса бондинга.

Дополнительные поперечные СЭМ-фотографии также подтвердили, что изоляционный слой был недостаточно толстым, с высокой вероятностью разрывов вдоль боковых стенок из-за ограничений процесса осаждения PECVD. Тем



3

Вид сверху и фотографии поперечного сечения, полученные с помощью СЭМ, для HD TSV размером 1 × 10 мкм в архитектуре 1L: а) плотная среда (цепочка с шагом 2 мкм) и б) изолированная область

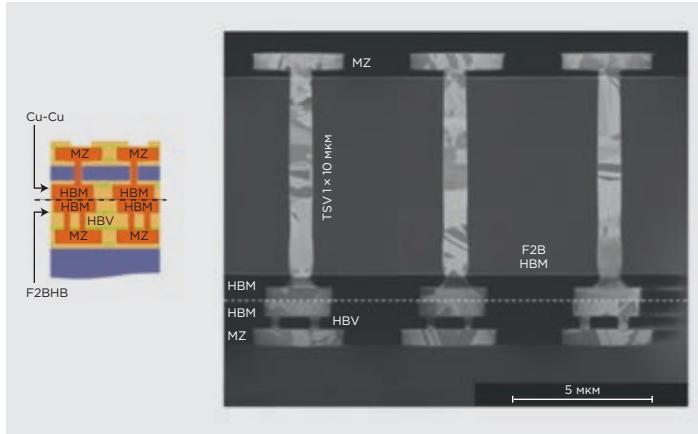
не менее, были внедрены те же TSV в более сложные TV, чтобы проверить их связность в многослойных архитектурах с использованием гибридного соединения. Далее рассмотрим результат разработки различных TV.

Демонстрация двух- и трехслойной интеграции

После ряда проб и ошибок был разработан трехслойный стек 3L TV, который включает два гибридных интерфейса связи Cu-Cu, лицом к лицу (F2F – face to face) и лицом к обратной стороне (F2B – face to back), причем один слой содержит HD TSV размером 1 × 10 мкм.

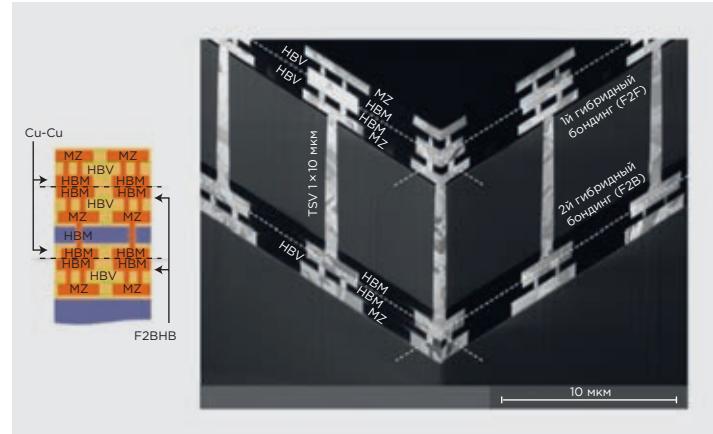
3L TV состоит из трех пластин Ø300 мм, каждая из которых образована из трех сложенных друг на друга уровней дамасцина: уровень линий металлического слоя (MZ – metallization), уровень гибридного соединения (HBM – hybrid bonding via) и уровень гибридного металлического соединения (HBM – hybrid bonding metal). После гибридного соединения F2F первых двух пластин кремний верхней пластины утонялся до 10 мкм, чтобы обеспечить изготовление TSV в оставшемся тонком слое кремния. После добавления контактных площадок поверх TSV можно выполнить гибридное соединение F2B перед удалением кремния верхней пластины. Наконец, после осаждения и открытия пассивирующего слоя формируются окончательные медные площадки.

Для этого типа 3D-интеграции основной проблемой является интеграция межсоединений TSV в процесс гибридного бондинга для обеспечения всего процесса F2B после изготовления TSV. Чтобы продемонстрировать осуществимость интеграции, сначала был разработан двухслойный 2L TV. В этом технологическом процессе контролируемая химико-механическая полировка (ХМП) является ключевым процессом, позволяющим получить плоскую поверхность



4

Поперечное сечение 2L TV, полученное с помощью FIB-SEM: шаг контактных площадок составляет 6 мкм, размеры HD TSV – 1×10 мкм



5

FIB-SEM 3D-поперечное сечение структуры 3L TV: шаг контактных площадок составляет 6 мкм, размеры HD TSV – 1×10 мкм

с очень низкой нанотопографией и шероховатостью после интеграции TSV.

На РИС 4 показано изображение поперечного сечения 2L TV, созданное с помощью СЭМ. Была получена хорошая электрическая связь, что продемонстрировано электрическими испытаниями структур (сопротивление, близкое к 1 Ом) с использованием 1×10 мкм HD TSV.

Продемонстрировав возможность интеграции HD TSV, совместимую с этапом гибридного бондинга F2B, был отработан процесс производства 3L TV с тремя пластинами и двумя этапами гибридного бондинга. В процессе была разработана техника 3D-поперечного сечения сфокусированного ионного пучка (FIB)-SEM для получения изображения двух перпендикулярных поперечных сечений в одном и том же месте, что позволяет одновременно просматривать структуру в направлениях X и Y (РИС 5).

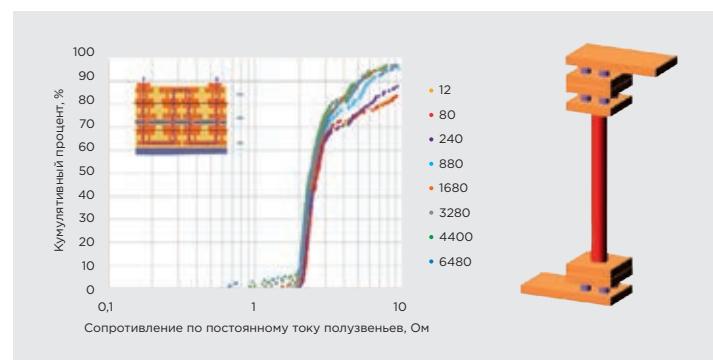
3D-сечение показывает хорошую связность между слоями дамасцена, включая TSV. В дополнение к этим морфологическим характеристикам были проведены электрические испытания на полученных структурах, чтобы продемонстрировать функциональность полученного 3L TV. На структурах с числом полузвеньев от 12 до 6480 (РИС 6) было получено среднее сопротивление около 2,5 Ом на модуль с очень низкой дисперсией для основных соединений (80 % от общих соединений). Эти результаты весьма удовлетворительны. Тем не менее, технологический процесс продолжает совершенствоваться в производстве, чтобы максимально снизить сопротивление полученной структуры. Далее было принято решение немного изменить конфигурацию структуры 3L TV, используя более короткие соединения TSV, чтобы изготавливать TSV 1×6 мкм вместо TSV 1×10 мкм. Эти более короткие структуры TSV должны снизить сопротивление структуры 3L.

Разработка 1×6 мкм HD TSV и внедрение в 2L TV

Чтобы преодолеть проблему утечки между TSV, были уменьшены их аспектные соотношения. Чтобы сохранить

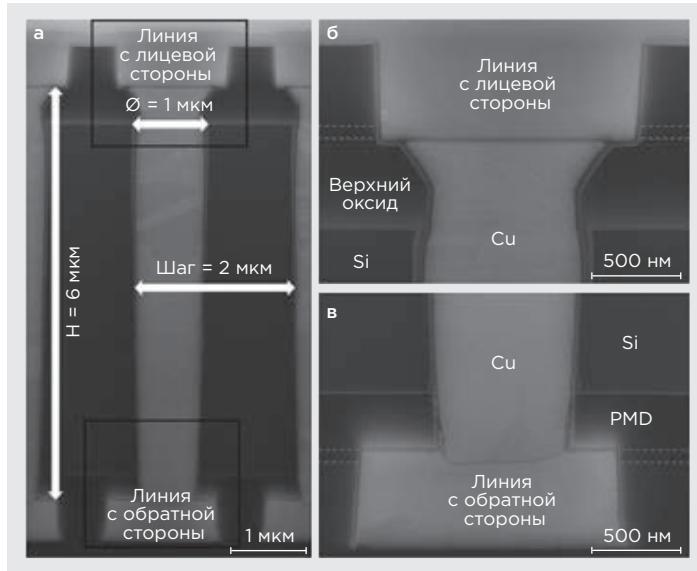
ту же плотность, диаметр не был изменен, а высота уменьшена на 40 %. Для этого сначала пришлось улучшить и оптимизировать процесс утонения, уменьшив TTV до 1 мкм. При дисперсии в ±10 % стало возможным рассмотреть утонение кремния до 5 мкм. Следовательно, появилась возможность перейти на геометрию TSV 1×6 мкм (включая верхний и нижний оксидные слои) вместо исходной 1×10 мкм. Данное уменьшение аспектного соотношения улучшило покрытие изоляционного вкладыша для каждого шага TSV и решило проблему утечки. **Укорачивание TSV на 40 % пропорционально снизило их электрическое сопротивление.**

После успешных процессов создания 1×6 мкм HD TSV в 1L TV и их электрических и морфологических измерений (РИС 7) было принято решение по внедрению в 2L TV. Оно оказалось успешным. Выход соединения в последовательных цепях оставался близким к 100 %, подтверждая совместимость 1×6 мкм HD TSV с ограничениями гибридного бондинга. Электрическое сопротивление, измеренное на одиночных структурах, включая вклады от контактных площадок и переходных отверстий, соответствовало ожиданиям и расчетам со средним значением 1,2 Ом. Наконец, измерения на СЭМ подтвердили, что морфология TSV



6

Кумулятивное процентное сопротивление полузвеньев последовательной цепи для 3L TV с шагом 6 мкм и 1×10 мкм HD TSV



7

Микрофотографии поперечного сечения HD TSV размером 1×6 мкм в архитектуре 1L, полученные с помощью СЭМ: а) общий вид в плотной области (шаг 2 мкм); б) увеличенное изображение верхней части HD TSV; в) увеличенное изображение основания HD TSV.

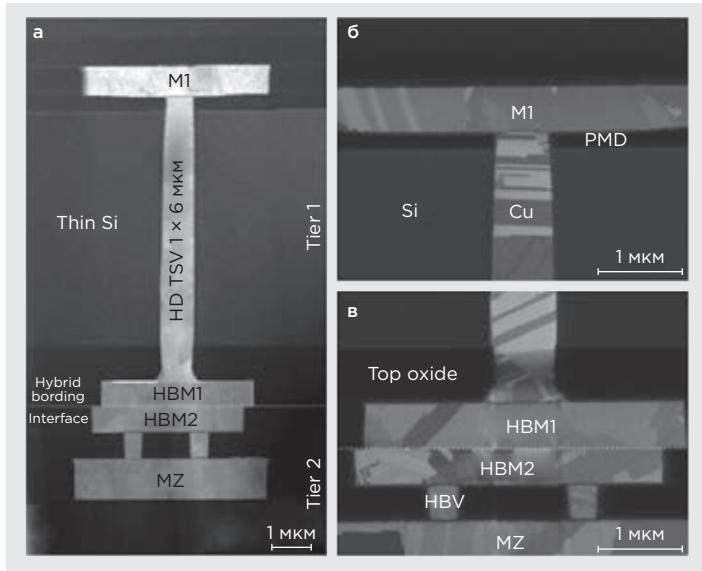
и интерфейсы гибридного соединения после бондинга соответствуют всем предъявляемым требованиям (РИС 8).

Полченный результат на архитектуре 2L служит хорошей основой для внедрения таких структур в 3L TV и функциональные интеллектуальные устройства формирования изображений.

На пути к производству трехслойных интеллектуальных устройств для формирования изображения

Результаты процессов и технологий, представленные в статье, являются ключевыми шагами в разработке будущих поколений интеллектуальных устройств для формирования изображений. Уменьшение размера пикселя будет продолжаться, как и попытки улучшить производительность и добавить новые функции. Обеспечивая высокоплотные и низкоомные межсоединения, гибридный бондинг в сочетании с HD TSV в значительной степени способствует будущему прогрессу таких устройств. Тенденции по уменьшению шага в гибридном соединении в настоящее время в основном обусловлены устройствами памяти и чиплетами, но данный процесс остается ключевой технологией для датчиков изображений. HD TSV также играют важную роль в 3D-взаимодействии, обеспечивая путь для эффективной передачи сигнала и распределения мощности между вертикально уложенными слоями. Все это доказывает, что будущее в технологиях микроэлектронных устройств – это развитие многоуровневых стеков.

Продемонстрированные CEA-Leti 1×6 мкм HD TSV показали превосходные морфологические и электрические результаты, достигнутые благодаря усовершенствованному процессу утонения, уменьшившему TTV до 1 мкм. Более короткая длина TSV снизила электрическое сопротивление,



8

Микрофотографии поперечного сечения HD TSV размером 1×6 мкм в архитектуре 2L, полученные с помощью СЭМ: а) общий вид в плотной области (шаг 4 мкм); б) увеличенное изображение основания HD TSV; в) увеличенное изображение верхней части HD TSV

и также аспектное соотношение, создав условия для лучшего осаждения лайнера оксида и, таким образом, для улучшенной электроизоляции. Процессы оптимизировались, чтобы сделать HD TSV совместимыми с гибридным бондингом, поэтому гибридное соединение F2B может быть выполнено после изготовления HD TSV. Изготовление и тестирование трехслойной структуры доказывает реальное существование трехслойной архитектуры, объединяющей HD TSV с малым шагом и гибридным соединением в конфигурациях «лицом к лицу» и «лицом к спине». И это прокладывает путь к производству трехслойных интеллектуальных устройств для формирования изображений в серийном производстве.

Параллельно с этими технологическими разработками решаются различные проблемы, связанные с инструментами 3D-проектирования и потоком автоматизированного проектирования: аналоговое и смешанное моделирование сигналов, высокочастотный синтез, размещение и маршрутизация, тепловое моделирование, проектирование для испытаний и комплекты для проектирования процессов. Определяются оптимизированные архитектуры, изучаются решения по разбиению, а также оптимизация нейронных сетей. Все эти разработки будут способствовать появлению следующего поколения интеллектуальных устройств для формирования изображений с функциями искусственного интеллекта.

Очень скоро мы увидим функциональные «трехслойные» интеллектуальные устройства для формирования изображений, которые выведут множество привычных нам вещей на новый уровень. □

Использованные материалы

- « Achieving 3-layer stacking integration for future smart imagers » By Stéphan Borel, Stéphane Nicolas (CEA-Leti). Chip Scale Review. July-August, 2024.

520

первоклассных
специалистов
в штате

2500

реализованных
комплексных
проектов

25 000

единиц
инсталлированного
оборудования

**Остек-ЭК –
первый
поставщик,
о котором
вы думаете,**

**...когда требуется оборудование
для микроэлектронного производства**

Умеем внедрять технологии независимо от того,
что происходит в современном мире.

Оборудование

- для микросборки и корпусирования;
- для полупроводникового кристального производства.



группа компаний

Ostec-ЭК

Оборудование и сервис
для микроэлектронных производств
ostec-micro.ru | micro@ostec-group.ru | +7 (495) 788-44-42

Метод диффузионной пайки кристаллов

с использованием пористой меди и припойной пасты Cu-Sn при корпусировании силовых ЭК

Текст: Григорий Савушкин

”

В статье рассмотрен новый метод диффузионной пайки (TLP – transient liquid phase) с использованием пористых преформ из меди, а также пасты Cu-Sn. Данные материалы с увеличенной площадью контакта материалов были использованы для сокращения длительности процесса диффузии, что является недостатком традиционных методов диффузионной пайки. После нанесения Cu-Sn на верхнюю и нижнюю части преформы из пористой меди для заполнения пастой пор в меди применяется монтаж кристалла при температуре 260 °С под давлением. Паяное соединение, состоящее только из медной матрицы и интерметаллических соединений Cu-Sn, формируется в течение 5 минут. При этом доля фазы Cu_3Sn в соединении увеличивается с увеличением времени монтажа. После 40 минут термокомпрессии соединение в основном состоит из медной матрицы и Cu_3Sn .

Введение

В последнее время, особенно в связи со стремительным ростом рынка электрического транспорта, увеличивается использование и спрос на силовые электронные компоненты. Это повышает интерес к развитию технологий изготовления и корпусирования чипов для высокомощных применений [1–3].

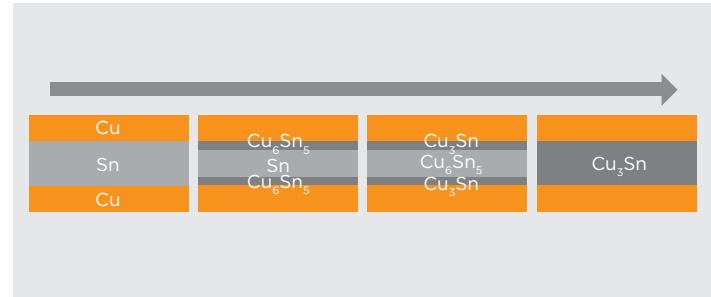
Силовые ЭК являются ключевыми компонентами при производстве электромобилей и значительно влияют на преобразование, управление и распределение энергии [4–5]. Кроме того, они являются элементами устройств для производства возобновляемой энергии, таких как ветровые турбины и фотоэлектрические компоненты. Поэтому спрос на силовые модули растет, и предлагаются различные методы повышения их надежности.

В частности, при производстве силовой электроники происходит активный переход на полупроводниковые материалы с широкой запрещенной зоной на основе SiC и GaN [6–8]. По сравнению с традиционными кремниевыми ЭК, SiC/GaN-компоненты могут работать при более высоких температурах и напряжениях и обеспечивают работу на более высоких частотах [9–10]. Однако улучшение производительности при использовании широкозонных полупроводников сопровождается увеличением рабочей температуры силового модуля, что требует улучшения температурной надежности соединения кристалла с подложкой.

Припойные сплавы на основе свинца или олова, такие как Sn-3.0Ag-0.5Cu (SAC305), широко распространены в качестве материалов для монтажа кристаллов. Однако оловянный припой не может обеспечить надежность ЭК в условиях, когда рабочая температура превышает 200 °C, из-за его относительно низкой температуры плавления. Поэтому активно развиваются и применяются альтернативные методы создания паяного соединения для монтажа кристаллов. На текущий момент популярны эвтектическая Au-Sn пайка, Ag-синтеринг, а также метод диффузионной пайки (TLP – transient liquid phase) [11–14].

Процесс Au-Sn-пайки обычно использует эвтектический припой Au80-Sn20 и имеет преимущество в том, что производится в целом так же, как и традиционный процесс пайки, и при этом обладает отличной тепло- и электропроводностью. Однако он дорог из-за высокого содержания золота в припойном материале.

Процесс монтажа кристаллов посредством синтеринга на Ag-пасту предполагает формирование паяного соединения между поверхностями подложки и кристалла с применением соответствующей температуры и высокого давления. Во время процесса спекания и монтажа атомы серебра диффундируют для уменьшения энергии поверхности, и таким образом формируется прочное соединение. Обычно используются микро- или наноразмерные порошки серебра, так как чем больше площадь поверхности материалов, тем выше скорость взаимодействия между атомами. Благодаря этой процедуре монтаж возможен даже при температурах значительно ниже температуры плавления серебра. Однако



1

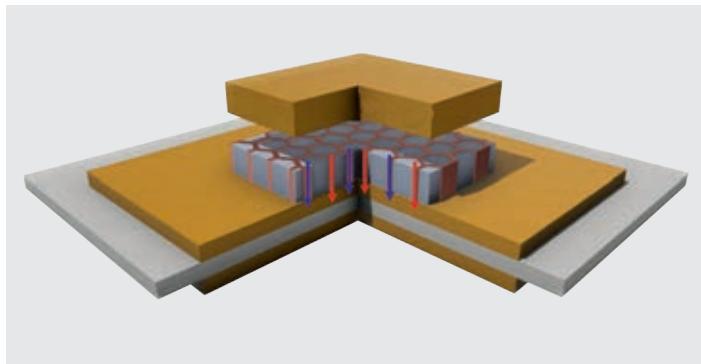
Схематическая иллюстрация процесса формирования соединения Cu-Sn при диффузионной пайке

данний метод сложен из-за высокой окислительной способности материала, а также необходимости прилагать существенное давление на кристалл при спекании.

Метод диффузионной пайки состоит в размещении относительно легкоплавкого наполнителя, такого как Sn, In или оловянного припоя в виде преформ или напыленного слоя, между тугоплавкими металлами – поверхностями подложки и кристалла, такими как Cu или Ni. Данный метод монтажа кристаллов проходит выше температуры плавления наполнителя, и по итогам процесса формируется паяное соединение, состоящее из интерметаллидов, сформированных посредством межатомной диффузии [15–17]. На РИС 1 показан процесс формирования соединения Cu-Sn интерметаллидов. Обычно процесс монтажа проводится при температуре ниже 300 °C, но соединение, состоящее только из интерметаллидов, имеет более высокую температуру плавления. В случае системы Cu-Sn температуры плавления интерметаллических соединений Cu_6Sn_5 и Cu_3Sn составляют 415 и 676 °C соответственно [18].

Интерметаллиды формируются на границе раздела между материалами, и скорость формирования соединения замедляется в течение всего процесса монтажа. Поэтому требуется длительное время для формирования соединения, состоящего только из интерметаллидов. Следовательно, необходимы различные исследования, цель которых – увеличение скорости формирования требуемых интерметаллических соединений. В частности, проводятся исследования по переходному жидкофазному спеканию (TLPS) с использованием порошков, что позволяет увеличить эффективную площадь взаимодействия материалов. Проводились эксперименты по приложению УЗ-колебаний к паяному соединению в процессе монтажа для стимуляции диффузии [19]. Помимо этого, проводятся различные исследования для улучшения надежности соединений путем применения таких материалов, как плёнки пористой меди (т.н. медная пена – copper foam), покрытой оловом.

Исследователи [20] приняли решение выполнить соединение с использованием слоя пористой меди и пасты Cu-Sn для дальнейшего увеличения скорости формирования интерметаллидов на месте соединения кристалла и подложки. Copper foam является пористым материалом с виде



2

Схематическая иллюстрация соединения с вставленной медной пеной

сетки и очень большой площадью поверхности благодаря своей структуре, что обеспечивает высокую скорость реакции. На РИС 2 показана схема соединения с размещенными слоями пористой меди.

Методы эксперимента

Материалы

Авторы исследования использовали преформу меди толщиной 80 мкм и пористостью 110 пор на дюйм (ppi). Паста Cu-Sn была изготовлена с использованием порошков Cu и Sn из сфероподобных частиц размером 7 мкм и 5–7 мкм соответственно. После смешивания порошков Cu и Sn в соотношении 6:4 (% от массы), смешанные порошок и флюс (CVP-390, Alpha Assembly Solutions) были смешаны в соотношении 83:17 (% от массы) для изготовления пасты. Схема процесса изготовления пасты Cu-Sn показана на РИС 3.

Для процесса пайки использовались голая медная подложка (DBC) ($10 \times 10 \times 1$ мм) и медный спейсер ($3 \times 3 \times 0,5$ мм). Все медные поверхности были очищены с помощью ультра-



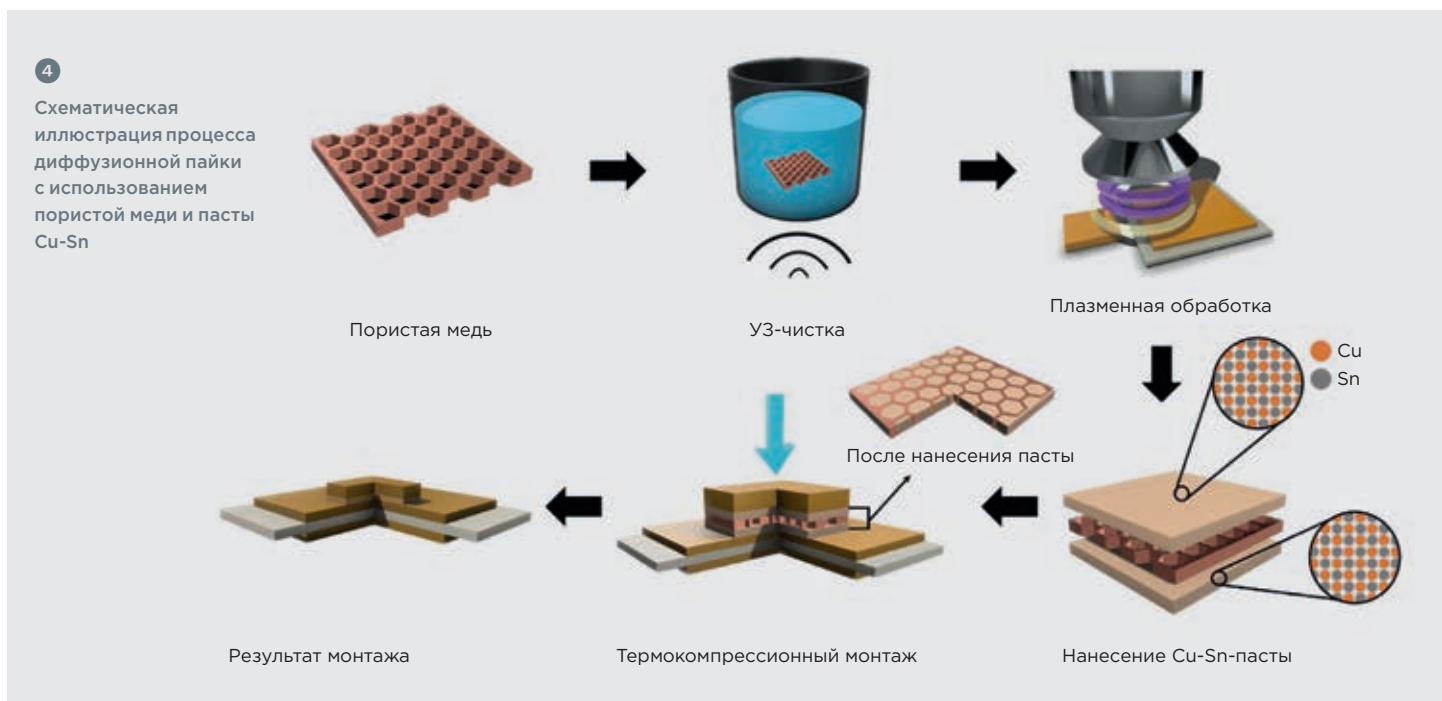
3

Схематическая иллюстрация процесса изготовления пасты Cu-Sn

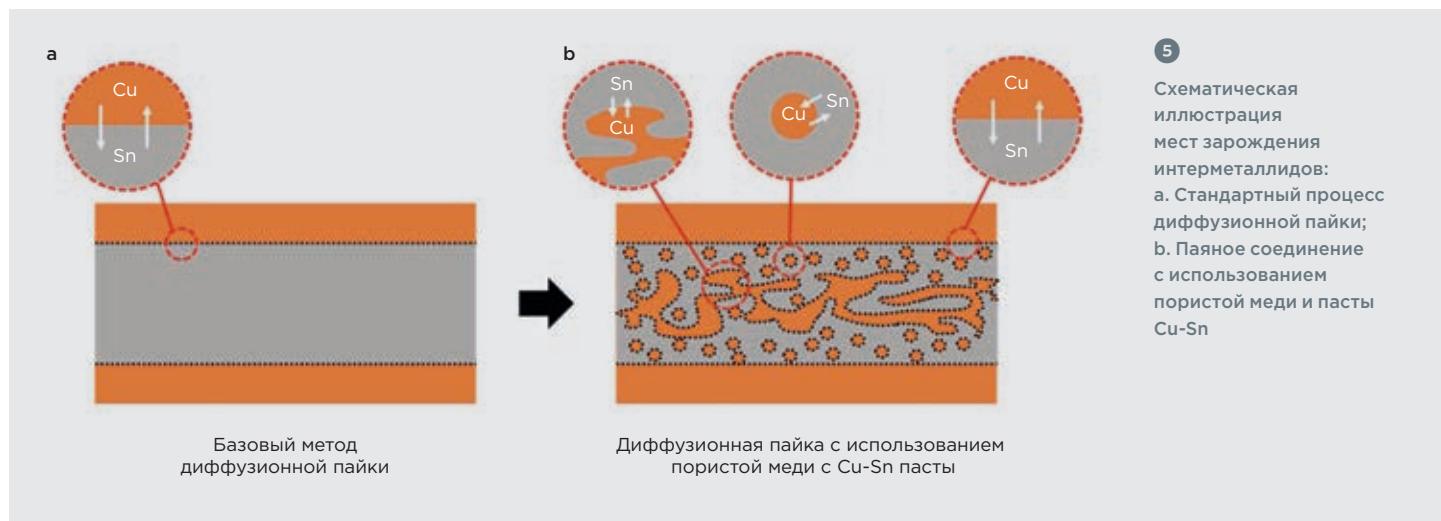
звуковой чистки в этаноле и высушены перед процессом монтажа.

Процесс диффузионной пайки

Для выполнения процесса (РИС 4) монтажа слой пористой меди был разрезан на квадраты 3×3 мм, такие же, как у спейсера. Затем были проведены ультразвуковая очистка и сушка материала. Для улучшения смачиваемости подложки и спейсера выполнили плазменную обработку. После этого паста была нанесена на обработанную плазмой подложку, сверху размещена пористая медь, и снова нанесена паста, чтобы заполнить все поры в структуре преформы. Далее был выполнен термокомпрессионный монтаж спейсера при 260°C под усилием 3 кгс в течение 5, 10, 20 и 40 минут. После описанного процесса диффузионной пайки провели тест на термоциклирование для оценки долговременной надежности паяного соединения при высоких температурах. Тестирование проводилось при 240°C



ТЕХНОЛОГИИ Метод диффузионной пайки кристаллов с использованием пористой меди и припойной пасты Cu-Sn при корпусировании силовых ЭК



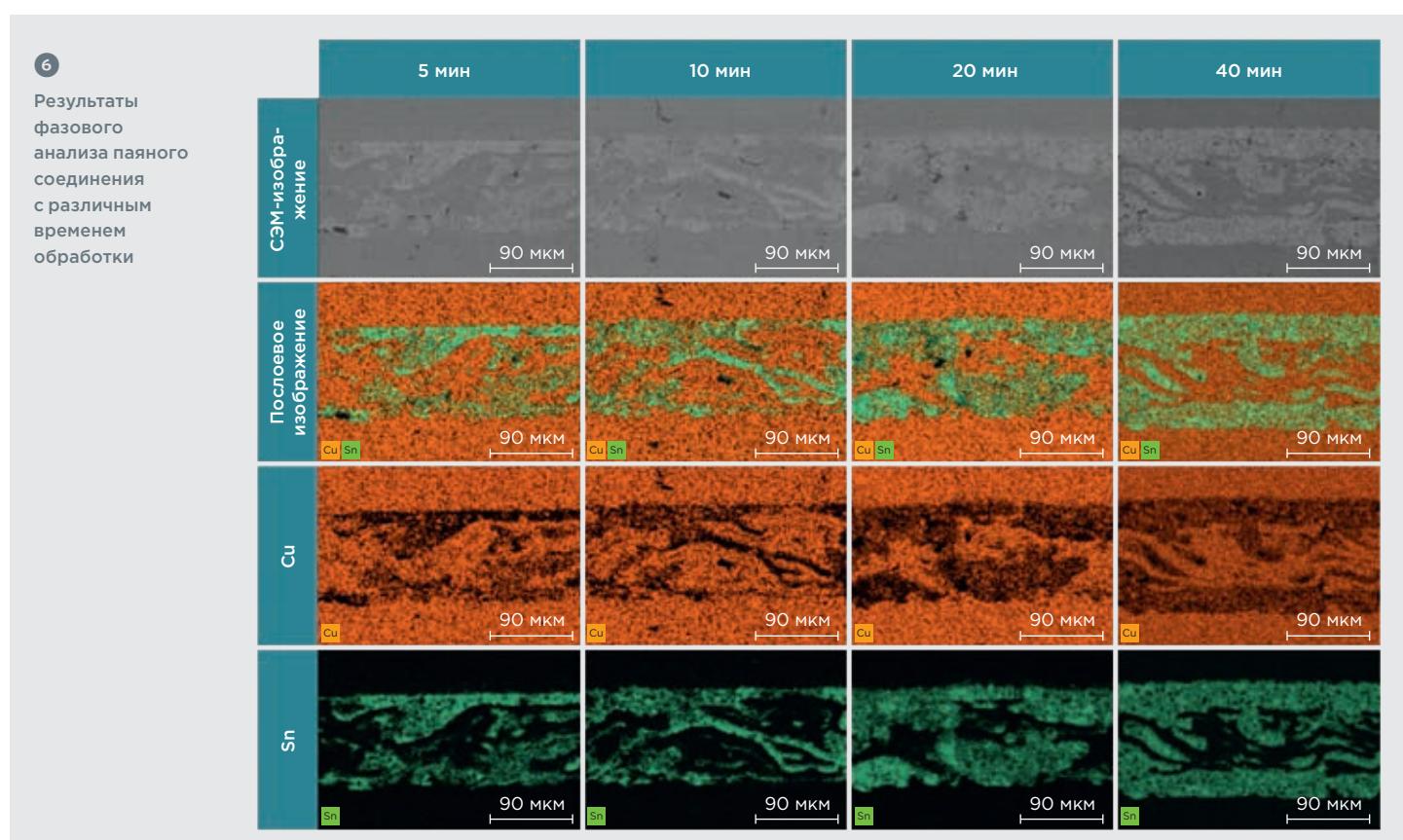
до 1000 часов в атмосфере воздуха, и цикл повторялся каждые 250 часов.

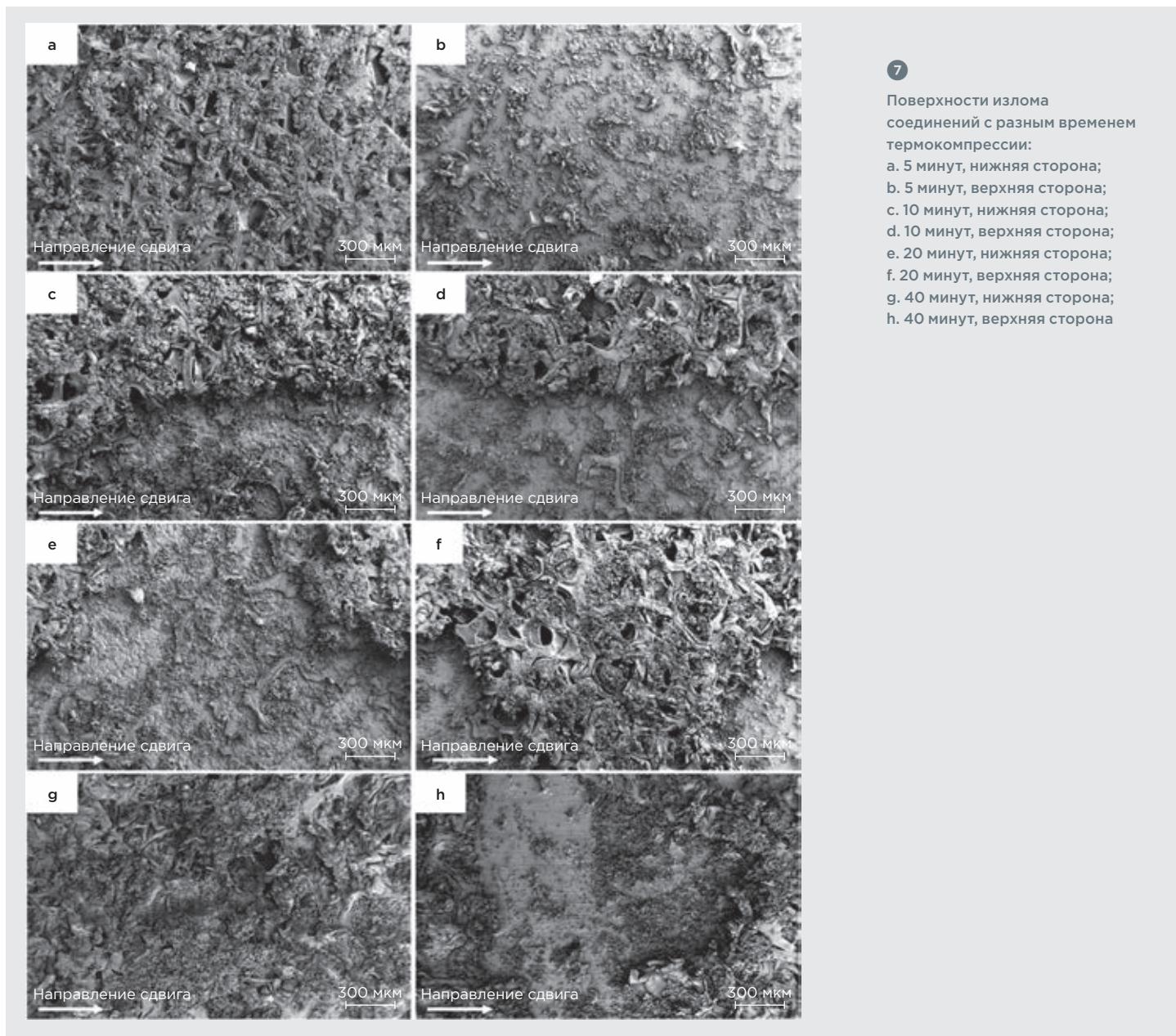
Результаты

После процесса монтажа был проведен анализ микроструктуры поперечного сечения паяного соединения. На РИС 6 показаны поперечные изображения с использованием сканирующего электронного микроскопа соединений с разным временем термокомпрессии. Поперечный анализ показал, что соединение, обрабатываемое в течение 5 минут, состояло из медной сетки и интерметаллидов Cu-Sn, и недиффундированное олово уже не наблюдалось. Благодаря пористой меди и медному порошку в пасте доля Cu в паяном

соединении была высокой, что стимулировало быстрое формирование интерметаллидов. По мере увеличения времени термокомпрессии реакция формирования соединений Cu-Sn продолжалась. По истечении 10 и 20 минут доля Cu_6Sn_5 в соединении уменьшилась, тогда как доля более прочного Cu_3Sn увеличилась. Соединение, сформированное в течение 40 минут термокомпрессионной обработки, в основном состояло из медной сетки и Cu_3Sn с небольшим количеством оставшегося Cu_6Sn_5 .

В случае более традиционной процедуры диффузионной пайки со структурой Cu/Sn/Cu (РИС 5) реакция формирования интерметаллических соединений происходила только на границе раздела между подложкой и префор-





7

Поверхности излома соединений с разным временем термокомпрессии:

- а. 5 минут, нижняя сторона;
- б. 5 минут, верхняя сторона;
- с. 10 минут, нижняя сторона;
- д. 10 минут, верхняя сторона;
- е. 20 минут, нижняя сторона;
- ф. 20 минут, верхняя сторона;
- г. 40 минут, нижняя сторона;
- и. 40 минут, верхняя сторона

мой, поскольку атомы Cu проникают в соединение только с внешних поверхностей. Кроме того, поскольку интерметаллиды формируются на границе раздела, скорость диффузии между атомами постепенно уменьшается; поэтому требуется существенное количество времени (в зависимости от толщины преформы) для преобразования всего соединения в интерметаллическое. Однако в случае структуры паяного соединения, описанного выше, существует больше пространства, больше эффективной площади взаимодействия для формирования Cu-Sn соединений, что существенно ускоряет процесс образования сплошного контакта.

При всех вариантах времени монтажа интерметаллиды Cu-Sn равномерно распределялись по всему объему соединения. На ранних стадиях реакции доля Cu_6Sn_5 относительно высока. Однако по мере увеличения времени диффузии доля Cu_6Sn_5 уменьшается, а доля Cu_3Sn увеличивается. Кроме того, избыточный в данном случае

порошок Cu в составе пасты равномерно распределяется по объему.

После процесса монтажа исследователями был проведен механический тест на сдвиг для оценки прочности соединений. По мере увеличения времени обработки паяного соединения не было заметной разницы в прочности на сдвиг (>30 МПа). Однако на этапе примерно 40 минут, по мере продолжения реакции внутри соединения, Cu_6Sn_5 был почти полностью преобразован в интерметаллид Cu_3Sn , что несколько увеличило прочность на сдвиг до 40 МПа.

На РИС 7 показаны поверхности излома соединений с разным временем монтажа. На РИС 7 (а), (с), (е) и (г) показаны нижняя поверхность излома, а на РИС 7 (б), (д), (ф) и (и) – верхняя сторона. Сравнивая верхние и нижние стороны поверхности излома, можно заметить, что большинство трещин распространялись вблизи границы раздела. Не было значительной разницы в структуре поверхности излома,

соответствующей результатам прочности на сдвиг; однако доля излома на границе раздела имела тенденцию к небольшому уменьшению по мере увеличения времени термокомпрессионной обработки.

Заключение

В представленном исследовании преформа пористой меди и паста Cu-Sn были использованы для сокращения времени процесса диффузионной пайки и улучшения надежности соединения. Количество зон формирования интерметаллидов при использовании данного метода становится значительно выше, что положительно влияет на скорость диффузии. По мере увеличения времени термокомпрессионной обработки доля Cu_3Sn в соединении увеличивалась, тогда как доля Cu_6Sn_5 уменьшалась. После термокомпрессии в течение 40 минут соединение в основном состоит из слоя пористой меди и интерметаллида Cu_3Sn .

С использованием описанного метода было сформировано паяное соединение с высокой температурной надежностью и хорошими механическими свойствами. Данный метод по мере его развития и оптимизации может стать одним из основных при корпусировании силовых электронных компонентов и иных изделий, предъявляющих высокие требования к механической и температурной выносливости.

Использованные материалы

1. S. Brown, D. Pyke, P. Steenhof. Electric vehicles: the role and importance of standards in an emerging market Energy Pol, 38 (7) (2010), pp. 3797–3806, 10.1016/j.enpol.2010.02.059
2. M. Agrawal, M.S. Rajapatel. Global perspective on electric vehicle. Int J Eng Res Technol, 9 (1) (2020), pp. 8–11, 10.17577/IJERTV9IS010005. 2020
3. C. Xue, H. Zhou, Q. Wu, X. Wu, X. Xu. Impact of incentive policies and other socio-economic factors on electric vehicle market share: a panel data analysis from the 20 countries. Sustainability, 13 (5) (2021), p. 2928, 10.3390/su13052928
4. R. Sekar, D.S. Suresh, H. Naganagouda. A review on power electronic converters suitable for renewable energy sources. International conference on electrical, electronics, communication, computer, and optimization techniques (ICEECCOT), IEEE (2017), pp. 501–506, 10.1109/ICEECCOT.2017.8284556
5. N. Baker, M. Liserre, L. Dupont, Y. Avenas. Improved reliability of power modules: a review of online junction temperature measurement methods. IEEE Ind Electron Mag, 8 (3) (2014), pp. 17–27, 10.1109/MIE.2014.2312427
6. C. Chen, F. Luo, Y. Kang. A review of SiC power module packaging: layout, material system and integration. CPSS Trans Power Electron Appl, 2 (3) (2017), pp. 170–186, 10.24295/CPSSTPEA.2017.00017
7. R.T. Yadlapalli, A. Kotapati, R. Kandipati, S.R. Balusu, C.S. Koritala. Advancements in energy efficient GaN power devices and power modules for electric vehicle applications: a review. Int J Energy Res, 45 (9) (2021), pp. 12638–12664, 10.1002/er.6683
8. L. Zhang, P. Liu, S. Guo, A.Q. Huang. Comparative study of temperature sensitive electrical parameters (TSEP) of Si, SiC and GaN power devices. 4th workshop on wide bandgap power devices and applications (WiPDA), IEEE (2016), pp. 302–307, 10.1109/WiPDA.2016.7799957
9. M. Ghessemi. Geometrical techniques for electric field control in (Ultra) wide bandgap power electronics modules. IEEE electrical insulation conference (EIC) (2018), pp. 589–592, 10.1109/EIC.2018.8481085
10. T. Bieniek, G. Janczyk, A. Sitnik, A.A. Messina. The first and European sic eighth inches pilot line reaction project as a driver for key European sic technologies focused on power electronics development. TechConnect Briefs (2019), pp. 256–259
11. E. Möller, A.A. Bajwa, E. Rastjagaev, J. Wilde. Comparison of new die-attachment technologies for power electronic assemblies. 64th electronic components and technology conference (ECTC), IEEE (2014), pp. 1707–1713, 10.1109/ECTC.2014.6897527
12. B.S. Lee, C.W. Lee, J.W. Yoon. Comparative study of Au–Sn and Sn–Ag–Cu as die-attach materials for power electronics applications. Surf Interface Anal, 48 (7) (2016), pp. 493–497, 10.1002/sia.5998
13. Y. Zhao, Y. Wu, K. Evans, J. Swingler, S. Jones, X. Dai. Evaluation of Ag sintering die attach for high temperature power module applications. 15th international conference on electronic packaging technology (2014), pp. 200–204, 10.1109/ICEPT.2014.6922636
14. N. Saud, R.M. Said. Transient liquid phase bonding for solder—a short review. IOP Conf Ser Mater Sci Eng, 701 (1) (2019), 10.1088/1757-899X/701/1/012050. 012050
15. D.H. Jung, A. Sharma, M. Mayer, J.P. Jung. A review on recent advances in transient liquid phase (TLP) bonding for thermoelectric power module. Rev Adv Mater Sci, 53 (2) (2018), pp. 147–160, 10.1515/rams-2018-0011
16. W. Liu, N.C. Lee, P. Bachorik. An innovative composite solder preform for TLP bonding—microstructure and properties of die attach joints. 15th electronics packaging technology conference (EPTC 2013), IEEE (2013), pp. 635–640, 10.1109/EPTC.2013.6745797
17. B. Grummel, H.A. Mustain, Z.J. Shen, A.R. Hefner. Reliability study of Au-In transient liquid phase bonding for SiC power semiconductor packaging. 23rd international symposium on power semiconductor devices and ICs, IEEE (2011), pp. 260–263, 10.1109/ISPSD.2011.5890840
18. B.S. Lee, J.W. Yoon. Cu-Sn intermetallic compound joints for high-temperature power electronics applications. J Electron Mater, 47 (1) (2018), pp. 430–435, 10.1007/s11664-017-5792-2
19. H. Pan, J. Huang, H. Ji, M. Li. Enhancing the solid/liquid interfacial metallurgical reaction of Sn+Cu composite solder by ultrasonic-assisted chip attachment. J Alloys Compd, 784 (2019), pp. 603–610, 10.1016/j.jallcom.2019.01.090
20. Min-Haeng Heo, Young-Jin Seo, Jeong-Won Yoon. Transient liquid phase bonding using Cu foam and Cu–Sn paste for high-temperature applications, Journal of Materials Research and Technology, Volume 27, 2023, Pages 2856–2867, ISSN 2238-7854, (<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.10.184>)

Технология рядовой намотки медной проволоки: принципы, преимущества и применение

Текст: Антон Кузнецов

Введение

В век высоких технологий и активного развития искусственного интеллекта обычная медная проволока продолжает широко использоваться в различных отраслях промышленности, включая электротехнику, автомобилестроение, строительство и телекоммуникации. Для её эффективного использования необходимо применять специальные методы намотки, среди которых одним из наиболее популярных является рядовая намотка. В статье мы рассмотрим основные принципы, преимущества и области применения этой технологии, а также познакомимся с компанией JINHUYI, которая разрабатывает специализированные станки для работы с проволокой в соответствии с требованиями к изделию и технологии производства изделия индивидуально для каждого клиента.

Принципы рядовой намотки

Рядовая намотка медной проволоки – это укладка витков проволоки параллельно друг другу без перекрытий. Каждый следующий виток располагается рядом с предыдущим, формируя ровный слой. Такой подход обеспечивает равномерное распределение нагрузки на материал и предотвращает образование напряжений внутри обмотки.

Основные этапы рядовой намотки

- Подготовка материала. Проволока очищается от загрязнений для улучшения скольжения и предотвращения повреждений.
- Намотка. Проволока аккуратно укладывается на поверхность катушки или сердечник с помощью специального оборудования. Витки располагаются



плотно друг к другу, чтобы обеспечить максимальное использование пространства.

- Контроль натяжения. Во время намотки необходимо контролировать натяжение проволоки, чтобы избежать провисания или чрезмерного напряжения, которое, в свою очередь, может привести к повреждению материала.
- Закрепление выводов. После завершения намотки выводы проволоки закрепляются, чтобы предотвратить разматывание.

Преимущества рядовой намотки

Рядовая намотка медной проволоки имеет ряд преимуществ, которые делают эту технологию предпочтительной в случаях, когда необходимы:

- Равномерное распределение нагрузки. Благодаря параллельному расположению витков нагрузка распределяется равномерно по всей длине обмотки, тем самым снижая риск перегрева и повреждения материала.
- Минимизация напряжений. Отсутствие перекрытий между витками исключает возникновение внутренних напряжений, что увеличивает срок службы обмотки.
- Простота контроля качества. Рядовая намотка позволяет легко визуально оценить качество укладки материала и выявить возможные дефекты.
- Высокая производительность. Автоматизированные машины-намотчики обеспечивают высокую скорость и точность процесса, что значительно повышает производительность.
- Универсальность. Технология подходит для работы с медной проволокой различного диаметра от 0,025 до 2,5 мм, круглой и плоской формы, а также с другими металлами и сплавами (рис. 1).

Области применения

Сегодня метод рядовой намотки медной проволоки находит широкое применение в самых разных сферах промышленности. Вот несколько примеров использования:

- Электротехника и энергетика. В электротехнических устройствах, таких как трансформаторы, электродвигатели и генераторы, рядовая намотка помогает создавать компактные и надёжные

обмотки, способные выдерживать значительные электрические нагрузки благодаря своей структуре.

- Авиакосмическая промышленность. В авиации и космонавтике рядовую намотку применяют для создания высокоточных датчиков, антенн и других компонентов, где требуется высокая точность и надежность работы.
- Автомобильная промышленность. В автомобилестроении этот метод используют для создания обмоток двигателей, генераторов и прочих электронных компонентов, что повышает их эффективность и долговечность.

Оборудование компании JINHUYI для рядовой намотки медной проволоки и статоров электродвигателей

Сегодня на российских производствах осуществляются масштабные программы модернизации. Поэтому отечественные промышленные предприятия проявляют активный интерес к современному и надежному оборудованию для обеспечения высокого уровня автоматизации и качества производимой продукции.

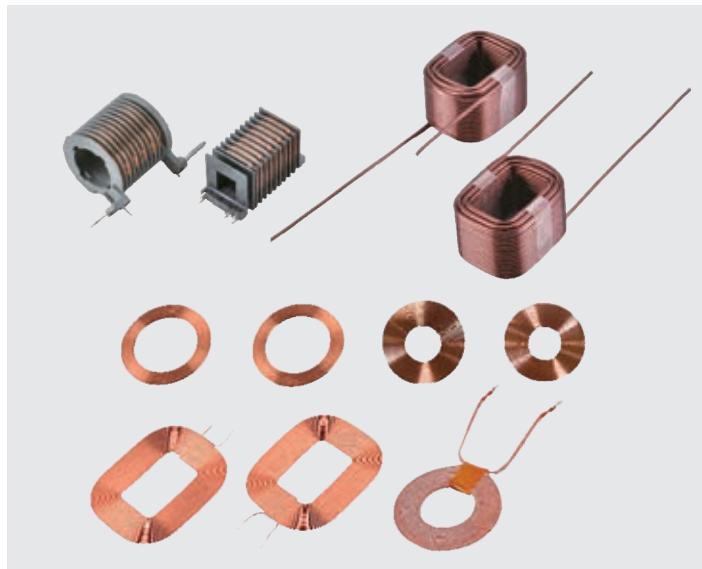
Китайская компания JINHUYI – один из ведущих производителей оборудования для намотки медной проволоки и статоров электродвигателей. Оборудование компании позволяет настраивать различные параметры – шаг намотки, количество витков, натяжение проволоки и многое другое – что дает возможность адаптировать машины под конкретные задачи и требования заказчика. Благодаря современным системам управления можно оснастить любой станок роботом-манипулятором и системой визуального контроля, позволяя добиться высокой точности намотки и стабильного качества продукции. Это особенно важно при производстве электродвигателей, где малейшие отклонения могут повлиять на работу двигателя. Использование высококачественных комплектующих и современных технологий производства обеспечивает длительный срок службы оборудования даже в условиях интенсивной эксплуатации, а конструкция предусматривает легкий доступ к основным узлам и агрегатам. Таким образом упрощается проведение технического обслуживания и ремонта, а значит сокращается время простоев и увеличивается общая производительность. Кроме того, современные

JINHUYI уже в течение 13 лет изготавливает и поставляет современное оборудование для намотки медной проволоки и статоров электродвигателей. Оборудованием компании оснащены многие крупные производства как в Китае, так и в Европе (РИС 2).



2

Один из участков финишной сборки



3

Каркасные и бескаркасные катушки

модели оборудования JINHUYI разработаны с учетом требований энергосбережения. Они потребляют меньше электроэнергии по сравнению с аналогичными моделями конкурентов, что снижает эксплуатационные расходы.

Рассмотрим подробнее некоторые виды оборудования компании JINHUYI для рядовой намотки.

1. Автоматические одношпиндельные намоточные машины для намотки каркасных и бескаркасных катушек

Оборудование предназначено для автоматической намотки медной проволоки на различные типы сердечников, а также каркасные и бескаркасные катушки (РИС 3). Машины оснащены модулем лазерной зачистки, устройством нанесения электроизоляционной ленты для обеспечения межслойной изоляции, а также устройством надевания изоляционной трубки на выводы (РИС 4).

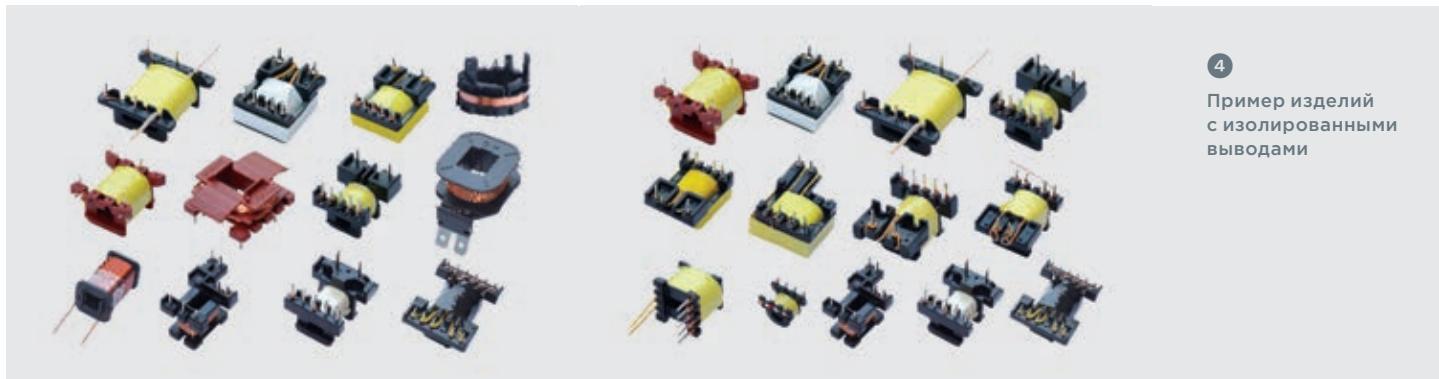
Оборудование отличается высокой точностью и скоро-

стью работы, что позволяет минимизировать человеческий фактор и повысить производительность.

Рассмотрим подробнее машины данного типа на примере модели CWMSS-03 (РИС 5). Установка оснащена одним шпинделем с точностью раскладки провода 0,01 мм, устройством подачи трубы для изоляции выводов, устройством для нанесения электроизоляционной ленты. Высокую производительность обеспечивает скорость намотки, которая составляет 6 000 оборотов в минуту. Подробные характеристики приведены в Т 1.

2. Автоматические многошпиндельные намоточные машины для намотки каркасных и бескаркасных катушек

Это оборудование предназначено для автоматической намотки медной проволоки на различные типы



4

Пример изделий с изолированными выводами

Т 1

БАЗОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

МОДЕЛЬ	CWMSS-03
1 Габариты (Д × Ш × В)*	1500 × 1700 × 1700 мм
2 Вес*	480 кг
3 Электропитание	1 × 220 В /50-60Гц
4 Номинальная мощность	4,5 кВт
5 Давление сжатого воздуха	0,65 МПа
6 Загрузка каркасов	Вручную
7 Выгрузка катушек	Автоматическая
8 Диаметр намотки*	5-70 мм
9 Диаметр провода*	0,16-0,355 мм
10 Ширина изоленты*	5-16 мм
11 Кол-во шпинделей	1
12 Направление вращения шпинделя	По/Против часовой стрелки
13 Скорость вращения шпинделя*	До 6000 об/мин
14 Диапазон перемещения шпинделя по осям	X:200 Y:250 Z:150
15 Точность остановки шпинделя	± 1°
Точность позиционирования подвижных механизмов	± 0,01 мм
16 Процесс намотки	Полностью автоматический

* Реальные технические характеристики намоточной машины будут соответствовать изготавливаемым изделиям с указанной производительностью



5

Одношпиндельная намоточная машина



6

Многошпиндельная намоточная машина





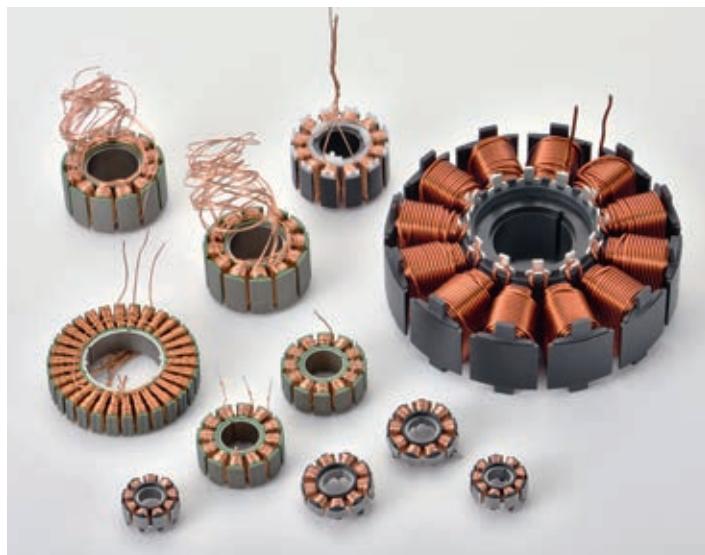
7

Станок для намотки статоров электродвигателей



сердечников, а также каркасные и бескаркасные катушки (рис 6). Опционально данные машины можно оснастить устройством подачи трубки для изоляции выводов, а также устройством для нанесения электроизоляционной ленты (рис 4). Оборудование отличается высокой точностью и скоростью работы с возможностью установки до 48 шпинделей, что позволяет минимизировать человеческий фактор и повысить производительность.

Рассмотрим подробнее машины данного типа на примере модели WM12-45. Установка оснащена двенадцатью шпинделями для одновременной намотки шести катушек проволокой размером от 0,02 до 0,75 мм с точностью раскладки провода 0,01 мм. Высокую производительность обеспечивает скорость намотки, которая составляет порядка 10 000 оборотов в минуту. Подробные характеристики приведены в табл. 2.



8

Пример готовых изделий

Т 2

Подробные характеристики модели WM12-45

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Количество шпинделей	12 шт.
Размещение каркасов на шпинделе	В ручном /автоматическом режиме
Выгрузка намотанных изделий	В ручном /автоматическом режиме
Расстояние между шпинделями	45 мм
Диапазон диаметров провода	0,02–0,75 мм
Максимальная скорость вращения шпинделя	10 000 об/мин
Диапазон перемещения направляющих провода по осям	X: 0–200 мм Y: 0–200 мм Z: 0–400 мм
Точность раскладки провода	0,01 мм
Панель управления	Сенсорный экран, английский/русский
Кол-во программ в памяти контроллера	100
Электропитание	1 × 220 В; 50/60 Гц
Давление сжатого воздуха	0,45–0,55 МПа
Мощность	4,5 кВт
Вес станка	700 кг
Габариты (Ш × Д × В)	1100 × 1300 × 1700 мм
Основные компоненты	
Пневматические клапаны	SMC, Япония
Электромагнитные клапаны	SMC, Япония
Резьбовые направляющие	TNK, Япония
Шариковые направляющие	TNK, Япония
Электромоторы	Panasonic, Япония
Оси и подшипники	SKF, Швеция



9

Автоматическая линия для производства электродвигателей

3. Станки для намотки статоров электродвигателей

Для обеспечения качественной намотки обмоток статоров электродвигателей требуется сложное и надежное оборудование. Оборудование компании JINHUYI, разработанное специально для этой задачи, соответствует всем современным требованиям моточного производства. Оно оснащено системами автоматического позиционирования и контроля натяжения проволоки, что гарантирует равномерность и плотность намотки. Основными преимуществами станка являются высокая точность и производительность, продуманная эргономика, короткое время переналадки (рис. 7, 8).

4. Автоматические линии для производства полностью готового изделия

Линия (рис. 9) включает цепочку модулей, позволяющих выполнять весь цикл работ, таких как:

- рядовая намотка;
- нанесение изоляционного слоя;
- нарезка, формовка и установка контактов в катушку;
- бандаж выводов обмотки и приваривание их к контактам;
- лазерная маркировка;
- механическая или лазерная очистка изоляционного слоя проволоки;
- лужение контактов обмотки;
- визуальный контроль с помощью специализированных видеокамер;
- тестирование и проверка готового изделия;
- установка готового изделия в лотки для сбора.

Такие комплексы значительно ускоряют процесс производства и повышают его эффективность.

Современные реалии ведения бизнеса побуждают к развитию технологий и поискам новых надежных партнеров. Благодаря своей простоте, универсальности и эффективности технология рядовой намотки медной проволоки играет ключевую роль в современной индустрии, позволяя обеспечить высокую степень автоматизации и качество выпускаемой продукции. Компания JINHUYI, эксклюзивным представителем которой на территории РФ является ООО «Остек-ЭТК», отвечает всем актуальным требованиям производств и обеспечивает высокую точность, надежность и широкие возможности настройки. Это делает оборудование компании отличным выбором для предприятий, стремящихся к достижению высоких стандартов качества и увеличению объемов производства. ▾

КАЧЕСТВО

Почему «кадры решают все»?

Текст: Андрей Насонов

«Кадры решают все». Может показаться, что эта фраза, давно ставшая общепринятой, проста и абсолютно понятна. Но так ли это? Достаточно ли только принятия этой прописной истины? Или не так все просто?

В нашей стране после 1991 года, когда мы решили, что у нас теперь капитализм и рыночная экономика, в соответствии с ее законами появился как бы рынок труда. Казалось бы, что может быть понятней и лучше для развития, чем рынок. Только вот почему-то абсолютно из всех сфер реальной экономики слышен стон о критической нехватке кадров. Такая ситуация по законам рынка привела к быстрому росту заработных плат, вот только специалистов это не добавило. И дело тут явно не только в причинах демографического характера. Да, нас мало для тех темпов развития, которые сейчас имеют место в экономике. Но более всего ощущается структурная нехватка кадров. Острее всего стоит проблема нехватки именно высококвалифицированных сотрудников.

Но более всего ощущается структурная нехватка кадров. Острее всего стоит проблема нехватки именно высококвалифицированных сотрудников

Чтобы разобраться в проблеме давайте посмотрим, когда и в каком контексте прозвучала эта фраза впервые. Это произошло 4 мая 1935 года в выступлении И.В. Сталина перед выпускниками военных академий. И полностью фраза звучала так: «Вот почему старый

лозунг “техника решает все”, являющийся отражением уже пройденного периода, когда у нас был голод в области техники, должен быть теперь заменен новым лозунгом, лозунгом о том, что “кадры решают все”».

Получается, не прошло и ста лет, и мы имеем похожую ситуацию. За последние годы наши предприятия получили современное оборудование и современные технологии, а специалистов катастрофически не хватает. Почему вопрос технического оснащения решается относительно быстро, а проблема кадров оказывается более сложной и требует большего времени? Дело в том, что вопрос технического оснащения – это вопрос инвестиций. Оборудование и технологии можно просто купить. И это быстро.

Смотрим далее: «Техника без людей, овладевших техникой, мертвa. Техника во главе с людьми, овладевшими техникой, может и должна дать чудеса». Очевидно так. Можно сказать, в чем проблема? У нас же имеется рынок труда. И раз на рынке появился спрос, то необходимо осуществить инвестиции, и мы получим желаемое. В теории это верно, конечно. И в сложившейся ситуации, безусловно, необходимы максимальные вложения в подготовку кадров. Только вот рассчитывать на быстрый результат не стоит. И даже не только потому, что, простите за выражение, технологический цикл изготовления квалифицированного специалиста никак не менее 20 лет. Не только потому, что сначала надо создать технологическую линейку по производству специалистов, а это – системы дошкольного, школьного и высшего образования, и там свои проблемы, в том числе и с наличием кадров уже для этих систем.

Специалисты – это, прежде всего, люди. И тут механизмы управления с помощью денег не всегда работают. С помощью манипуляций с увеличением заработной платы можно быстро решить вопрос с наличием специалистов, где не требуются глубокие знания и длительная подготовка. Со специалистами-разработ-



Более десяти приборов аттестованы как средства измерения



чиками, например, конструкторами, схемотехниками, технологами сложнее. Высокий уровень квалификации возможен, только если человек начинает заниматься техникой еще в подростковом возрасте. А это может быть, если он находится в среде, где, во-первых, данный профессиональный выбор престижен и, главное, рядом есть люди, которые его могут «зажечь». Согласитесь, это очень долгосрочные инвестиции и весьма многоплановые.

В последнее время добавился еще один фактор, который в обозримой перспективе приведет к кардинальным изменениям в экономике. Те процессы, которые сейчас происходят в мире, имеют все признаки того, что, вследствие критического накопления изменений в способе производства и производственных отношениях, сложились предпосылки для изменения экономической формации. Какая это будет формация и как это будет работать – мы не знаем и оставим этот вопрос для специалистов в области политической экономии.

Раз уж нам в очередной раз «повезло» жить в эпоху перемен, приходится думать, что с этим делать. Во многом ситуацию спасает то, что работает система государственной поддержки в виде субсидий и грантов. Иначе свести концы с концами будет трудно, учитывая, что цикл от НИИОКР до реализации готовой продукции не может быть коротким, особенно когда создаются по-настоящему наукоемкие изделия и не в плане импортозамещения (реинжиниринга), а действительно не имеющие прототипов средства измерения.

Компания Остек-Электро уже много лет занимается разработкой и производством оборудования для электрического тестирования. Все эти годы наблюдается планомерное развитие компании – как качественное, так и количественное. Постоянно растет численность персонала. Мы, как никто другой, видим, что рынка труда нет как такого. Ведь рынок без признаков конкуренции – это не рынок. И дело даже не в безудержном

росте зарплат. Основная проблема именно в отсутствии специалистов. Их настолько не хватает, что до рынка не доходят. В лучших традициях эпохи дефицита «только по знакомству».

Как же нашей компании удается успешно развиваться в ситуации, когда основной элемент производительных сил взять негде? Только создавать самим. Мы берем на работу молодых специалистов. Главный критерий подбора – это желание учиться и развиваться. Рассчитывать, что выпускники вузов в настоящее время

«Техника без людей, овладевших техникой, мертвa. Техника во главе с людьми, овладевшими техникой, может и должна дать чудеса»

будут иметь хорошую подготовку, по меньшей мере наивно. Это не их вина – это их беда. Прямой результат Болонской системы образования – практически полное отсутствие фундаментальной подготовки. Она, эта система, совсем не пригодна для подготовки разработчиков новой техники и технологий, а только инженеров-эксплуатационщиков. Для того и создавалась. В странах «цивилизованного мира» принято называть инженером любого монтёра-электрика. Самое неприятное, что из программ многих инженерных специальностей исключены такие базовые для любого инженера предметы, как, например, сопротивление материалов, теоретическая механика, материаловедение и многое другое. У выпускника по специальности информатика нет даже базовых знаний по электронике. А до этого они прошли через систему ЕГЭ, которая надежно исключила



Десятки приборов, от простых до сложных комплексов

хоть какую-то надежду на качественную подготовку в старших классах школы. Можно сказать, что сделали прививку от любой попытки креативного мышления, которое есть у человека от природы.

Мы берем на работу молодых специалистов. Главный критерий подбора – это желание учиться и развиваться

Основу для подготовки специалистов непосредственно на предприятии составляет наличие коллектива единомышленников, которым интересно то, что они делают. Принципиально новую технику вообще невозможно создавать за счет гениальных одиночек – это всегда труд коллектива. И от того, насколько коллектив слажен, и насколько хорошо налажены в нем коммуникации, полностью зависит успех. Создание среды, где можно получать удовольствие от работы, приво-

дит к резкому росту производительности труда, автоматически обеспечивает быстрое обучение. Быстрое развитие средств производства ведет к росту производительности труда за счет автоматизации многих рутинных процессов. Это позволяет осуществлять большое количество разработок силами совсем небольшого коллектива – многое было разработано, изготовлено и внедрено на предприятиях страны коллективом Остек-Электро за последние годы.

И что особенно важно – это не только технические и технологические решения для решения конкретных задач конкретных производств. За эти годы было разработано и освоено в серийном производстве значительное количество измерительных приборов, которые внесены в Государственный реестр средств измерений РФ.

Эти результаты получены благодаря тому, что мы соблюдаем следующие подходы: «Мы должны прежде всего научиться ценить людей, ценить кадры, ценить каждого работника, способного принести пользу нашему общему делу. Надо, наконец, понять, что из всех ценных капиталов, имеющихся в мире, самым ценным и самым решающим капиталом являются люди, кадры». □





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

Методология измерения SPICE-параметров полупроводниковых приборов для анализа по постоянному току с помощью Л2-156

Текст: Кирилл Степушин,
Светлана Кандеева

Одним из важных этапов разработки электронных устройств является моделирование поведения электрической схемы. Грамотно выстроенный процесс моделирования позволяет разработчикам значительно сократить время отладки определенных электрических узлов, упрощает внесение изменений в схему и дает наглядное представление о том, как работает то или иное решение. Одним из самых распространенных симуляторов электрических схем, безусловно, является SPICE. Правильность определения SPICE-параметров для соответствующей модели влияет на точность и достоверность результатов

моделирования. В статье дано описание SPICE-моделей и их параметров, рассмотрен процесс экстракции SPICE-параметров для диодов и биполярных транзисторов при помощи разрабатываемого ООО «Остек-Электро» харктериографа Л2-156В. Также в статье приведены результаты измерений вольт-амперных (ВАХ) и вольт-фарадных (ВФХ) исследуемых образцов ЭКБ, снятых с Л2-156, рассмотрен процесс создания SPICE-моделей для упомянутых полупроводниковых приборов, а также выполнено сравнение результатов моделирования ВАХ в программе Micro-Cap 12 с реальными графиками характеристик.

ВВЕДЕНИЕ

SPICE (англ. *Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*, программа моделирования с акцентом на интегральные схемы) – программное обеспечение для моделирования электронных схем для анализа и проектирования электрических цепей с учетом различных физических процессов и параметров компонентов.

SPICE был разработан в стенах «Electronics Research Laboratory» Калифорнийского университета в Беркли благодаря усилиям Лоуренса Нагеля и его научного руководителя профессора Дональда Педерсона [1]. Первая версия SPICE была представлена в 1973 году на научной конференции «IEEE International Symposium on Circuits and Systems» [2]. Она использовала метод узловых потенциалов для построения уравнений цепи.

SPICE стал отправной точкой для множества других симуляторов – как академических, так и коммерческих. Первая коммерческая версия, ISPICE, стала основой для последующих решений, таких как HSPICE и PSPICE. В академической среде появились XSPICE и Cider. Крупные производители микросхем Analog Devices, Linear Technology, Freescale Semiconductor и Texas Instruments также разработали свои версии SPICE для внутренних нужд и коммерческого использования.

В 2011 году значимость SPICE для индустрии была признана официально – программа вошла в список IEEE Milestone [4] как одно из ключевых достижений в области моделирования интегральных схем.

В основе SPICE-моделирования лежат SPICE-модели, содержащие коэффициенты математических уравнений, которые определяют поведение компонентов при анализе по постоянному и переменному току, а также с учетом температурных и временных зависимостей. Программы симуляции на основе SPICE содержат алгоритмы обработки этих уравнений, что позволяет проводить моделирование с высокой точностью и, самое главное, быстро. Среди наиболее популярных инструментов можно выделить LTspice, PSpice, Micro-Cap, IC-CAP и др.

Однако создание качественных SPICE-моделей возможно только с участием производителей самих компонентов, поскольку для описания требуется большое количество параметров, которые невозможно найти в стандартной документации на радиоэлектронные компоненты.

Как правило, пользователи не создают SPICE-модели с нуля. Они либо используют готовые модели, предоставляемые производителями компонентов, либо дорабатывают их на основе технической документации и экспериментальных измерений. Но для специализированных задач инженеры могут разрабатывать уникальные модели, основываясь на своих расчетах и лабораторных испытаниях. Именно по такому пути мы в компании Остек-Электро и решили

пойти. Используя харктериограф Л2-156, который является заменой советского прибора Л2-56, мы можем снимать ВАХ и ВФХ, определять параметры электронных компонентов и создавать достоверные SPICE-модели, обеспечивающие точное моделирование в сложных электрических схемах.

Описание SPICE-моделей

SPICE-модель диода

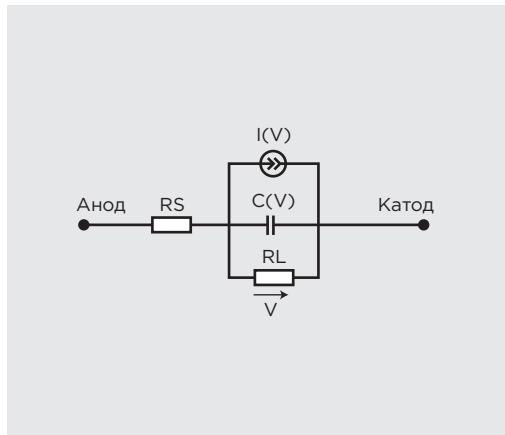
Рассмотрим основные параметры и уровни SPICE-моделей, особенности различных версий, а также физическую модель диода. В первую очередь мы подробно разберем модель SPICE2G, затем проведем сравнительный анализ с более современными моделями.

SPICE-модели диодов различаются по уровням, которые определяют сложность их математического описания и степень детализации физических процессов. Существуют различные версии SPICE, и производители электронных компонентов внедряли свои уровни моделей для более точного представления характеристик диодов.

SPICE2G широко применялась в ранних версиях SPICE и продолжает активно использоваться в современной практике, особенно в случаях, когда требуется быстрая и надежная симуляция без чрезмерных вычислительных затрат. Ее основное преимущество – простота и низкая вычислительная сложность, что делает ее удобной для быстрых симуляций. Однако ее упрощенный подход не учитывает некоторых физических явлений, таких как туннельный эффект и сложные механизмы рекомбинации, что ограничивает ее применение в современных высокоточных моделях.

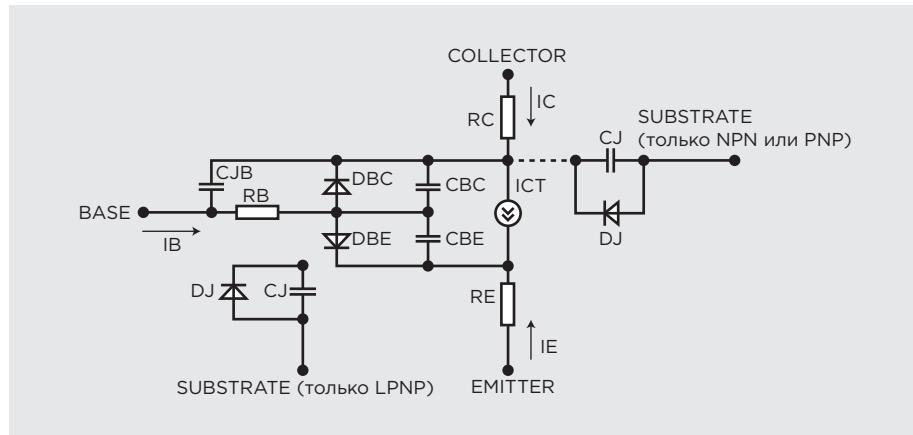
Тем не менее, уровень SPICE2G (Level 1), являющийся стандартной моделью p-n перехода, которая описывает полупроводниковый диод, обеспечивает следующие виды анализа:

- Анализ по постоянному току (DC Analysis): моделирует диод в статическом режиме.
- Малосигнальный анализ по переменному току (AC Small-Signal Analysis): позволяет определить реакцию диода на переменное напряжение в зависимости от частоты.
- Анализ переходных процессов (Transient Analysis): вычисляет реакцию схемы на временные изменения напряжения и тока, включая возможность выполнения спектрального анализа для частотного представления выходного сигнала.
- Анализ при различных температурах: SPICE2G учитывает температурные изменения характеристик диодов. Температурная зависимость включена в уравнения экспоненциального тока, насыщенного тока и коэффициента усиления. Это делает модель полезной для анализа поведения диодов в различных температурных условиях.



1

Физическая модель диода



2

Физическая модель биполярного транзистора

На РИС 1 представлена физическая модель диода, которая позволяет смоделировать поведение диода и состоит из следующих компонентов:

- RS – объемное сопротивление представляет собой внутреннее сопротивление материала диода и контактных соединений;
- I(V) – источник тока, зависящий от напряжения, моделирует нелинейное поведение диода согласно уравнению Шокли:

$$I_D = I_s \cdot \left(e^{\frac{V_D}{NR \cdot VT}} - 1 \right), \quad (1)$$

где:

I_D – ток диода;

I_s – ток насыщения;

V_D – напряжение диода;

NR – коэффициент эмиссии (неидеальности) для тока;

VT – тепловое напряжение (константа).

- C(V) – барьерная емкость перехода описывается зависимостью:

$$C = \frac{C_{JO}}{\left(1 + \frac{V_D}{V_J} \right)^M}$$

где:

C – барьерная емкость перехода;

CJO – барьерная емкость при нулевом смещении;

V_D – напряжение диода;

VJ – контактная разность потенциалов (пороговое напряжение);

M – коэффициент плавности р-п перехода.

- RL – сопротивление утечки перехода учитывает утечку тока в обратном направлении.

К основным параметрам SPICE-модели диода можно также отнести:

- IKF (пределный ток при высоком уровне инжеции) – параметр, определяющий границу перехода из линейного режима в режим высокой инжеции носителей.
- BV (обратное напряжение пробоя) – значение напряжения, при котором диод начинает проводить значительный ток в обратном направлении.
- IBV (начальный ток пробоя при BV) – минимальный ток, протекающий при напряжении пробоя.
- VJ (контактная разность потенциалов) – внутреннее напряжение р-п перехода, зависящее от типа материала и уровня легирования [5].

В настоящее время производители компонентов разработали более сложные модели для диодов. PSPICE (Level 2) – усовершенствованный вариант модели, который дополнительно учитывает паразитные сопротивления, а также более точные температурные зависимости [6].

JUNCAP (Level 4) и JUNCAP2 (Level 200) – модели, разработанные Philips, которые учитывают геометрическое масштабирование некоторых параметров, емкость перехода в режиме обеднения, токи генерации-рекомбинации Шокли-Рида-Холла как в прямом, так и в обратном режимах работы, ток туннелирования с участием ловушек и другие. Важно отметить, что JUNCAP изначально разрабатывалась для моделирования р-п переходов, используемых в составе MOSFET-структур. Это означает, что данная модель не является универсальной для всех диодов, а первую очередь ориентирована на учет взаимодействия диодов внутри МОП-транзисторов. Поэтому ее точность и параметры рассчитаны с учетом специфики полупроводниковых технологий, используемых в MOSFET.

По сравнению с SPICE2G более современные модели, PSPICE и JUNCAP, обеспечивают значительно более точное представление характеристик диода. Они позволяют моделировать широкий спектр физических процессов. Однако для базовых расчетов и схемотех-

нического анализа возможности современных моделей избыточны, и SPICE2G остается удобным, популярным и достаточным инструментом.

SPICE-модель биполярного транзистора

Теперь рассмотрим уровни моделей биполярных транзисторов в SPICE, их основные параметры и физические модели, а также проведем сравнительный анализ для выявления ключевых различий.

Одной из первых универсальных моделей биполярных транзисторов стала модель **Эберса-Молла**, предложенная в 1954 году. Она описывает работу транзистора во всех режимах: активном, насыщении, отсечки и основана на описании потоков носителей через p-n переходы. В этой модели транзистор представлен в виде двух диодов с управляемыми источниками тока, что дает простое и понятное описание работы прибора. Несмотря на свою фундаментальность, модель Эберса-Молла не учитывает многие важные физические эффекты.

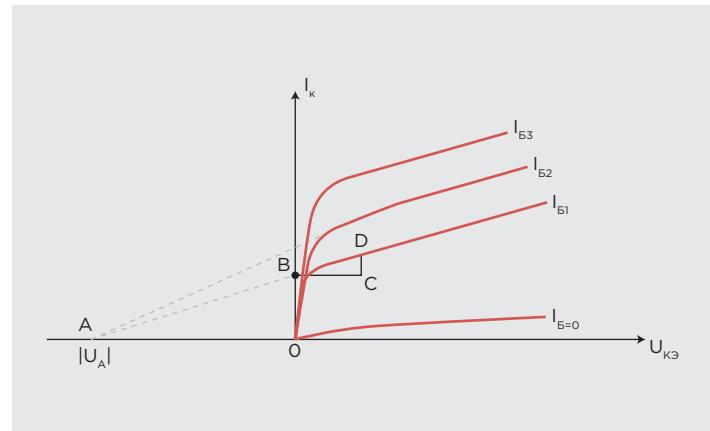
Для устранения недостатков модели Эберса-Молла была разработана усовершенствованная модель **Гуммеля-Пуна (Level 1)** [8], которая стала стандартом для схемотехнического моделирования в SPICE. Эта модель значительно расширяет возможности моделирования, учитывая дополнительные физические эффекты, важные для анализа современных транзисторов.

Ключевые особенности модели Гуммеля-Пуна:

- Учитывает эффект насыщения базы, который проявляется при высоких уровнях инжекции носителей, приводя к снижению коэффициента усиления транзистора.
- Вводится зависимость коэффициента усиления по току (β) от величины тока, что позволяет более точно моделировать поведение транзистора при различных режимах работы.
- Включает в себя параметры, описывающие паразитные сопротивления, а также емкости переходов база-эмиттер и база-коллектор, что повышает точность моделирования высокочастотных характеристик.
- Учитывается эффект Эрли, заключающийся в изменении ширины базы при изменении напряжения коллектор-база, что влияет на выходные характеристики транзистора.
- Учитываются самонагрев транзистора, эффект стягивания тока и изменение подвижности носителей, что делает модель более подходящей для моделирования интегральных схем и мощных транзисторов.

На РИС 2 представлена физическая модель биполярного транзистора в SPICE-симуляторе. Она состоит из следующих компонентов:

- RC, RE, RB – паразитные сопротивления коллектора, эмиттера и базы. Учитывают потери в полупроводниковой структуре транзистора.



3

Эффект Эрли

- CBC, CBE, CJX – паразитные емкости перехода база-эмиттер, база-коллектор, база-подложка (для транзисторов с отдельным выводом подложки). Определяют высокочастотные характеристики транзистора.
- ICT – источник тока, моделирующий экспоненциальную зависимость коллекторного тока от напряжения база-эмиттер, согласно уравнению (1), где вместо напряжения на диоде V_D напряжение на переходе база-эмиттер V_{BE} , а вместо тока диода I_D – ток коллектора I_C .
- DBC, DBE, DJ – диоды, моделирующие переходы база-коллектор, база-эмиттер, утечку в подложке (для NPN- и PNP-структур). Позволяют учитывать обратные токи, пробойные эффекты и паразитные процессы.
- CJ – емкость подложки, которая важна для моделирования транзисторов, встроенных в интегральные схемы.

Основными параметрами модели также являются:

- BF (максимальный коэффициент усиления тока в нормальном режиме) – характеризует отношение изменения тока коллектора I_C к изменению тока базы I_B в транзисторе при его нормальной (активной) работе, показывая эффективность усиления тока:

$$BF = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}, \quad (2)$$

где:

ΔI_C – изменение тока коллектора;

ΔI_B – изменение тока базы.

- VAF (напряжение Эрли в нормальном режиме) – отражает влияние изменения ширины базы на характеристики транзистора при изменении напряжения между коллектором и эмиттером и характеризуется таким параметром, как напряжение Эрли (РИС 3).



4

Внешний вид прибора Л2-156

- IKF (ток начала спада зависимости BF от тока коллектора в нормальном режиме) – характеризует точку, при которой начинается снижение коэффициента усиления (BF) с увеличением тока коллектора.
- ISE (ток насыщения утечки перехода база-эмиттер) – определяет ток, который протекает через переход база-эмиттер при отсутствии внешнего напряжения и важен для моделирования утечек в транзисторе.
- VJE, VJC, VJS (контактная разность потенциалов перехода база-эмиттер, база-коллектор, коллектор-подложка) – описывают встроенные потенциалы переходов в различных частях транзистора, что важно для точного моделирования

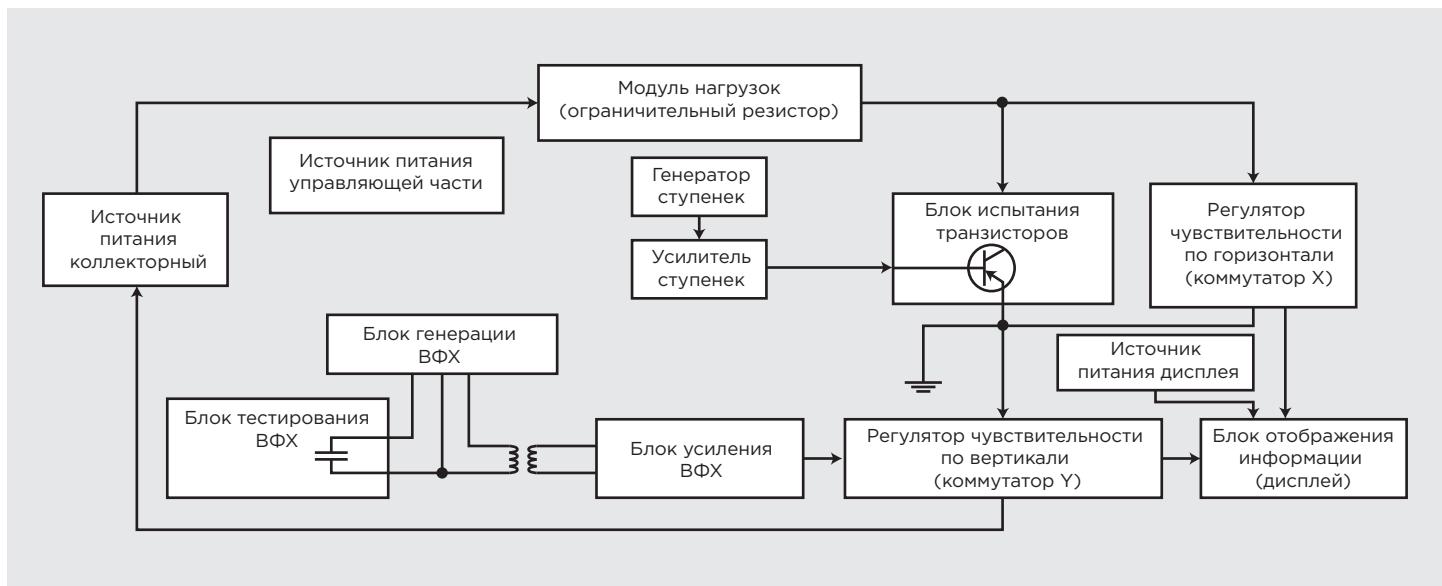
поведения прибора в зависимости от свойств материала полупроводника, а также температурных изменений и напряжений, приложенных к различным участкам транзистора.

Таким образом, модель Гуммеля-Пуна предоставляет более точное и полное описание работы биполярных транзисторов, чем модель Эберса-Мола, учитывая дополнительные физические эффекты.

Модель Philips Mextram (Level 2) – это продвинутая модель для описания вертикальной структуры биполярных транзисторов. Она учитывает множество физических эффектов, таких как:

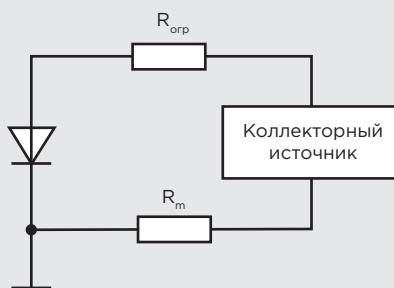
- насыщение скорости носителей, влияющее на поведение транзистора при высоких плотностях тока;
- расширение области базы, что учитывает влияние сильного электрического поля на толщину базы;
- эффект Кирка, влияющий на поведение транзистора при высоких уровнях инжекции;
- влияние ударной ионизации, которое может вызывать лавинное увеличение тока коллектора;
- эффект саморазогрева, моделирующий температурное воздействие при работе транзистора на высокой мощности [9].

Анализируя представленные уровни моделей, можно отметить, что модель Гуммеля-Пуна проста в реализации и эффективна для стандартных расчетов. Это делает ее предпочтительным выбором для описания транзисторов в типичных условиях. Однако в условиях высоких частот или при больших токах ее точность ограничена. В таких случаях модель Mextram предоставляет более глубокую проработку, подходящую для сложных и специфичных транзисторов, разработанных с использованием новых полупроводниковых технологий.



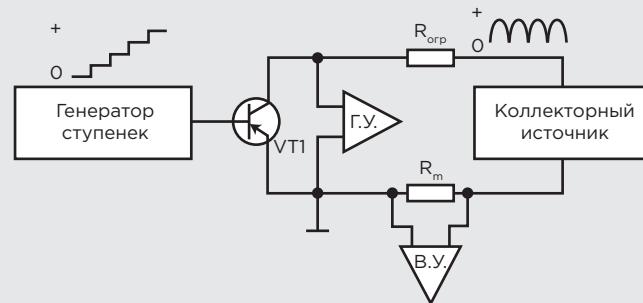
5

Структурная схема Л2-156



6

Схема измерения диода



7

Схема измерения биполярного транзистора

Измерения

Описание методики измерения

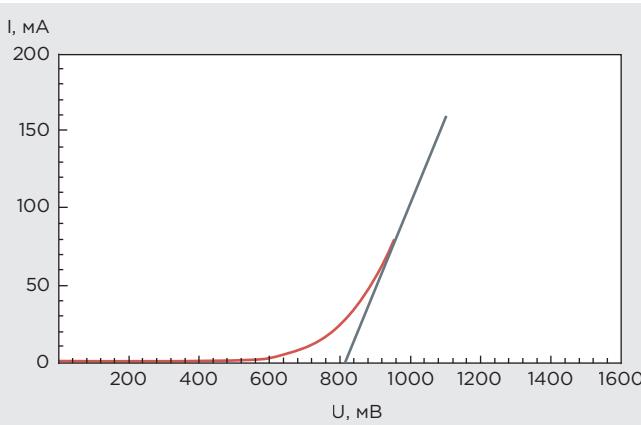
Прибор Л2-156 предназначен для визуального наблюдения статических ВАХ и ВФХ полупроводниковых приборов, измерения напряжения на их электродах и токов в их цепях, определения их низкочастотных параметров, может применяться для исследования и входного контроля в лабораторных и цеховых условиях. Внешний вид прибора изображен на РИС 4, а структурная схема представлена на РИС 5.

ВАХ диода является функцией тока, протекающего через диод в зависимости от приложенного к диоду напряжения. Для измерения характеристики диода необходимо включить его по схеме, показанной на РИС 6. На схеме $R_{огр}$ ограничивает ток, поступающий с коллекторного источника на исследуемый диод, а R_t – токочувствительный резистор. Источник питания коллекторной цепи предназначен для питания коллекторной (или аналогичной ей) цепи испытуемого транзистора пульсирующим или постоянным током обеих полярностей и питания диодов переменным током.

Для измерения ВАХ транзистора его необходимо подключить по схеме, показанной на РИС 7. Генератор ступенек служит для формирования ступенек тока с частотой следования 50, 100 и 200 ступ./с с изменением числа ступенек от 1 до 10 за период. Кроме обычных ступенек генератор выдает импульсные ступеньки с длительностью 80 или 300 мкс. Г.У. – горизонтальный усилитель, В.У. – вертикальный усилитель. Вертикальный и горизонтальный усилители индикации одинаковы с небольшими исключениями, имеют каждый по два дифференциальных входа и дифференциальный выход. Один дифференциальный вход имеет высокое входное сопротивление к переключателю чувствительности прибора. Другой – низкое входное сопротивление и подключен к токовым источникам установки положения нулевой точки.

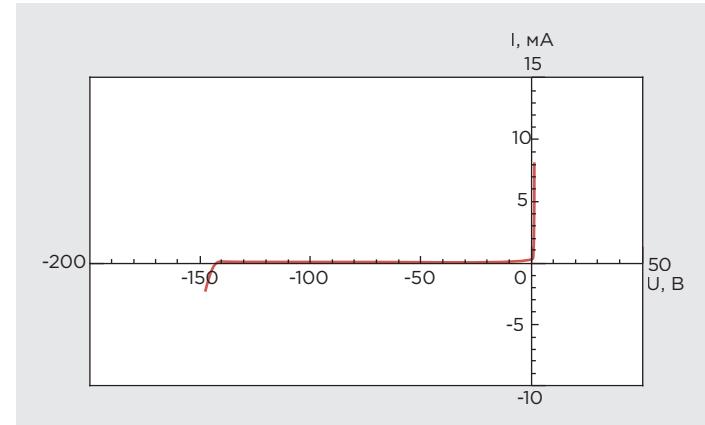
Снятие ВАХ и ВФХ

Начнем измерения со снятия ВАХ диода. В качестве испытуемого компонента был взят выпрямительный диод 1N4148. На РИС 8 изображена прямая ветвь ВАХ диода, а на РИС 9 – обратная ветвь. Вольт-фарадная характеристи-



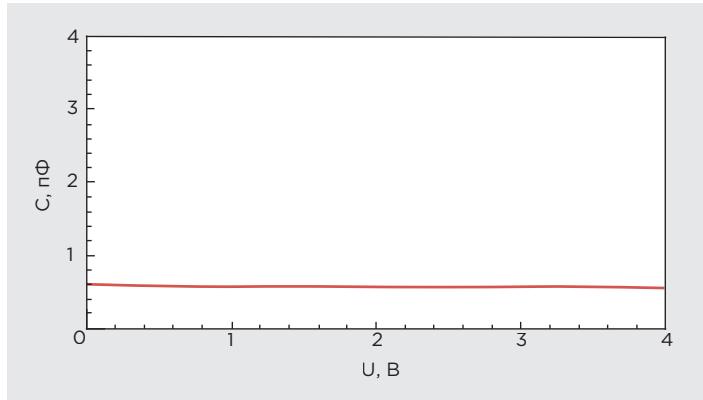
8

Измеренная прямая ветвь диода



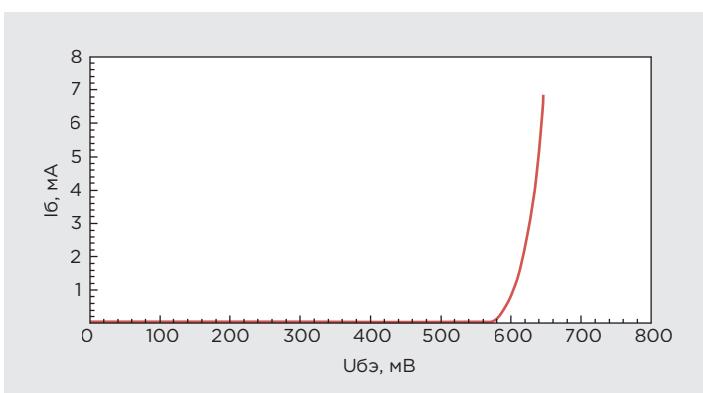
9

Измеренная обратная ветвь диода



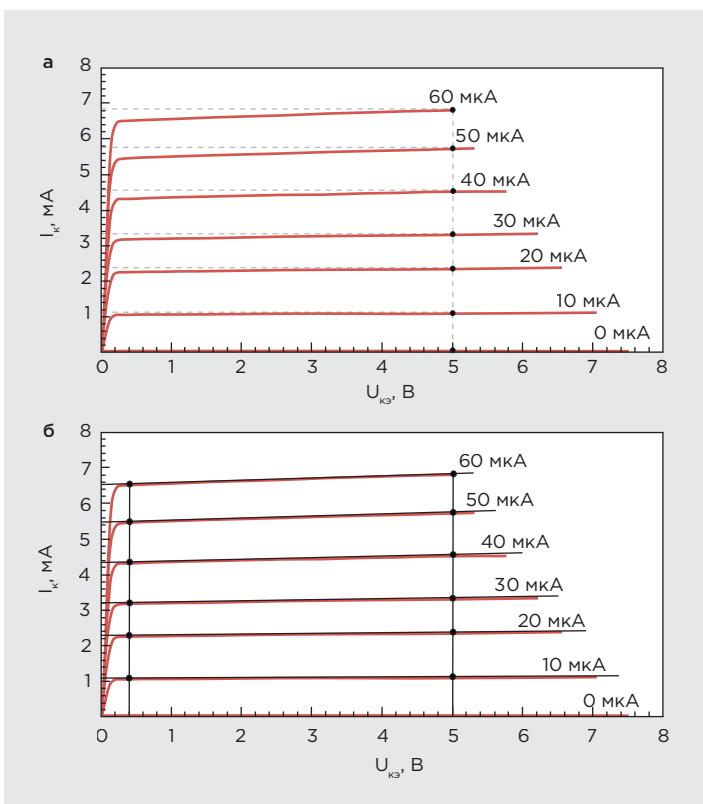
1 ⑩

ВФХ диода



1 ⑪

Передаточная ВАХ транзистора



1 ⑫

Выходная ВАХ транзистора

стике диода показана на РИС ⑩. Прямая ветвь позволяет оценить напряжение открытия диода, которое составляет примерно 840 мВ. На обратной ветви отчетливо видно значение лавинного пробоя, значение которого составляет -146,5 В. На ВФХ интересует емкость диода при нулевом смещении, которая равна 0,6 пФ.

Далее снимем ВАХ и ВФХ биполярного транзистора PHBD237. Передаточная ВАХ, которая является зависимостью тока коллектора I_C от напряжения база-эмиттер U_{BE} , изображена на РИС ⑪. На РИС ⑫ показана выходная ВАХ, которая является функцией тока коллектора I_C от напряжения U_{CE} с параметром I_B . На РИС ⑬–⑭ представлены ВФХ для эмиттерного и коллекторного перехода соответственно.

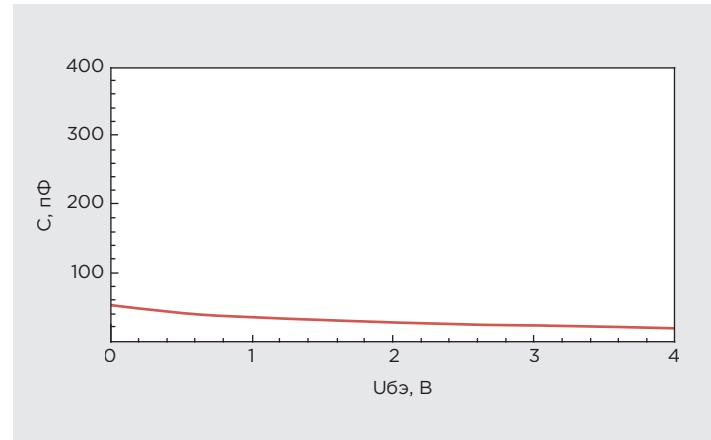
Экстракция параметров и моделирование

Моделирование диода

Моделирование всех полупроводниковых приборов будет проводиться в программном обеспечении Micro-Cap 12. Чтобы сделать SPICE-модель, сначала необходимо выполнить экстракцию параметров из измеренных ВАХ, затем промоделировать входные и выходные характеристики, сравнить их с экспериментально снятыми графиками и выполнить корректировку параметров SPICE-модели, измерение которых затруднено.

Начнем с диода 1N4148. Изучим полученные графики и отметим те точки, значения которых понадобятся для определения или расчета параметров модели. На РИС ⑧ проведена касательная в линейной части прямой ветви ВАХ диода, где ее пересечение с осью абсцисс является параметром V_J , равным 840 мВ. По РИС ⑨ можно определить значение BV , которое равно $|146,5|$ В по модулю. По ВФХ диода в точке с нулевой координатой по оси абсцисс можно определить параметр C_{JO} , равный 0,6 пФ. Процесс моделирования ВФХ диода в данной статье рассматриваться не будет.

В РИС ⑪ приведены коэффициенты, дополняющие SPICE-модель диода справочными значениями, кото-



1 ⑬

ВФХ эмиттерного перехода транзистора

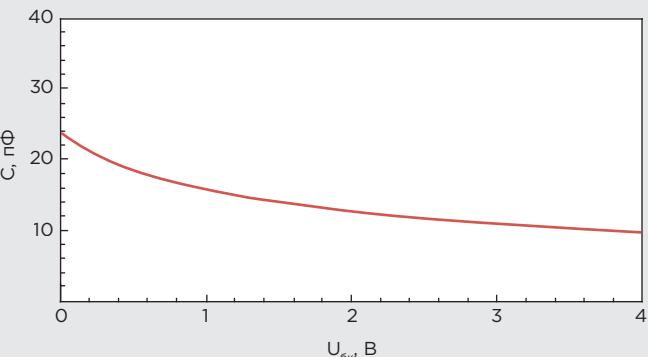
1

Константные параметры модели SPICE2G для диода

НАИМЕНОВАНИЕ	ПАРАМЕТР	СТАНДАРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ
Тепловое напряжение (при 300 К)	VT	$2,5875 \cdot 10^{-2}$ В
Коэффициент эмиссии для тока ISR	NR	0,2-1
Коэффициент неидеальности на участке пробоя	NBV	0,2-1 (1 – идеальный диод)
Коэффициент плавности р-п перехода	M	0,3-0,5
Коэффициент нелинейности барьерающей емкости прямосмещенного перехода	FC	0,5-0,8
Ширина запрещенной зоны	EG	Кремний: 1,12 эВ Германий: 0,66 эВ Арсенид галлия: 1,43 эВ

ые в основном зависят от типа полупроводника. Все эти параметры дадут нам хорошее начальное приближение BAX диода, что уменьшит время корректировки смоделированных характеристик.

В результате удалось создать SPICE-модель диода, приближенную к его реальным характеристикам. Сравнение смоделированной и экспериментальной вольт-амперной характеристики, снятой с Л2-156, подтверждает корректность выбранных параметров



4

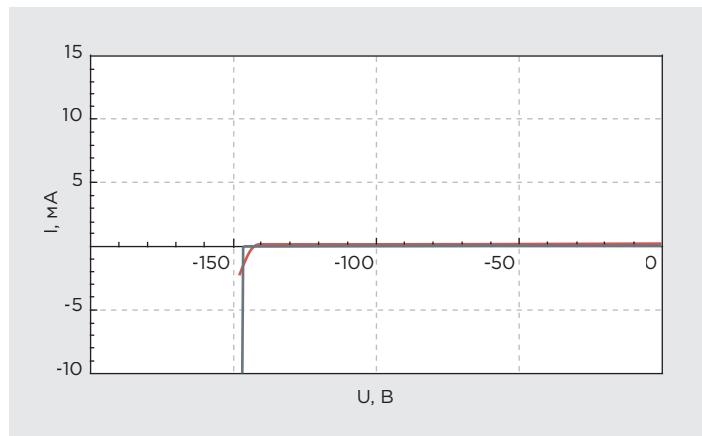
ВФХ коллекторного перехода транзистора

и точность модели. Графическое сопоставление результатов представлено на РИС 1.5 для прямой ветви и на РИС 1.6 для обратной ветви.

Моделирование транзистора

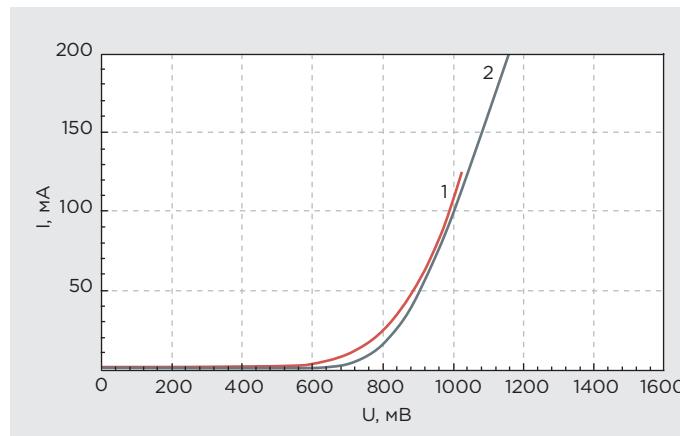
Приступим к созданию SPICE-модели биполярного транзистора PHBD237 на основе модели Гуммеля-Пуна. Анализируя выходную вольт-амперную характеристику, а также вольт-фарадные зависимости, проведем процесс экстракции параметров. Рассмотрим выходную ВАХ и выделим точки, значения которых необходимы для определения коэффициента усиления (РИС 1.2а) и напряжения Эрли (РИС 1.2б).

Ранее упоминалось, что BF, максимальный коэффициент усиления тока в нормальном режиме, определяется по формуле (2). Для расчета BF берем точки, расположенные на линейных участках графика ВАХ при фиксированном значении напряжения коллектор-эмиттер U_{CE} . Важно отметить, что для корректного расчета BF точки выбираются с соседних ступеней, то есть из двух последовательных уровней тока базы, но не с самых низких значений, так как на малых токах усиление может быть нестабильным, а расчеты неточными.



5

Сравнение смоделированной и измеренной обратных ветвей диода



6

Сравнение смоделированной и измеренной прямых ветвей диода

Т 2

Константные параметры модели Гуммеля-Пуна для биполярного транзистора

НАИМЕНОВАНИЕ	ПАРАМЕТР	СТАНДАРТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ
Тепловое напряжение (при 300 K)	VT	$2,5875 \cdot 10^{-2}$ В
Коэффициент эмиссии (неидеальности) для нормального режима	NF	1-1,5
Коэффициент эмиссии тока утечки эмиттерного перехода	NE	1-2
Коэффициент эмиссии тока утечки коллекторного перехода	NC	1-2
Коэффициент перегиба при больших токах	NK	0,5-2
Коэффициент, учитывающий плавность коллекторного, эмиттерного перехода	MJC MJE	0,2-0,5
Контактная разность потенциалов перехода база-коллектор, база-эмиттер	VJC VJE	Кремний: 0,6-0,7 В Германий: 0,2-0,3 В Арсенид галлия: 0,8-1,0 В
Ширина запрещенной зоны	EG	Кремний: 1,12 эВ Германий: 0,66 эВ Арсенид галлия: 1,43 эВ

Рассмотрим способ экстракции VAF, напряжения Эрли. Для этого используется метод построения касательной, которая проводится через две характеристические точки: начало одной из верхних ступеней и ее конец. Точка пересечения этой касательной с осью напряжения коллектор-эмиттер определяет значение $VAF = |109,6|$ В по модулю.

Получим значения параметров CJC (емкость коллекторного перехода при нулевом смещении) и CJE (емкость эмиттерного перехода при нулевом смеще-

нии) из вольт-фарадных характеристик. Исходя из графиков при 0 В значения $CJC = 24$ пФ, а $CJE = 52,5$ пФ.

Такие параметры, как IS (ток насыщения), ISE (ток насыщения утечки перехода база-эмиттер) и ISC (ток насыщения утечки перехода база-коллектор), аналогично диоду, имеют малые порядки. Из-за этого процесс определения их значений на практике невозможен, поэтому для согласования экспериментального и смоделированного графиков будет использоваться метод подбора.

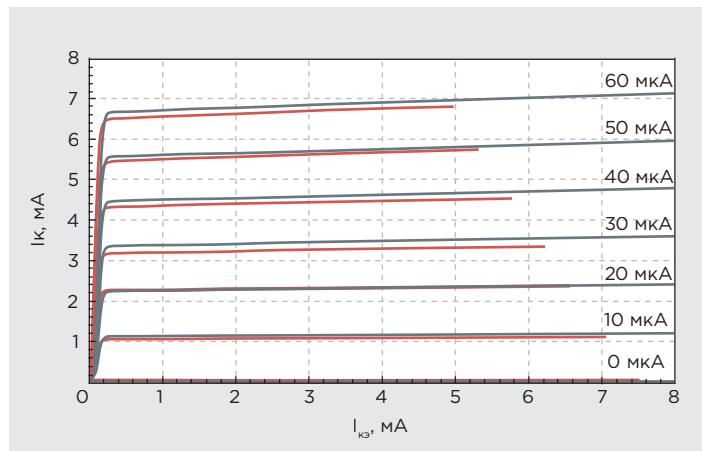
В Т 2 приведены коэффициенты, дополняющие SPICE-модель биполярного транзистора и обеспечивающие ее более точное описание.

Возьмем среднеквадратичное значение каждого из параметров и получим $BF = 113$ и $VAF = |109,6|$ В по модулю. Полученные результаты моделирования в сравнении с измеренными показаны на РИС 1 7 для выходной ВАХ и на РИС 1 8 для передаточной характеристики.

Проведенные расчеты и экстракция параметров обеспечили соответствие результатов моделирования с реальными характеристиками, что делает модель пригодной для дальнейшего использования в схемотехническом анализе.

Заключение

В ходе проведенного анализа были рассмотрены ключевые SPICE-модели диода и биполярного тран-



1 7

Сравнение смоделированных и измеренных выходных ВАХ транзистора

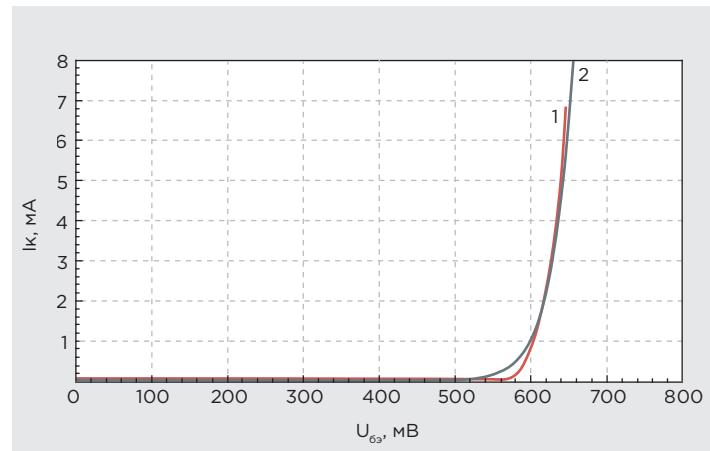
зистора. Используя передаточную, ВАХ и ВФХ, измеренные на приборе Л2-156 собственной разработки ООО «Остек-Электро», удалось успешно провести экстракцию основных параметров для разработки достоверных SPICE-моделей. Практические результаты моделирования в программном обеспечении Micro-Cap 12 показали высокое соответствие реальным характеристикам, что подтверждает корректность выбранных методик экстракции SPICE-параметров. Итоговые значения всех параметров для разработанных SPICE-моделей диода и транзистора показаны на РИС 19 и 20.

Представленные подходы и полученные результаты демонстрируют, что даже относительно простые уровни моделей, а именно SPICE2G для диодов и модель Гуммеля-Пуна для биполярных транзисторов, способны обеспечить достаточную точность для анализа работы полупроводниковых приборов по постоянному току (DC).

Однако недостатком данной методологии экстракции параметров является ручная работа по оцифровке характеристик полупроводниковых приборов, а также необходимость в определенном уровне квалификации сотрудника, который будет заниматься процессом экстракции. Для решения этих проблем в программном обеспечении Л2-156 планируется добавление функции автоматической экстракции SPICE-параметров на основе измеренных BAX испытуемых компонентов.

Использованная литература

1. Donald O. Pederson // IEEE Xplore URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/681968> (дата обращения: 07.02.2025).
 2. SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) // UC Berkeley Electrical Engineering & Computer Sciences URL: <https://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/1973/22871.html> (дата обращения: 07.02.2025).
 3. The modified nodal approach to network analysis // IEEE Xplore URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1084079> (дата обращения: 07.02.2025).
 4. Milestones: List of IEEE Milestones // ETHW URL: https://ethw.org/Milestones>List_of_IEEE_Milestones#Birth_of_the_SPICE_Circuit_Simulation_Program.2C_1971_Berkeley.2C_CA.2C_U.S.A..2C_Dedicated_20_February_2011--_IEEE_Santa_Clara_Section (дата обращения: 07.02.2025).
 5. JUNCAP2 // Cea URL: https://www.cea.fr/cea-tech/leti/pspsupport/Documents/juncap200p5_summary.pdf (дата обращения: 14.02.2025).
 6. Глава 4. Моделирование с помощью PSpice // lib.qrz.ru URL: <https://lib.qrz.ru/book/export/html/7132> (дата обращения: 14.02.2025).
 7. SPICE Version 2G User's Guide // ece.umn.edu URL: <https://ece.umn.edu/~harjani/courses/common/spice2G6.pdf> (дата обращения: 14.02.2025).



18

Сравнение симулированных и измеренных передаточных ВАХ транзистора

LEVEL	2	AP	1	BR	340
CIO	0.6p	BS	1.12	FC	500m
SW	3m	BW	0	SP	0
IS	4m	BR	0	KP	0
H	500m	N	2	NBV	1
NEV	1	NR	2	RL	5g
RS	1.2	T_ABS	undefined	T_MEASURED	undefined
T_REL_GLOBAL	undefined	T_REL_LOCAL	undefined	TBV1	0
TBV2	0	TDP	0	TRS1	0
TRS2	0	TT	3m	V2	810m
XTR	3				

19

Параметры разработанной SPICE-модели диода

LEVEL	1	AP	1	BF	113
BR	1	CJC	24p	CJE	52.5p
CJS	0	BS	1.11	FC	1
GAMMA	10p	NP	0.5	NR	0
ISB	1	IS	1e-12	ISC	0
ISE	0	ISS	0	ITP	0
KP	0	HJC	0.5	MJE	0.5
KJS	0	NC	0.5	NE	0.5
NF	1	NK	0.5	NR	1
NS	1	PTP	0	QCO	0
QUASIMOO	0	RB	0	RSM	0
RC	0	RCO	0	RE	0
T_ABS	undefined	T_MEASURED	undefined	T_REL_GLOBAL	undefined
T_REL_LOCAL	undefined	TP	0	TR	0
TRB1	0	TRB2	0	TRC1	0
TRC2	0	TRE1	0	TRE2	0
TRM1	0	TRM2	0	VAF	109.6
VAR	0	VG	1.206	VOC	0.65
VIE	0.65	VJS	750m	VO	10
VTF	0	XJC	1	XTB	0

20

Параметры разработанной SPICE-модели транзистора

8. An Integral Charge Control Model of Bipolar Transistors. (Gummel, H.K.; Poon, H.C.) // INTERNET ARCHIVE URL: <https://archive.org/details/bstj49-5-827/> page/n3(mode/1up (дата обращения: 14.02.2025).
 9. The Mextram Bipolar Transistor Model // Citeseerx. ist.psu.edu URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?doi=64c54b094d34e7ee3017e46411b6bd4dc-73c1a90&repid=rep1&type=pdf> (дата обращения: 14.02.2025).

Взрывозащита на производствах радиоэлектронной аппаратуры

Текст: Александр Евсеникин



Производство радиоэлектроники в России многопрофильно и разнообразно. Оно включает и узкоспециальные направления, где для производства определенной продукции оборудованы специализированные взрывозащищенные зоны. Взрывозащищенность и электробезопасность играют важную роль в обеспечении безопасности сотрудников и защиты производственного оборудования.

Производственные процессы, связанные с изготавлением и сборкой радиоэлектронной аппаратуры специального назначения, могут сопровождаться образованием мелкодисперсной пыли, которая представляет серьезную опасность, – она может накапливаться на поверхности оборудования, создавая условия для статического электричества и возможного воспламенения. Поэтому на практике широко используются средства взрывозащиты технологического оборудования, позволяющие сделать его безопасным для взрывоопасной среды, где такое оборудование установлено.

Основные методы обеспечения взрывобезопасности оборудования регламентируются ГОСТ 31610.25-2022 «Взрывоопасные среды. Часть 25. Искробезопасные системы», который дополняет и имеет приоритет перед ГОСТ 31610.0 и стандартом по искробезопасности ГОСТ 31610.11.

Среди таких методов:

- локализация, сдерживание взрыва, когда принятые меры не дают взрыв распространиться за пределы оболочки оборудования;
- изоляция или герметизация – заливка компаундом, продувка оборудования, например, сжатым воздухом для поддержания внутри оболочки повышенного давления, заполнение оболочки кварцевым песком или маслом;
- применение искробезопасной электрической цепи для предотвращения или ограничения заряженной и выделяемой энергии в электрических цепях.

Компания «Остек-АртТул» предлагает комплексный подход для организации взрывозащищенных мест монтажников. Рассмотрим его составляющие более подробно.

Комплексное антистатическое оснащение

Чтобы исключить образование статического электричества из-за появления электростатического разряда (ESD) – искры, а также перераспределения статических зарядов между чувствительными элементами и объектами, такими как: рабочее место, оборудование, оснастка, инструмент, тело человека, необходима система антистатической защиты. Она включает:

- **Заземление.** Для выполнения антистатики различных объектов необходимо обеспечить электрическую связь этих объектов с землей. Заземление настольных и напольных ковриков, рабочих мест, систем стеллажного хранения и других элементов антистатической защиты осуществляют через шнуры заземления. В зависимости от характера выполняемых работ различают две основные схемы заземления персонала: при сидячей работе – через металли-

ческие или эластичные браслеты, при стоячей работе и/или работе с перемещениями – через напольное покрытие и специальную обувь. Дополнительными средствами для обоих вариантов являются специальные халаты, шапочки, перчатки и напальчики.

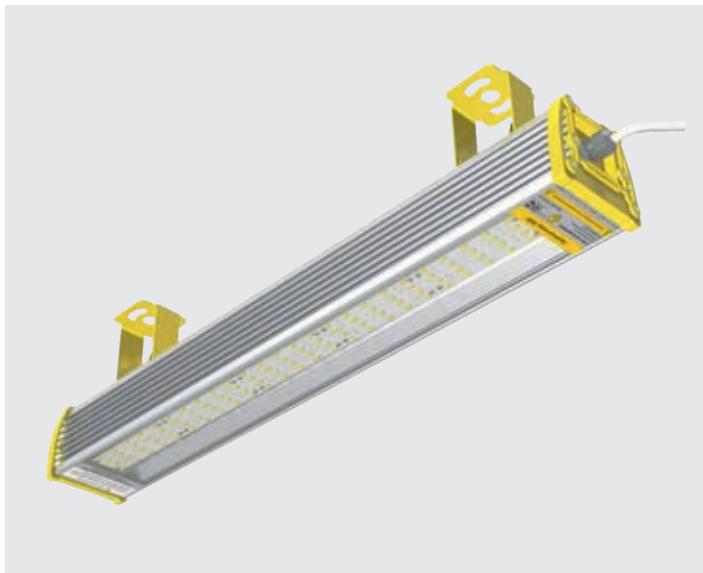
- **Антистатическая упаковка.** Использование специализированной упаковки необходимо при обращении, хранении и манипулировании с различными объектами, чувствительными к электростатическому разряду. Упаковочные пакеты, транспортные ящики, контейнеры, лотки и ячейки изготавливаются из антистатических материалов, которые минимально генерируют статические заряды и недерживают их на своей поверхности, исключая проявление электростатического разряда (ESD). Поставляемые нами упаковочные материалы не вызывают загрязнения и коррозии объектов, контактирующих с ними.
- **ESD-мониторинг и аудит.** Проводится с целью контроля и оценки эффективности внедренных вариантов антистатики на протяжении всего производственного цикла. Для этих задач используется различное измерительное и тестовое оборудование: тестеры проверки средств персонального заземления персонала, мегомметры, измерители электростатических полей, тестеры для измерения величины статических зарядов, возникающих при ходьбе персонала, и другое ESD-оборудование.

Специализированная антистатическая промышленная мебель

Использование промышленной мебели для антистатической защиты гарантирует контролируемое стекание статических зарядов как с самой мебели, так и с антистатических материалов, размещенных на ней. Применение в сочетании с ней специальных стульев исключит генерацию и удержание на них статического заряда. Для поддержания антистатических свойств мебели и стульев рекомендуется использовать специальные очистители, которые позволят удалить загрязнения и сохранить свойства материалов, из которых они изготовлены.

Взрывозащищенное электрооборудование и электрофурнитура

Взрывозащищенное электрооборудование – это электротехническое изделие (электротехническое устройство, электрооборудование) специального назначения, которое выполнено таким образом, что возможность воспламенения окружающей взрывоопасной среды в процессе его эксплуатации устранена или затруднена.



Светильник светодиодный взрывозащищенный

Взрывозащищенная электрофурнитура, поставляемая компанией Остек-АртТул в составе рабочих мест, имеет следующую маркировку:

Светильник светодиодный с напряжением питания 36 В с обеспечиваемой взрывозащитой: 2 Ex nR II T4 X, Ex tb IIIC T130°C Db X, IP 66 соответствует техническим условиям ТУ 3461-003-23334258-2014 (РИС 1).

Взрывозащищенные разветвительные коробки для соединения, протягивания и разветвления проводов и кабелей как в трубной, так и в открытой разводке (РИС 2). Применяются на предприятиях газовой, нефтяной, нефтехимической, химической, деревообрабатывающей, лакокрасочной, текстильной и других смежных отраслях промышленности, где могут возникать взрывоопасные



Взрывозащищенная разветвительная коробка



Пример маркировки взрывозащиты

среды, в зонах 1 и 2 в помещениях и на открытых площадках. Маркировка взрывозащиты: 1Ex d IIC T6 G.

Расшифровка маркировки взрывозащиты

Ex-маркировка по ГОСТ 31610.0 «Взрывобезопасные среды. Часть 0. Общие требования» состоит из нескольких цифробуквенных символов, несущих определенную информацию, и имеет следующую структуру (РИС 3):

- первый знак – знак уровня взрывозащиты;
- Ex – знак принадлежности к взрывозащищенному оборудованию;
- третий знак – вид взрывозащиты;
- четвертый знак – группа по области применения;
- пятый знак – температурный класс;
- шестой знак – европейский знак уровня взрывозащиты – Ga, Gb и Gc.

В конце маркировки взрывозащиты может стоять знак X или U: X указывает на специальные условия безопасного применения электрооборудования, U служит для обозначения Ex-компонентта.

Классификация электрооборудования

По уровню взрывозащиты электрооборудование может быть:

- повышенной надежности против взрыва;
- взрывобезопасное;
- особо взрывобезопасное.

Критерии присвоения того или иного уровня взрывозащиты изложены в ГОСТ 31610.0.

Вид взрывозащиты

Это специальные меры, предусмотренные для предотвращения воспламенения окружающей взрывоопасной

среды, совокупность средств взрывозащиты электрооборудования, установленных ТР ТС «О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах» и стандартами из перечня, утвержденного под ТР ТС 012/2011. Каждому виду взрывозащиты соответствует определенный символ:

- d, e, i, m, n, o, p, q, s – для электрооборудования, работающего во взрывоопасных газовых средах;
- t, i, m, p, s – для электрооборудования, работающего во взрывоопасных пылевых средах;
- fr, d, c, b, k, p – для неэлектрического оборудования.

По области применения оборудование делится на следующие группы:

- I – рудничное взрывозащищенное электрооборудование для применения в подземных выработках шахт, рудников и в их наземных строениях, опасных по рудничному газу и/или горючей пыли;
- II – взрывозащищенное электрооборудование для внутренней и наружной установки, предназначенное для потенциально взрывоопасных сред, кроме подземных выработок шахт и рудников и их наземных строений, опасных по рудничному газу и/или пыли;
- III – оборудование для применения во взрывоопасных пылевых средах (кроме подземных выработок шахт и их наземных строений).

Электрооборудование групп II и III может подразделяться на подгруппы (IIA, IIB или IIC, IIIA, IIIB, IIIC) в соответствии с категорией взрывоопасности взрывоопасной газовой среды и характеристикой конкретной взрывоопасной пылевой среды, для которой оно предназначено.

Температурный класс соответствует максимальной температуре поверхности электрооборудования. Различают шесть температурных классов.

Бронекабины

Бронекабины на рабочих местах применяют для локализации, сдерживания взрыва, они не позволяют взрыву распространяться за пределы одной рабочей зоны, предотвращая разлет осколков и поражающих элементов.

Бронекабины выполнены из листовой стали марки 09Г2С толщиной не менее 4 мм, они не имеют сварных швов, покрыты антистатической краской RAL 7035 ESD. Бронекабина жестко устанавливается на антистатические столы и крепится при помощи болтовых соединений.

Низковольтное паяльное оборудование

Компания Остек-АртТул совместно с компанией-производителем профессионального паяльного оборудования JBC Soldering S.L. разработала паяльную станцию с напряжением питания 36 В переменного тока (рис. 4), сохранив технические и технологические инновации.



4

Паяльная станция с напряжением питания 36 В

Революционная технология нагрева данного паяльного оборудования заключается в управляемой скорости нагрева. Каждый наконечник – это композитный картридж, состоящий из рабочей части, нагревательного элемента и термопары, установленной в непосредственной близости от точки пайки. Единая конструкция исключает какие-либо теплопотери и обеспечивает незамедлительность реакции на малейшее изменение температуры. Эксклюзивная система управляемой скорости нагрева построена по принципу «малая масса – большая мощность». В результате мы получили чрезвычайно стабильную, безинерционную систему. Её основу составляет чувствительная термопара, установленная в каждом наконечнике, а также микропроцессор, регистрирующий 60 показаний в секунду. Мощные блоки управления имеют запас по мощности (пиковую мощность в момент пайки), которая составляет около 90 % от номинальной мощности станции в рабочем состоянии на холостом ходу.

Эргономика и удобство термоинструмента JBC заключается в миниатюрности и легкости самого инструмента – вес паяльника всего 50 г – он сравним по своим размерам с шариковой ручкой. Подобная миниатюрность обеспечивает непревзойденную работоспособность в труднодоступных местах и местах с плотным монтажом. Инструмент обладает разумной экономичностью – при установке паяльника на интеллектуальную подставку для термоинструмента происходит автоматическое понижение температуры наконечника. Таким



5

Цифровые паяльные станции с беспроводными паяльниками 12 В

образом поверхность наконечника защищена от избыточного выгорания, и его срок службы значительно увеличивается (работоспособность выше в 5 раз по сравнению с обычными наконечниками). Каждая подставка включает специальный экстрактор, который позволяет менять наконечники в паяльнике за 3 секунды всего лишь одним движением руки.

Также мы предлагаем цифровые паяльные станции с беспроводными паяльниками 12 В (рис. 5).

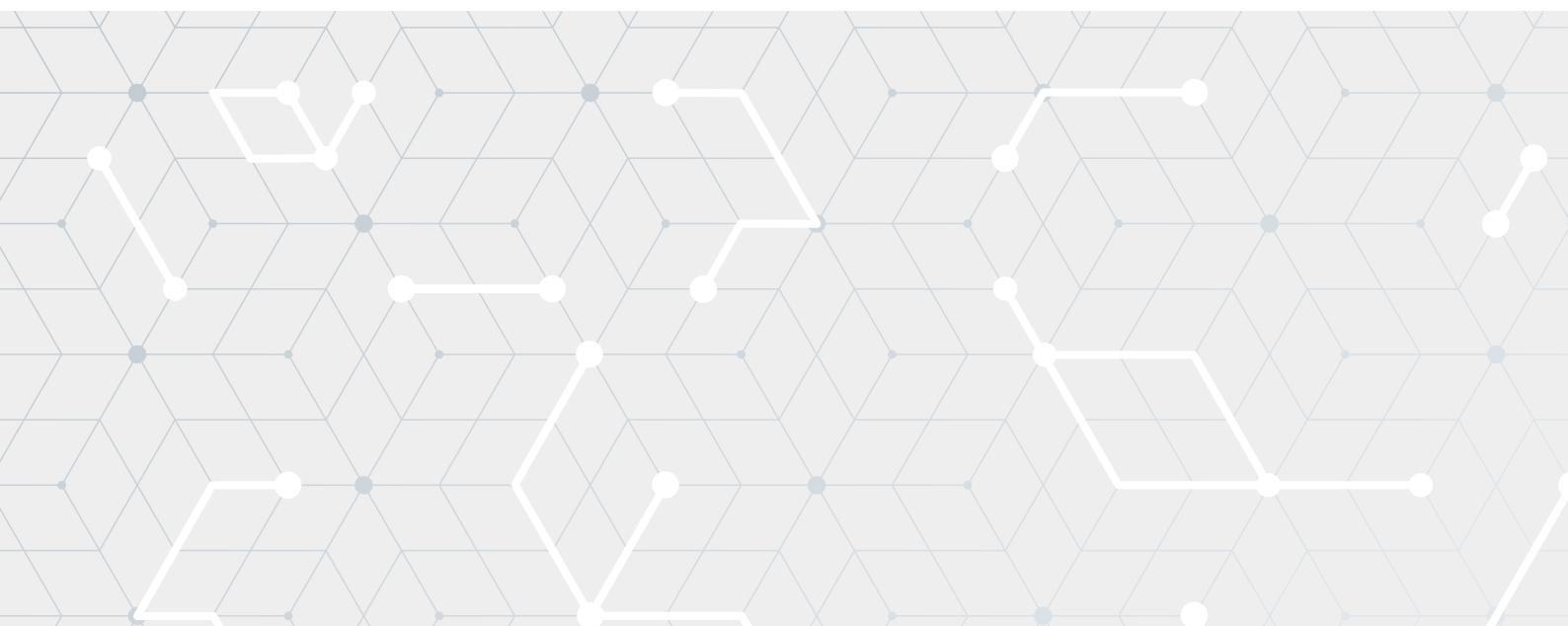
Такое решение позволяет производить пайку в удаленных и труднодоступных местах и на борту изделия. Управлять параметрами системы можно не только

через штатный планшет, но и через любое мобильное устройство пользователя. Бесплатное приложение с программным обеспечением доступно для скачивания как для пользователей Android, так и для пользователей iOS.

Антистатический прецизионный ручной инструмент

Антистатический ручной инструмент – это специализированные инструменты, предназначенные для работы в условиях, где необходимо исключить риск возникновения электростатического разряда, чтобы избежать повреждения чувствительной электроники и предотвратить возникновения искры. □

Взрывозащита – важная часть обеспечения безопасности на промышленных объектах, где присутствует риск взрыва. Комплексный подход к обеспечению взрывозащищенности и электро-безопасности на производствах РЭА включает в себя сочетание технических решений, организационных мероприятий и обучение персонала. Правильный выбор типа взрывозащиты, соблюдение стандартов и сертификаций, а также внедрение соответствующих мер предосторожности помогут минимизировать риски и обеспечить безопасные условия труда и защиту оборудования от потенциальных угроз.



Нужна **НОВАЯ**
производственная линия?

С **Остек-ЭК**
всё сложится!



**Сервисно-инжиниринговая
служба Остек-ЭК**

- 01** Восстановление и модернизация оборудования
- 02** Обслуживание и запасные части
 - запасные части
 - годовой сервисный контракт
 - плановое ТО
- 03** Диагностика и ремонт
- 04** Аудит
- 05** Отработка технологии
- 06** Обучение специалистов

>3000
заказчиков в России и СНГ

>1200
единиц инсталлированного
оборудования

>60
сервисных инженеров,
опыт ведущих
инженеров - 20 лет



Ostec-ЭК | Группа компаний Остек

Оборудование и сервис для микроэлектронных производств
ostec-micro.ru | micro@ostec-group.ru | +7 (495) 788-44-42

ОТ ПЕРВОГО ЛИЦА

Время пришло. Перспективы развития производства печатных плат в России

Текст: Пётр Семёнов

“

Дорогие читатели! Эта статья написана для патриотов нашей Родины, желающих посвятить часть своей жизни развитию производства печатных плат в России, а также для тех, кто будет заниматься данной тематикой в соответствии с должностными обязанностями несмотря на то, что есть более безопасные методы увеличения своего капитала, сохранения физического здоровья и нервной системы. Содержание статьи рассчитано, в первую очередь, на высшее руководство, ставящее глобальные цели развития производств.

Об авторе и команде единомышленников

1989–2001. Рост от начальника технологического бюро производства многослойных печатных плат до руководителя спецтехнологического производства, включая цех печатных плат, цех общей гальваники, цех многослойных полимида и гибридных схем.

1989–1995. Накоплен опыт в изготовлении многослойных печатных схем с серийными проектными нормами проводник/зазор 0,15/0,15 мм и толщиной 3,5 мм при количестве слоев до 24. По долгу службы изготавливали многослойные печатные платы на нефольгированном полимида аддитивным методом.

1995–2001. Отработка встраивания в печатную плату пассивных компонентов, печатного трансформатора высокой теплонагруженности.

2000–2001. Освоение выпуска подложек для многостабильных модулей на основе многослойных полимида схем.

С 2001 по настоящее время автор руководит инжиниринговой компанией – командой единомышленников – и развивает школу российского печатного монтажа совместно с преуспевающими партнёрами – производителями печатных плат и оборудования

Этапы деятельности

За время работы команды мы первыми запустили в России большинство передовых ключевых технологий производства печатных плат.

Уже с **2003** мы внедряем технологии и оборудование из Китая для печатных плат в промышленных масштабах.

С **2004** в России работает автоматическое экспонирование с прецизионным совмещением фотошаблонов под бурное отрицание конкурентами применимости таких технологий для российского производства. Для многих производителей плат это стало технологическим прорывом в пятый класс (точности).

С **2005** в России внедрены уникальные системы совмещения топологии слоев, изготовленных в разном масштабе для сложных МПП из разных материалов, а также крупногабаритных МПП. Данная технология уникальна до сих пор и имеет перспективы технологической экспансии в другие страны. Эта система обеспечила производителям технологический задел на 25 лет



1

2008 год. Слева Борисов Ю.И., заместитель министра промышленности и торговли РФ., справа Медведев А.М., доктор технических наук, член команды единомышленников

под публичное отрицание американских «экспертов». В этом же году мы начали разрабатывать комплексные проекты создания производств и применять принципы инжиниринга на российской земле. Заказчик ставит задачу, а мы готовим бизнес-проект с подбором оборудования и расходных материалов, планировочное решение и бизнес-план с конкретным сроком возврата инвестиций. При реализации наша команда несет ответственность за конечный результат – выпуск опытной партии печатных плат в рамках проекта и его расчетов. Не все заказчики были готовы к такому подходу, но те, кто поверил, сейчас являются лидерами производств печатных плат.

В **2006** в Дмитрове было создано совместное российско-китайское предприятие производства линий мокрых процессов под брендом WAT без привлечения субсидий или внешних инвестиций. Приоритета по цене российскому оборудованию тогда не давали, как не было и любых других привилегий. Завод включал полный цикл: от конструирования и переработки пластика до финишной сборки и сдачи конечному заказчику.

Внедренные конструктивные решения опередили свое время, например, система вакуумного удаления раствора травления и система регенерации с синтезированными в России химическими компонентами по заказу нашей



Медведев Аркадий Максимович

Доктор технических наук, профессор, президент гильдии профессиональных технологов приборостроения, заслуженный технолог РФ.

Один из основателей инжинирингового подхода при модернизации производства печатных плат. Автор многих книг и учебных курсов по технологии производства электронных приборов. Научный консультант «Остек-Сервис-Технология» с момента основания по апрель 2022 года.



2

2007 год. Акционеры WAT. Слева Локшин Юрий Абрамович, в центре Мистер Янг (Китай), справа Мистер Ли (Гон-Конг)

команды. Это позволило добиться фактора травления более «б» на нашем российском оборудовании. Ходят слухи, что немцы скопировали некоторые конструктивные решения и тихонько продают. К сожалению, этот опыт показал важность ёмкости рынка для импортозамещения. Производительность завода была 24 линии в месяц при объеме рынка 20 линий в год, поэтому производство пришлось вернуть в Китай, но конструкторы и инженеры завода продолжили работу в нашей команде.

В 2007 мы внедрили металлизацию отверстий малого диаметра при соотношении толщины МПП к диаметру покрытого отверстия 20:1. Т.е. при толщине платы 4,0 мм диаметр покрытого отверстия составлял всего 0,2 мм. Европейцы отписались, что это невозможно выполнить с необходимым уровнем надежности, конкуренты пели туже песню. Наши специалисты вместе со специалистами из Рязани успешно выполнили эту задачу – без немцев и их партнеров. Ещё долго конкуренты заказывали в большом количестве в Рязани тестовые образцы, то ли ОКР делали, то ли предоставляли шлифы, как свои достижения потенциальным покупателям?

В это же время наша команда начинает системную работу с китайскими производителями по адаптации и русификации технологического оборудования под специализированные требования российских заказчиков. Даная работа успешно ведется по сегодняшний день.

В 2008 впервые в России заработала прямая цифровая печать маркировки, участок изготовления ТПФ потерял актуальность, а срок производства сократился в разы. А спустя несколько лет в России заработала первая система прямого светоизодного экспонирования (как потом оказалось – вторая в Европе). Мы сильно двинули отрасль печатных плат России в цифровой век.

В это же время внедряется программное обеспечение для профессиональной адаптации данных топо-



3

2011 год. Установка SEMAR

логии печатных плат. Создается клуб для общения специалистов, использующих программное обеспечение для подготовки данных. В результате производители смогли повысить выход годных печатных плат и сократить время подготовки производства.

В 2011 внедрен не имеющий аналогов в мире передовой метод очистки сточных вод от тяжелых металлов после производства печатных плат. Работа команды замечена Европейским Институтом Естественных Наук, и руководитель компании награжден орденом им. Леонардо да Винчи¹.

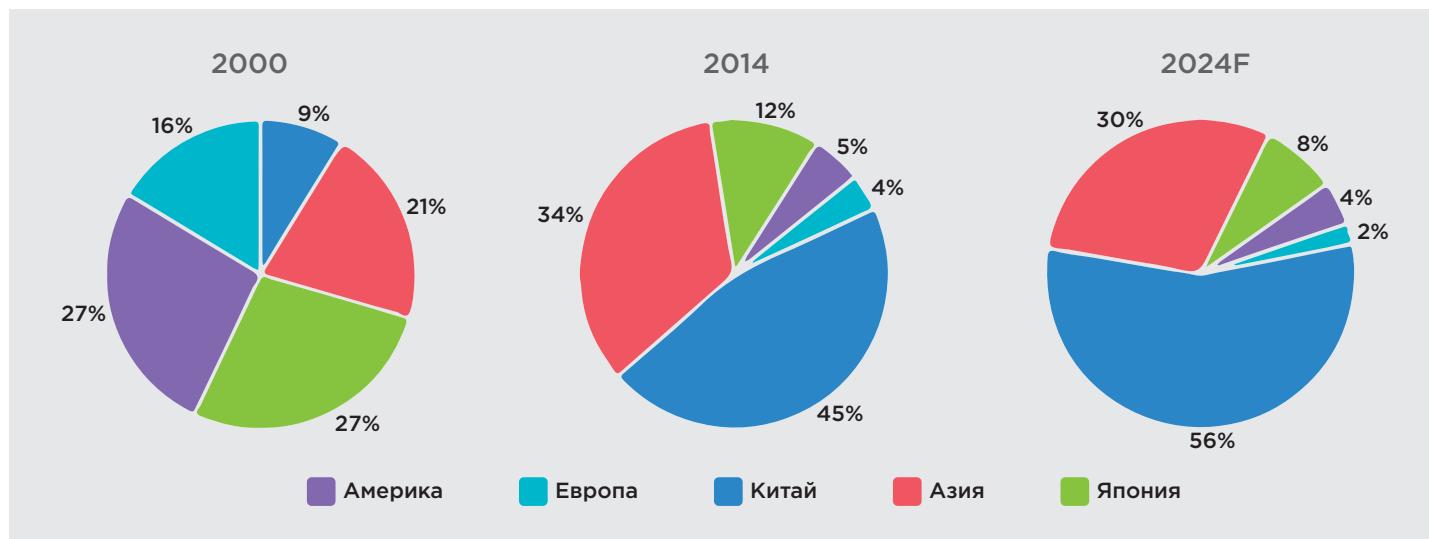
С 2014 наша команда запускает автоматические линии изготовления печатных плат (внутренних слоев), в Европе немногие смогли их выстроить. В этом же году начинаются работы по адаптации технологической химии, произведенной в Китае для российского рынка с целью дальнейшего производства в России.

2015–2021. В связи с беспрецедентным ростом роли Китая в мировом производстве печатных плат и изменением политической ситуации наши специалисты проживали по несколько месяцев в Поднебесной, проводя анализ производителей оборудования с целью возможной замены Европейских поставщиков (с Америкой мы принципиально не работали).

В 2019 мы начали создавать мобилизационные резервы технологической химии, инструмента и расходных материалов для производства печатных плат. В 2022 году нам это очень помогло спасти от остановки производств российских производителей печатных плат, потерявших возможность получать технологическую химию из стран коллективного запада и выполняющих ГОЗ.

Начиная с 2021 мы осуществляли инжиниринг технологий производства многослойных печатных

¹ Регистрационный номер N51 Hanover, ден 06.12.2011



3

Сравнение мирового производства печатных плат в денежном выражении

плат полного цикла на объекте близи Дубны для плат критической инфраструктуры.

Сегодня здесь работает самое современное производство печатных плат в Европе. Три года в условиях резких перемен, отмены контрактов поставки оборудования из недружественных стран, замена «на лету» с перепроектированием участков и параллельным внедрением новых подходов к технологическому процессу, поставка, запуск оборудования и выпуск опытной партии. Да отсохнет язык у тех, кто утверждает, что три года – это слишком долго.

Печатная плата как фундамент электроники и электронного приборостроения

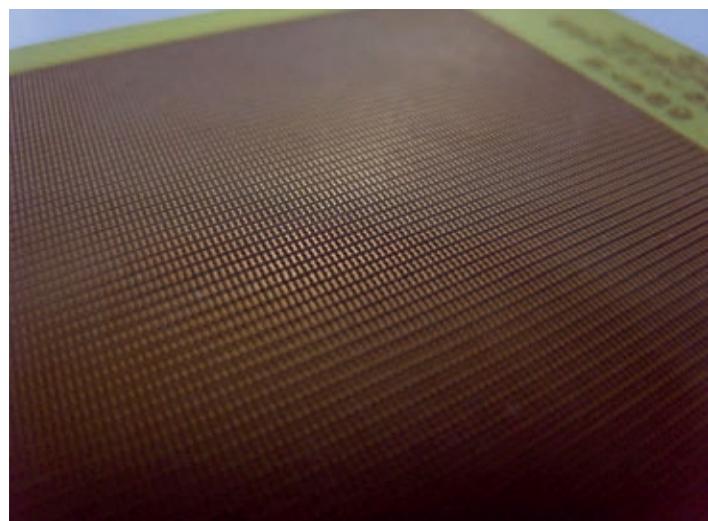
Не секрет, что страны лидирующих экономик, такие как: США, Китай, Япония и Германия являются и лидерами в производстве печатных плат. Учитывая, что Россия является третьей страной в мире по экономике, следовало бы ожидать и ее большую долю в мировом производстве печатных плат. Увы, пока по производству печатных плат Россия меньше погрешности методов измерений. Уже этого достаточно, чтобы утверждать, что создание производств печатных должно быть одним из приоритетных в развитии электронной промышленности и приборостроения России.

Европа не помогла

Попытки возвратить потерянные ресурсы по производству печатных плат, созданных в период СССР, предпринимались давно, еще с середины 90-х годов с привлечением европейских компаний. Так, компания Сименс участвовала в создании цеха по производству печатных плат на всех этапах реализации проекта в городе Ульяновске. После запуска производства была проведена сертификация по жестким стандар-

там, однако поставленная технология не обеспечивала выпуск многослойных печатных плат с большим количеством слоев и более жесткими проектными нормами, которые предъявляли сторонние заказчики. Немецкий педантичный подход «все, что прописано в ТЗ, и ни на йоту больше» не оставил технологического задела на перспективу.

Ещё одна немецкая компания, ведущая торговлю на российском рынке, в начале 2000-х занималась модернизацией предприятий в Рязани и Чебоксарах. В результате прямых поставок оборудования от немецких специалистов возможность выпуска сложных печатных плат так и не была достигнута. Технологическая поддержка оказалась, мягко говоря, «слабенькой». После этого, в 2004 году, в Рязани задумались об импортозамещении, новой модернизации и освоении производства сложных печатных плат в России, чтобы



4

15 000 отверстий в одной цепи для тестирования процесса металлизации



4

2021 год. Площадка для строительства КИС. Слева Семёнов Пётр Владимирович, генеральный директор ООО «ОСТ», справа Городов Владимир Александрович, коммерческий директор ООО «ОСТ»



4

2022 год. Отработка технологии изготовления серверных плат на российском производстве. Передовики команды единомышленников: слева Новокрещенов Сергей Васильевич, в центре Лаврентьев Дмитрий Александрович, справа Шевченко Евгений Александрович

не заказывать за рубежом, спонсируя модернизацию западных производств.

Одним из требований технического задания на новый технологический процесс (подчеркну, не на оборудование) было обеспечение металлизации сквозных отверстий с соотношением диаметра отверстия к толщине платы 1:20. Т.е. при диаметре сквозного отверстия 0,2 мм толщина многослойной печатной платы должна была составлять более 4 мм при уровне дефектов до 2–3 непокрытых отверстия на 1 000 000 отверстий. На это немецкие партнёры и их российские товарищи написали ответ на бланке европейского отделения IPC о недоступности таких технологий в мире и тем более в России. В дальнейшем эта технология была освоена заводом совместно с нашей компанией, без немецких специалистов, что доказало возможность самостоятельного развития технологии по производству сложных печатных плат в России, а также состоятельность Российской школы печатного монтажа.

Особо хотелось отметить ещё один результат безоглядного доверия «европейской инжиниринговой компании» – строительство в 2016 году производства печатных плат под руководством чешского интегратора в городе Дубна. Несмотря на поставку самого дорого оборудования для производства печатных плат потенциал технологических решений, заложенных в проект, не позволял устойчиво выпускать современные многослойные печатные платы. Как показал проведённый аудит уже остановленного предприятия, производство не могло выпускать вос требованные многослойные печатные платы большого размера, а основной продукцией по производительности в проекте были двухсторонние печатные платы.

Китайцы не помогут²

Ну, бог с ней, с Европой, ушла и счастливого пути! Для производителей печатных плат это стало серьезным испытанием. Европейские производители химии ушли, а Китай ужесточил требования к перевозке опасных грузов, увеличив сроки доставки и сроки получения сертификатов на экспорт химической продукции. Российские компании, работавшие с европейскими, пообещали нашим производителям привезти «полностью совместимую» химию из Китая, такую, что даже не потребуется отрабатывать технологию на новых растворах. Более того, обещали возможность применять совместно с европейскими остатками растворов на складах. Подписав контракты и не выполнив своих обязательств, они бросили заказчиков. Ситуация усугублялась тем, что многие сограждане покинули Россию в тяжелый момент для страны. Кто виноват? «Конечно, китайцы».

Ситуацию удалось частично спасти опытом и складскими запасами, созданными в течение трёх предыдущих лет на складах ООО «Остек-Сервис-Технология». Надо отдать должное мужеству технологов производств печатных плат, проводивших сертификацию и испытания новых процессов, параллельно выпуская продукцию на остатках европейской химии.

Для понимания профиля китайских специалистов, проанализируем китайский рынок печатных плат в сравнении с Россией:

- Китайский рынок печатных плат сильно отличается от российского в первую очередь перенасыщением производственных мощностей.
- Наличие базовых расходных материалов, ин-

² Говорят, миллиард не может ошибаться, но миллиард может и не знать

- струмента собственного производства в доступности несколько дней от заказа до поставки.
- Узкая специализация инженеров на конкретную конструкцию печатной платы, так как многономенклатурное производство в Китае не встречается (разную топологию некоторые заводы могут сделать, но выпускать разные конструкции печатных плат на одном оборудовании они не считают необходимым).
 - Типовая мощность производства печатных плат отличается от российского производства в 10–100 раз (1,2 миллиона квадратных метров типовых печатных плат в год является китайским стандартом завода).
 - Широкое развитие кооперации между производителями печатных плат даже по отдельным технологическим операциям. Очень часто внутренние слои делаются на одном заводе, а гальваника – на соседнем. При этом для заказчика из России выглядит, что китайский завод может сделать любую конструкцию платы, а по факту, благодаря кооперации, они переразмещают заказ на заводе, специализирующемся на конкретной конструкции печатной платы. В России такой возможности нет.

Учитывая отсутствие широкого спектра технологий в рамках одного производства в Китае (внутренних слоев, внешних слоев, двухсторонних печатных плат, гибких и т.д.), широкой подготовки китайских специалистов в российском понимании ожидать не приходится. Оыта работы на участке, где изготавливаются различные конструкции – как в России, у них нет. Интересно было наблюдать, как китайские эксперты, приглашённые на запуск оборудования и процессов, впадали в ступор: «Обычно в Китае мы эти конструкции делали на разных участках». При производительности 150 кв.м/час можно позволить несколько узкоспециализированных линий под разные конструкции печатных плат.

Кто виноват и что делать

Опыт изучения проектов конкурсной документации показал, что при создании нового производства заказчик указывает на необходимость универсальности производства печатных плат, требования к классу точности, но отсутствует «Эталон» конструкций для оценки правильности расчетов и подбора технологической цепочки – расчеты, которые подтверждают состоятельность проекта. Таким образом, при ознакомлении с ТЗ на создание нового производства печатных плат, где производительность меньше в 10 раз, чем у китайского завода (а значит нет дублирования линеек на многих процессах), отсутствует топология конкретно планируемой к выпуску продукции с заданным качеством и количеством. Таким образом, серьезные инвестиции предлагается сделать без чётких



4

Работа с заказчиками

требований к создаваемому объекту и без объективных механизмов сравнения различных конкурентных предложений.

Интересен факт, что при подготовке тендера на разработку проекта нового производства печатных наше предложение включить в техническое задание топологию печатных плат (в виде Gerber или ODB++ файлов), то есть включить в ТЗ платы-представители, которые могут использоваться для проверки расчётов производительности, точности, выхода годных продукции, нам было отказано, а при проявлении настойчивости в этом вопросе нам по-



4

2008 год. Вручение наград Военно-промышленной комиссии. Слева Мылов Геннадий Васильевич, начальник ПТК, доктор технических наук; в центре Медведев Аркадий Максимович, доктор технических наук; справа Иванов Сергей Борисович, заместитель председателя Правительства

обещали общение со службой безопасности! Потому что это болевая точка для «интеграторов-экспертов»! Это обязывает интеграторов раскрыть все карты и на деле доказать преимущества своих технологических предложений, а иногда и раскрыть для заказчика их несостоятельность.

Учитывая работу нашей компании с различными интеграторами из Гонконга и Китая в области модернизации производства печатных плат, можно констатировать – у китайских специалистов нет опыта создания многономнеклатурных универсальных производств печатных плат. Попытки отдельных личностей сделать капитал на российской территории в условиях отсутствия инструментов сравнения проектных решений, а также возможности не отвечать за возврат инвестиций, а только поучаствовать в поставке оборудования в Россию, без соответствующих компетенций, имеют большой шанс на реализацию и фактически являются гарантированным невозвратом инвестиций.

Вместо заключения: совет для инвесторов в производство печатных плат

- Техническое задание должно включать топологию конкретной печатной платы (платы-представители), по которым будут производиться

конкурсные процедуры, выбор и защита исполнителем расчётов, сделанных в проекте.

- Конкурс должен осуществляться по принципу:
 - А. Определение бюджета.
 - Б. Выбор компаний, которая за данный бюджет предложит лучшее техническое предложение, включающее: сервис, технологический запуск, перспективные технологические процессы без существенного увеличения бюджета, возможность модернизации в будущем.
- Соответствие поставленного оборудования требованиям Договора должно быть подтверждено выпуском опытной партии продукции с заданным качеством и количеством.
- Декларации участников крайне желательно проверять на уже поставленном в Россию оборудовании из Азии, а не проводить эксперименты на этапе ПНР и запуска (т.е. выпустить опытную плату на аналогичном и работающем в России оборудовании). □

P.S.: проведение конкурса на снижение цены оборудования с указанием характеристик оборудования в ТЗ для технически сложных объектов уменьшает вероятность возврата инвестиций.



С ТРИ КОРОБА НЕ ОБЕЩАЕМ, НО БОЛЬШОЙ СКЛАД МАТЕРИАЛОВ ЕСТЬ

У нас собственный склад технологических материалов для производства электроники и микроэлектроники. Склад обеспечивает четыре температурных диапазона хранения от -40 до +20 °C, хранение продукции шести классов опасности по ADR, все необходимые условия для хранения прекурсоров и материалов с повышенным содержанием драгоценных металлов. Мы строго контролируем сроки годности и внимательно следим за тем, чтобы на складе поддерживался стабильный запас основных технологических материалов.

Чтобы у вашего производства не было простоев, а у вас – проблем.

>50 тонн

материалов
всегда в наличии

>100

типов материалов
в складской программе

>50 м³

для хранения материалов
при специальных
температурных условиях

ОПТИМИЗАЦИЯ

Вертикальные системы хранения: оптимизация решения «товар к человеку»

Текст: Артур Данчук

“

Сегодня в сфере складской логистики и на большинстве производственных предприятий широкое распространение получили вертикальные лифтовые системы хранения (VLM). Их модульность и вариативность позволяют подобрать для каждого потребителя нужное решение с минимальными вложениями в автоматизацию и оптимизацию складского хранения и легко расширять и настраивать системы в соответствии с потребностями склада.



1

Лифтовая система хранения VLM



2

Окно выдачи VLM

Что такое вертикальная лифтовая система?

Лифтовая система хранения – передовое автоматизированное решение для хранения и извлечения товаров. Позволяет оптимизировать вертикальное складское пространство за счет использования высоты помещения для удобного хранения и извлечения товаров (рис. 1).

Конструкция вертикального подъемного модуля состоит из нескольких элементов, спроектированных таким образом, чтобы эффективно использовать пространство и оптимизировать управление запасами.

- **Стеллажные колонны.** В качестве каркаса системы хранения выступают две соединенные между собой стеллажные конструкции. Каждая колонна имеет специализированные направляющие для установки/извлечения полок.
- **Механизм вертикального подъема.** Подъемная платформа поднимает и опускает полки между двух стеллажных колонн. Этот механизм обеспечивает плавное и эффективное вертикальное перемещение.
- **Полки.** Полки в VLM – это отдельные ячейки для хранения товаров. Они бывают различных размеров, что позволяет разместить в них широкий ассортимент товаров: от небольших компонентов до крупногабаритных изделий.
- **Экстрактор.** Устройство, которое встраивается в подъемный механизм и выполняет функции установки и извлечения полок со стеллажных колонн и окна/окон выдачи. Механизм обеспечивает точное позиционирование полок в окне выдачи и быстрое

и точное извлечение.

- **Окно выдачи.** Окно выдачи – устройство, с помощью которого операторы извлекают товары из VLM (рис. 2). Его можно эргономично расположить на удобной высоте, что сводит к минимуму нагрузку на оператора и повышает эффективность работы. В зависимости от потребностей складской логистики возможны исполнения VLM с несколькими окнами выдачи на разных сторонах системы или на разном уровне по высоте.
- **Функции безопасности.** Безопасность имеет первостепенное значение при разработке VLM. Такие элементы, как датчики безопасности, кнопки аварийной остановки и механизмы обнаружения столкновений, обеспечивают защиту операторов и хранимых предметов.
- **Программное обеспечение (ПО) и пользовательский интерфейс.** ПО – это основа VLM. Оно управляет запасами, оптимизирует пространство для хранения, позволяет отслеживать товары и точно организует процесс поиска. Возможности мониторинга и отчетности в режиме реального времени делают управление складом еще более простым. Удобный пользовательский интерфейс позволяет операторам легко взаимодействовать с системой хранения. Учитывая специфику российского рынка и желания наших заказчиков, программисты компании «Остек-АртТул» разработали и внедрили собственное ПО «LogISb», зарегистрированное в Росреестре Минцифры России под номером 309573 от 28.12.2020.
- **Интеграционный механизм с WMS предприятия.** С помощью программного обеспечения возможна интеграция с WMS предприятия, которая позволяет отслеживать уровень запасов, обрабатывать и прогнозировать спрос в режиме реального времени, а также организовывать прослеживаемость конкретной номенклатурной позиции по всей технологической цепочке производственного цикла.

Системы хранения VLM предназначены для быстрой доставки хранимых предметов и сокращения времени на перемещение персонала и поиска в течение всего процесса. Они эргономичны и позволяют оптимизировать производственный процесс и повысить производительность более чем на 60 %.

Системы доступны в различных вариантах размеров (высота, ширина, глубина). С помощью модульной системы хранения с вертикальным подъемом можно быстро и просто расширить объемы и консолидировать объекты.

Преимущества лифтовых систем хранения:

- Сокращение складской площади.
- Значительный прирост производительности работы склада.
- Простая процедура инвентаризации.
- Безопасное хранение товаров внутри закрытой системы.
- Минимизация ошибок из-за влияния человеческого фактора.
- Сокращение трудозатрат и эксплуатационных расходов.
- Масштабируемость и гибкость лифтовых систем хранения.

Контейнерная лифтовая система хранения (VLCM)

Основной задачей автоматизации является организация принципа «товар к человеку» – сокращение времени поиска и перемещения продукции. В вертикальных системах хранения стандартного исполнения соответствующие полки доставляются в окно выдачи, где оператор выполняет операции пополнения и комплектации. При таком решении, как правило, выполнение соответствующей задачи осуществляется одним оператором за одной лифтовой системой хранения. В процессе выполнения операций перемещения полок лифтовым механизмом оператор тратит время на ожидание доставки полки в окно выдачи.

Чтобы решить вопросы простоя и увеличения производительности работы склада, разработано новое технологическое решение с применением стандартных складских контейнеров вместо полок VLCM.

Новое решение исполнения лифтовых систем хранения позволяет обеспечить бесперебойное перемещение продукции на комплектацию, пополнение и возврат в систему хранения. Система контейнерного типа также основана на принципе вертикального подъема, но экстрактор в этой системе может перемещаться и горизонтально. Местом хранения являются складские контейнеры, которые подбирают в соответствии с номенклатурой весогабаритных характеристик хранимых материалов.

Стеллажная колонна выполнена в виде ячеек, расположенных по ширине и высоте, в которые на направляющие устанавливаются контейнеры. Ширина лифтового подъемного механизма соответствует ширине стеллажной колонны. Экстрактор, установленный на подъемном механизме, разработан под ширину контейнера и пере-



3

Контейнерная лифтовая система хранения (VLCM) с поперечным расположением окон выдачи

мещается продольно вдоль стеллажной колонны по ширине и поперечно для изъятия/установки тары. Для загрузки и выгрузки продукции используют два отдельных

Т 1

Общие параметры VLCM

Высота системы	1 500–7 500 мм
Панель управления	13,3" сенсорный экран
Собственный вес системы	1 300–5 500 кг
Стандартные габариты контейнера	600 x 400 x 230 мм (серия KLT)
Порт доступа	Поддержка множественного доступа
Максимальная грузоподъемность ячейки	300 кг
Методы авторизации	Пароль / карта доступа / отпечаток пальца / распознавание лица
Автоматическое взвешивание	Поддерживается
Привод экстрактора	Сервопривод + лазерное позиционирование
Среднее время выдачи	40–70 с (в зависимости от конфигурации)

Т 2

Технические характеристики стандартных моделей VLCM

МОДЕЛЬ	ШИРИНА	ГЛУБИНА	ВЫСОТА	ГРУЗОПОДЪ	ГАБАРИТЫ СИСТЕМЫ, ММ			КОЛИЧЕСТВО ЯЧЕЕК ПО ВЫСОТЕ, ШТ.	ОБЩЕЕ КОЛИЧЕСТВО ЯЧЕЕК, ШТ.
	ТАРЫ, ММ	ТАРЫ, ММ	ТАРЫ, ММ	ЕМНОСТЬ ТАРЫ, КГ	ШИРИНА	ГЛУБИНА	ВЫСОТА		
SN-4620S	400	600	230	50	5340	2180	2000	8	46
SN-4620M				100	5340		2000		46
SN-4620L				200	5500		2000		46
SN-4620H				300	5660		2000		46
SN-4636S				50	5340		3600		126
SN-4636M				100	5340		3600		126
SN-4636L				200	5500		3600		126
SN-4636H				300	5660		3600		110
SN-4654S				50	5340		5400		222
SN-4654M				100	5340		5400		222
SN-4654L				200	5500		5400		206
SN-4654H				300	5660		5400		206
SN-4672S				50	5340		7200		318
SN-4672M				100	5340		7200		318
SN-4672L				200	5500		7200		302
SN-4672H				300	5660		7200		286

окна выдачи для разделения потоков и обеспечения буферизации (рис 3).

Благодаря использованию стандартизованных контейнеров появляется возможность дальнейшего перемещения продукции по конвейерной линии или с применением роботизированных транспортировочных модулей до производственного участка, зоны входного контроля, комплектации или окончательной отгрузки продукции.

Основные преимущества контейнерных систем

■ Вариативность расположения окон выдачи

В зависимости от места установки системы возможны различные варианты расположения окон

выдач (рис 3, 4). Они могут располагаться по глубине или ширине системы, а также на различной высоте от уровня установки системы (выгрузка на второй этаж, установка системы в приямке).

■ Бесперебойная работа, увеличенная производительность

При внедрении роботизации или конвейерных решений обеспечивается бесперебойная работа сотрудников комплектации и пополнения товаров благодаря организации раздельных потоков отгрузки и загрузки продукции (Т 1).

■ Нестандартное исполнение

Возможно специализированное изготовление контейнерной системы хранения с изменением габа-



4

Конструкция VLCS

ритов контейнеров и внешних габаритов системы (табл. 2). В стандартных лифтовых системах изготовление нестандартных решений проблематично, т. к. требуется изменение всей конструкции, в том числе изменение приводной техники (рис. 4).

■ Принцип безвозвратной тары

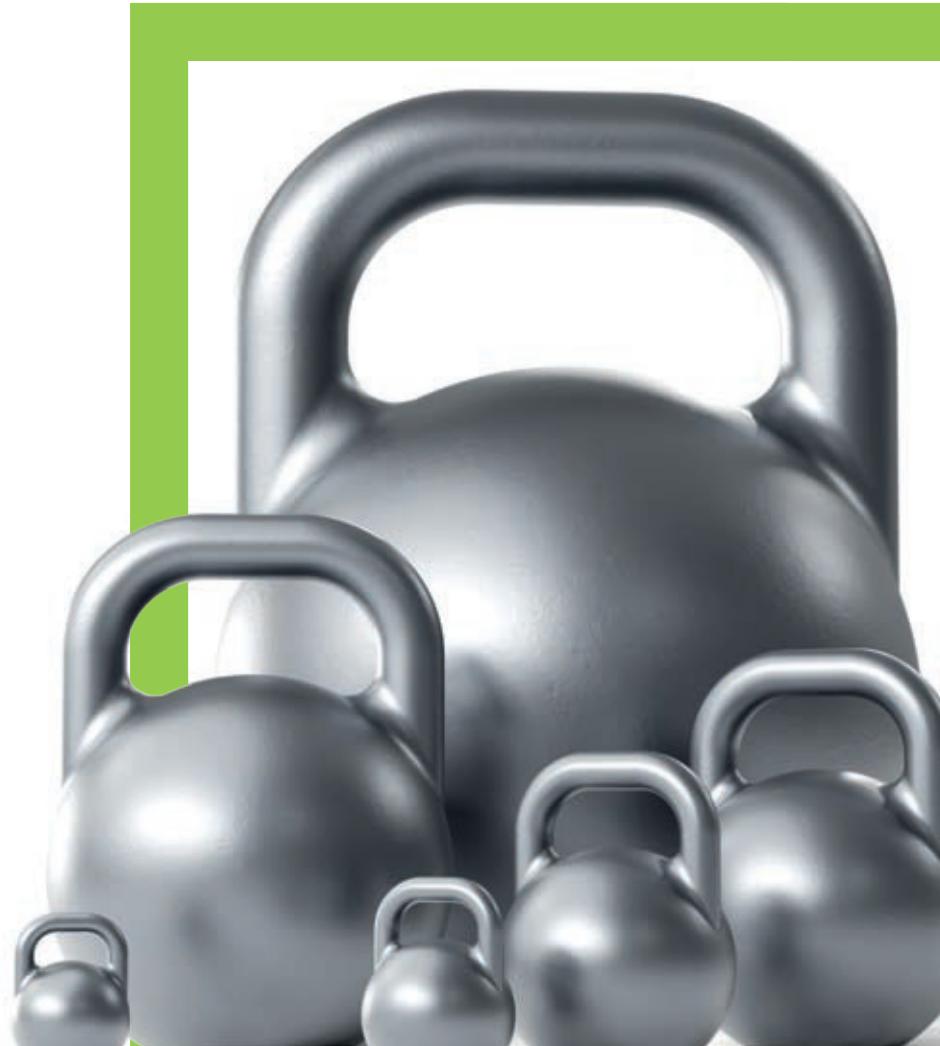
Возврат тары в контейнерную систему не является обязательным условием в отличие от полок в стандартной лифтовой системе хранения. Оператор может извлечь контейнер и переместить его на другой участок или оставить пустую тару для дальнейшего пополнения. □

Стремительный рост автоматизации и роботизации в складской логистике способствует улучшению и адаптации складского оборудования. Внедрение мобильных роботов, использование передовых конвейерных решений и интегрированного программного обеспечения позволяют удовлетворить растущие требования к скорости, точности и экономической эффективности. Контейнерная лифтовая система хранения является инновационным решением в этой области. Внедрение вертикальных систем позволяет полностью раскрыть потенциал складского хранения независимо от выбранного типа системы. Благодаря максимальному использованию вертикального пространства, оптимизации рабочих процессов и повышению производительности решения для вертикального хранения поднимут эффективность вашего склада на новый уровень.



Нам по силам ваши возможности

● ● ●



Решения любого масштаба

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

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

Честно, открыто, профессионально.

ostec-group.ru | info@ostec-group.ru | +7 (495) 788-44-44

ТЕХПОДДЕРЖКА

Паяльная паста. Готовим правильно!

Текст: Вячеслав Ковенский,
Роман Порядин



Паяльная паста – наиболее важный материал для качественной и стабильной пайки современных печатных узлов по технологии поверхностного монтажа. Технологи уделяют серьезное внимание её выбору и испытаниям, чтобы получить на линии нужный продукт, полностью отвечающий требованиям технологии и печатного узла. Казалось бы, выбрать подходящую паяльную пасту и обеспечить корректный техпроцесс – вот главные условия для стабильного качества пайки. В целом, так и есть, но все-таки малозначимые, на первый взгляд, детали могут серьезно отразиться на качестве и стабильности процесса поверхностного монтажа. В статье речь пойдет именно о таком вопросе – второстепенном и не избалованном вниманием технологов и операторов – о подготовке паяльной пасты к работе после ее хранения в холодильнике.

Для начала вспомним, как на практике специалисты на линиях поверхностного монтажа довольно часто готовят паяльную пасту к использованию. Вот примеры, которые мы встречаем у клиентов:

- Паяльную пасту достают из холодильника и сразу же помещают в миксер. Время перемешивания варьируется от 10 до 20 минут. Часто данная операция и температура нагрева пасты не контролируются.
- Использованную паяльную пасту после завершения смены убирают с трафарета в банку со свежей пастой и на следующий день опять перемешивают 15 минут при максимальных оборотах.
- Ставят банку с паяльной пастой греться на печь оплавления, на батарею или на другие теплые предметы.
- Перемешивают паяльную пасту металлическим строительным шпателем.
- Перемешивают паяльную пасту в миксере до 30 минут, пока о ней не вспомнят.

И при этом превалирует мнение, что после такой подготовки или при таком обращении паста будет отлично работать, сохраняя все свои свойства и характеристики. Да и вообще, не так это важно. Ничего с ней не случится.

Однако на практике это, конечно, не так. И неправильно подготовленная паяльная паста может стать веской и неожиданной причиной дефектов. Далее перечислены основные негативные последствия, которые могут возникнуть при неправильной подготовке пасты, недостаточном перемешивании или некорректном обращении с ней:

- **Перегрев пасты при длительном или чрезчур интенсивном перемешивании в миксерах**
 - Возможно нарушение модификаторов реологии. Сначала паста может сильно потерять вязкость, но вскоре резко начнет «подсыхать». Модификаторы реологии очень чувствительны к температуре и времени перемешивания. Это может проявиться в уменьшении срока жизни пасты на трафарете, в залипании пасты в апертурах и пропусках при печати, в плохом удержании формы отпечатка.
 - Возможен преждевременный старт активаторов, количества которых может не хватить при оплавлении пасты, так как некоторая их часть уже была потрачена при подготовке пасты. Из-за частичной потери активаторов активность пасты будет снижена, могут появляться «непропаянные соединения», плохое или неполное сшивание контактных площадок и выводов компонентов.



1

Локальный перегрев паяльной пасты (справа) и исходное состояние после нагрева до комнатной температуры (слева)

■ **Локальный перегрев паяльной пасты**

- Данный эффект возможен при расположении пасты на теплых объектах в помещении (печи, радиаторы, другие поверхности). Его основной изъян и причина проблем – локальный нагрев пасты. При этом может иметь место локальное истощение активаторов, неравномерный нагрев пасты, отсутствие нагревания пасты до нужной температуры в верхней части упаковки и т.д. Результат такой подготовки аналогичен предыдущему пункту, но по другим причинам, а именно – дефекты печати и оплавления паяльной пасты.

■ **Ухудшение характеристик пасты из-за перемешивания отработавшей пасты и свежей**

- В процессе использования пасты и ее нахождения на трафарете происходит испарение растворителя и истощение активаторов. После нескольких часов или смены нахождения паяльной пасты на трафарете ее реология, активность и количество активаторов существенно отличаются от свежей пасты. При перемешивании отработавшей пасты со свежей высока вероятность расходования активаторов свежей пасты на удаление окислов и пополнение истощенных активаторов. Как следствие, из хорошей свежей пасты получается средняя. Падает ее активность, нарушается реология и, соответственно, ухудшается качество пайки.

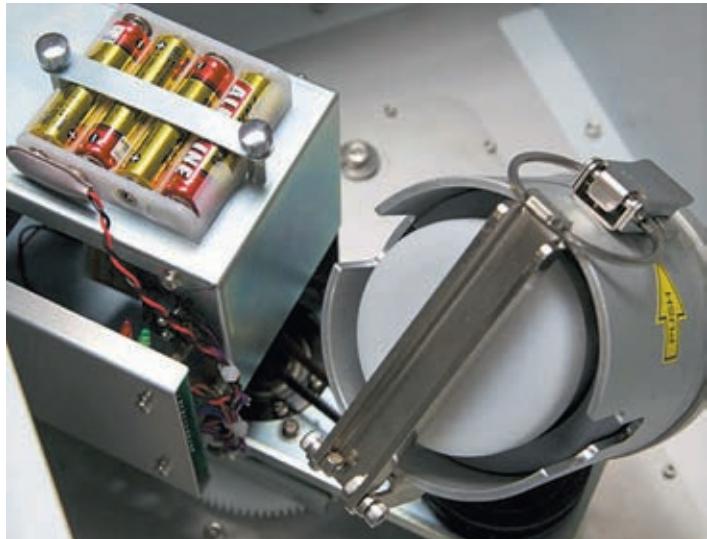
■ **Появление в пасте инородных загрязнений**

- При использовании металлических шпателей есть вероятность повреждения пластиковой банки острыми краями шпателя в процессе активного перемешивания. Как следствие, в пасте могут появляться пластиковая стружка или крошка, что, безусловно, может привести и к дефектам печати, и к дефектам оплавления пасты.



2

Результат перемешивания в миксере в течение 30 мин (справа) и ручного перемешивания (слева)



3

Подготовка паяльной пасты в миксере-центрифуге

Как же быть и что делать? Давайте разбираться

Существуют два основных способа подготовки/перемешивания пасты:

- при помощи миксера.
- вручную.

Для начала рассмотрим вариант подготовки/перемешивания миксером, так как его популярность достаточно высока.

Многие считают, что это лучший способ подготовки: «взял пасту из холодильника и сразу закинул ее в миксер. После того, как пропищал таймер или миксер остановился, – вынимай пасту и работай». Но нет... Для оптимальной подготовки пасты нужно учитывать три основных параметра:

1. Тип миксера
2. Время перемешивания
3. Скорость перемешивания

В зависимости от комбинации этих параметров пасту можно либо подготовить к работе хорошо, либо испортить. Разберемся...

Начнем с первого и, на наш взгляд, ключевого условия правильного и безопасного приготовления паяльной пасты. После хранения пасты в холодильнике категорически не рекомендуется сразу закидывать ее в миксер для нагрева и перемешивания. Такой подход ведет к чересчур быстрому нагреву пасты и преждевременному истощению активаторов, растворителей и модификаторов реологии. Поэтому перед использованием миксеров рекомендуется выдержать пасту при комнатной температуре в течение 2–8 часов. Это действительно важно. После нагрева пасты в помещении можно приступать к ее перемешиванию.

С высокой вероятностью найдется большое число специалистов, несогласных с нашей точкой зрения.

Они твердо убеждены, что наличие миксера исключает необходимость любых манипуляций вне миксера и, в том числе, предварительный нагрев пасты до комнатной температуры. Мы с такой позицией можем согласиться только при одном условии. Если вы твердо решили пасту из холодильника сразу греть и готовить в миксере, то нужно быть очень и очень аккуратными и внимательными при подборе параметров работы миксера.

Нужно подобрать такие скорости и такую длительность, чтобы исключить перегрев и обеспечить плавный разогрев пасты. Подбирать режим – значит измерять температуру и вязкость пасты в процессе и после перемешивания. Только после этого режимы можно утвердить. А поскольку вискозиметр Малкома к каждой мешалке поставить невозможно, то и точные параметры работы миксеров для надежной подготовки пасты после холодильника подобрать крайне затруднительно. И для каждого миксера, и для каждой пасты эти режимы будут индивидуальными.

Итак, теперь о миксерах

В основном наши производители электроники используют центрифуги с движением банки по окружности, при котором паста перемешивается под действием центробежной силы. При таком способе подготовки в случае чересчур длительного перемешивания еще и при большой скорости может происходить существенный перегрев, истощение растворителей и активаторов, повреждение шариков припоя с выделением мелкой фракции, а также распад флюсовой составляющей из-за сильного механического воздействия. Визуально после перемешивания кажется, что с пастой ничего не случилось.



4

Паяльная паста, подготовленная к работе вручную



5

Паяльная паста, готовая к использованию

Но через определенное время работы на трафарете многие сталкиваются либо с подсыханием валика паяльной пасты, либо наоборот – с растеканием пасты на печатной плате с образованием перемычек и замыканий.

Учитывая вышесказанное, при использовании центрифуг крайне важно контролировать продолжительность и интенсивность перемешивания пасты. По нашему опыту, важно обеспечивать скорость не более 300–400 об./мин и продолжительность перемешивания 2–3 минуты. И это обязательно при условии предварительного нагрева пасты до комнатной температуры. Дополнительным критерием для проверки готовности пасты к применению будет ее температура – важно исключить нагрев пасты выше 28 °C. Оптимальным будет температурный диапазон всего объема пасты от 20 до 28 °C.

Другим вариантом подготовки пасты являются миксеры с псевдо-планетарным движением, когда контейнер с пастой медленно поворачивается на конце коромысла, которое, в свою очередь, вращается с определенной угловой скоростью.

Такие миксеры являются более безопасным и деликатным для процесса подготовки пасты и позволяют равномерно перемешать пасту с существенно меньшим риском негативных последствий. При использовании псевдо-планетарного миксера также необходимо контролировать время перемешивания паяльной пасты, которую предварительно нужно обязательно нагреть до комнатной температуры. Время не должно превышать 2–3 минут, т.к. этого достаточно для полной гомогенизации пасты. При превышении данного времени возможен перегрев паяльной пасты выше 28 °C, что может повлечь за собой нарушение рео-

логических добавок, изменение вязкости и деградацию флюса.

Рекомендуемая скорость перемешивания при использовании псевдо-планетарного миксера – 300–400 об.\мин. Это не цифры, взятые «с потолка», а результаты исследований иностранных производителей, подтвержденные в нашей лаборатории. Крайне важно не превышать данную скорость, чтобы предотвратить появление негативных последствий.

Как итог: миксеры могут быть использованы для подготовки паст, но использовать их нужно аккуратно, чтобы исключить перегрев и деградацию паяльной пасты. И все же наиболее безопасный и деликатный способ подготовки пасты для максимального сохранения ее свойств – это подготовка без использования миксеров.

Давайте теперь обратимся к методу подготовки паяльной пасты вручную, а точнее – без использования миксеров. С одной стороны, этот способ более длительный и требует некоторых физических усилий. С другой, именно он обеспечивает деликатную и безопасную подготовку паяльной пасты к работе, исключая риски перегрева, деградации флюса или порошка припоя, истощения активаторов.

Итак, по порядку о подготовке пасты вручную:

1. После извлечения пасты из холодильника и перед открыванием ее следует нагреть до комнатной температуры. Стандартные рекомендации по времени нагрева составляют от 2 до 8 часов в зависимости от объема контейнера. Если охлажденную пасту сразу открыть при комнатной температуре, на поверхности может появиться конденсат, который приведет к осадке, закипанию и разбрзгиванию

флюса и/или пасты в процессе пайки, сдвигу компонентов и/или другим связанным с появлением конденсата технологическим дефектам.

2. Использовать нагревательный приборы не рекомендуется из-за опасности распада флюсовой составляющей в результате резкого повышения температуры и термоудара. Если все-таки быстрый нагрев необходим, то допускается использовать терморегулируемую водянную баню с температурой $\leq 25^{\circ}\text{C}$.
3. Перед выкладыванием на трафарет паяльную пасту следует перемешать для смешивания флюсовой и металлической составляющих, если произошло расслоение, и для снижения вязкости для комфорtnого нанесения пасты на поверхность трафарета.
4. Для перемешивания и выкладывания пасты на трафарет рекомендуется использовать пластиковый инструмент (шпатель) со скругленными краями – перемешивание в одном направлении в течение 2–3 минут.
5. Теперь паста готова к использованию. Можно смело выкладывать ее на трафарет и запускать процесс печати.

Следуя перечисленным рекомендациям, можно обеспечить корректную подготовку паяльной пасты к работе вручную и исключить возможные негативные последствия, описанные выше.

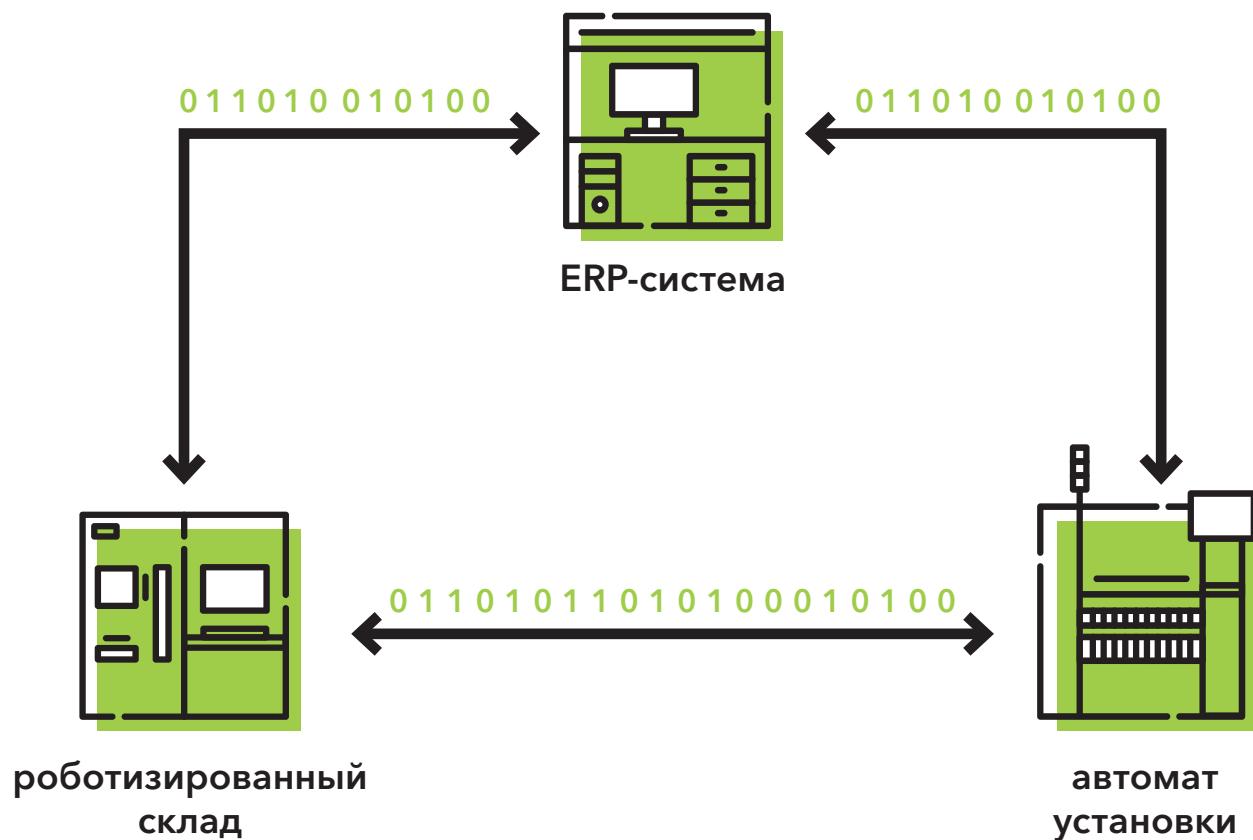
В статье мы рассмотрели практику правильной подготовки паяльной пасты к работе и рекомендуемые нами режимы, основанные на сотнях встреч с клиентами и учитывающие ситуации на производствах нашей страны. Конечно, автоматизация или механизация упрощает или ускоряет процессы работы. Но в случае с паяльной пастой ценой такого ускорения или упрощения могут стать дефекты печати или пайки, чего нам всем хочется избежать.

Следуйте нашим рекомендациям, готовьте паяльную пасту правильно, и мы вместе сделаем еще один шаг к повышению качества и эффективности сборки печатных узлов в нашей стране.



Склад 4.0

Комплексное решение
для цифрового сборочного производства



Узнать больше

Соответствие концепции «Индустрися 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.

Ключевые этапы

Текст: Сергей Морозов

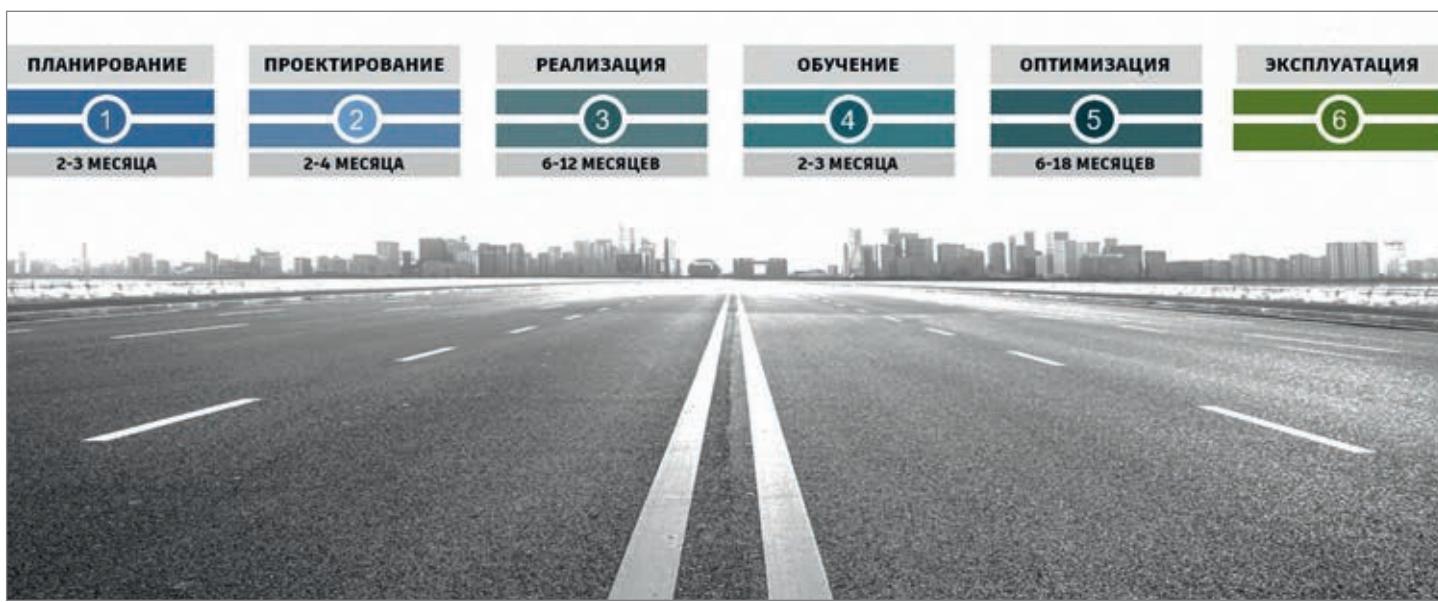
Продолжаем обзор, посвященный ключевым этапам и нюансам создания современного высокотехнологичного производства (начало в журнале «Вектор высоких технологий» № 2 (60), 2024).

Итак, проект построения производства можно условно разбить на пять этапов: Планирование, Проектирование, Реализация, Реализация, Обучение, Оптимизация. Давайте

детально разберем каждый из них, а также отдельно остановимся на Эксплуатации.

Этап 1. Планирование

Создание любого производства необходимо начинать с подготовки. Назовем этот этап «планированием». Этот этап включает решение следующих задач:



1. Сформировать команду.
2. Собрать исходные данные.
3. Разработать концепцию будущего производства.
4. Выбрать площадку под производство.
5. Сформировать бюджет проекта и посчитать экономику.
6. Дать формальный старт проекту с помощью Устава проекта.

Этап планирования – один из самых ответственных, от него будет зависеть успешность проекта, ошибки здесь устраним гораздо проще и легче, чем в процессе реализации. Цена устранения ошибок значительно ниже, чем на этапе реализации.

1. Команда

Первая задача – формирование команды. Она должна состоять из людей, нацеленных на результат, скорость и эффективность. Нужно проанализировать роли и обязанности, необходимые для успешного выполнения проекта, применительно к создаваемому производству. Рекомендуемый принцип: со стороны заказчика и всех участвующих подрядчиков создаются группы, в которых назначают ответственных по направлениям в проекте. Со стороны заказчика должен быть назначен Руководитель проекта, который будет отвечать за общую координацию деятельности всех участников.

В состав команды должны входить специалисты по финансам и инвестициям, технологии, конструкторы, ведущие инженеры по направлениям радиоэлектроники, ИТ-специалисты, проектировщики по строительству и инженерным коммуникациям. Один из ключевых критериев выбора участников – опыт и навыки работы в команде, способность к сотрудничеству, навыки уважительного общения.

2. Исходные данные

Следующая задача – сбор исходных данных по собираемому изделию. Все последующие этапы по созданию производства определяется тем изделием, которое будет собираться. Очень часто бывает так, что у заказчиков есть только общее понимание о том, что будет производиться. Есть желание построить завод, но нет даже прототипа будущего изделия. Бывают случаи, когда на старте проекта планируется создание одного продукта, а когда проект строительства производства уже на стадии завершения – продукт кардинально меняется.

Для каждого из проектов нет какого-то единого рецепта, как поступать в таких случаях, но есть понимание, что производственная линия и производственные процессы должны строиться максимально универсальными – насколько это возможно. Хотя нельзя построить абсолютно универсальную линию, но можно определиться с группой возможных выпускаемых изделий



и уже под них проектировать линию. Диапазон характеристик позволяет подобрать максимально возможное универсальное решение, либо прийти к необходимости создания нескольких, принципиально разных производственных линий.

Как пример исходных данных, влияющих на выбор технологического оборудования, можно назвать:

- количество компонентов в изделии;
- габариты печатных плат;
- вид упаковки компонентов (лента, пенал, россыпь);
- количество типов изделий;
- количество типономиналов компонентов;
- количество выпускаемых изделий в год;
- тип применяемой паяльной пасты (свинцовая или бессвинцовая);
- наличие штыревых компонентов;
- размеры применяемых компонентов;
- необходимость нанесения влагозащитного покрытия.

Необходимо осуществить проверку конструкторской документации, провести проверку и корректировку изделия на технологичность, продумать технологические процессы изготовления изделия. Процессы технологии влияют на выбор технологического оборудования, которое, в свою очередь, влияет на архитектурную планировку производства и инженерные системы помещений, а также взаимоувязаны с технологическими маршрутами.

3. Концепция производства

Далее можно переходить к разработке концепции производства. Для ускорения разработки необходимо обратиться к объектам-аналогам и взять из них наиболее важные аспекты. Именно с этого момента имеет смысл применять метод «прогрессивного джипега», который заключается в том, что в любой момент времени у нас есть полноценный проект будущего производства, хотя проработанность его в деталях в начале минимальная.

Концепция должна ответить как минимум на следующие вопросы:

- Какую ориентировочную площадь будет занимать производственная площадка?
- Какая электрическая мощность потребуется для производства?
- Какое количество персонала будет необходимо?
- Какая ориентировочная стоимость реализации производства?

4. Производственная площадка

После разработки концепции можно переходить к поиску производственной площадки. Важно отсмотреть несколько вариантов. Сравнение необходимо выполнить по ряду ключевых параметров и критериев, вес и значимость которых для разных проектов могут быть разными.

Ключевые критерии для поиска – это:

- Производственная площадь:
 - › высота помещения;
 - › допустимая нагрузка на пол и перекрытия;
 - › возможность построить мезонин;
 - › антистатика пола.
- Энергоснабжение:
 - › категория надежности;
 - › выделяемая мощность;
 - › возможность увеличения мощности.
- ОВиК (отопление, вентиляция, кондиционирование):
 - › класс энергоэффективности здания;
 - › температурно-влажностный режим в здании согласно проекту;
 - › возможность модернизации системы.
- Транспортная доступность:
 - › транспортная доступность для персонала;
 - › наличие парковочных мест;
 - › удобство погрузки\разгрузки.

5. Экономика проекта

Если речь идет о коммерческой деятельности создаваемого предприятия, то ее ключевая цель – получение прибыли. И, прежде чем что-то строить, нужно посчитать экономику и понять, будет ли доходным бизнес. Но даже если речь идет о строительстве государственного завода, без бюджетирования такой проект просто не запустится. Государство заинтересовано, чтобы получить отчет за каждый потраченный рубль.

Учитывая, что проект строительства – это долгий процесс, финансовая модель планирования чаще формируется, исходя из ограничения производственных мощностей, и в основе лежит логика «продать все, что максимально можем произвести». Планирование строится, с одной стороны, от доходов за определенный период. Понятно, что этот период разумный инвестор будет рассматривать в горизонте не более трех-пяти, максимум десяти лет – период жизни продукта и востребованностью его рынком. С другой стороны, планирование определяется затратами на строительство, и чем они ниже, тем быстрее срок окупаемости.

Ключевые моменты, на которые стоит обратить внимание при финансовом планировании:

- Затраты необходимо рассматривать в разрезе капитальных затрат (CAPEX) и операционных расходов (OPEX). Важно изучить соотношение CAPEX\OPEX. Можно на старте сэкономить на технологическом оборудовании и инженерии (CAPEX), построить завод в глухи, а потом нести существенные затраты на его обслуживание (техобслуживание, энергоснабжение, персонал) (OPEX).
- Внимательно отнесись к проблеме оборотного капитала. Спрогнозировать риски кассовых разрывов.
- Сделать корректный расчет удельных затрат на выпуск единицы продукции в зависимости

от продолжительности выпуска и суммарного количества продукции. Определить точку эффективности.

Итогом работы с цифрами должен стать адекватный инвестиционный план строительства производства, в состав которого обязательно должны быть включены БДР (бюджет доходов и расходов) и БДС (бюджет движения денежных средств).

6. Устав проекта

Для относительно крупных проектов с большим количеством участников желательно разработать Устав проекта. Это документ, описывающий суть и цели проекта – определяет роли и границы ответственности участников, задает общий план и показывает ключевые вехи, прогнозирует возможные риски, дает укрупненные показатели бюджета. Таким образом, Устав проекта должен консолидировать высокоуровневые результаты планирования.

Примерный состав структуры документа «Устав проекта» может быть следующим:

- Общие положения.
- Цели и определение проекта:
 - цели и задачи проекта;
 - исходные данные;
 - результат проекта;
 - основные вехи проекта;
- План проекта.
- Организация проекта и распределение обязанностей:
 - организационная структура проекта;
 - роли и функции участников проекта.
- Ресурсы проекта:
 - временные ресурсы;
 - финансовые ресурсы;
 - человеческие ресурсы.
- Система управления проектом:
 - оперативное планирование;
 - анализ реализации;
 - управление изменениями.
- Риски.
- Контакты.

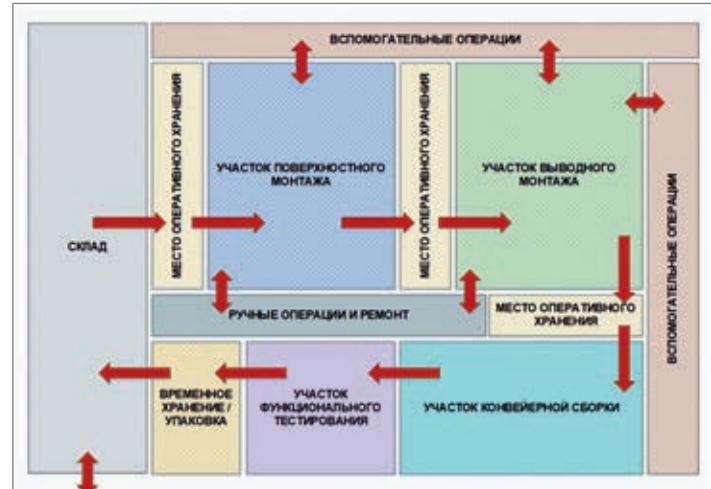
Устав формально запускает проект и наделяет руководителя проекта определенным уровнем полномочий.

Этап 2. Проектирование

После этапа планирования необходимо перейти к вопросу проектирования и проработки основных технологических моментов производства, которые нужно учесть при реализации проекта. Последовательность планирования и проектирования производства определяется тем изделием, которое будет собираться.

Основные этапы:

- Определение технологических процессов.
- Планировка помещений.
- Проектирование инженерной инфраструктуры.



3

Процесс построения производства

- Проектирование ИТ-инфраструктуры.
- Проектирование штатной структуры.

1. Определение технологических процессов

Процесс построения производства – масштабен.

Для этого должен быть детально продуман весь производственный процесс, включающий как основные, так и вспомогательные процессы: изготовление продукции, складирование, транспортировка, ремонт и т. д. Правила разработки техпроцессов определены в рекомендациях Р50-54-93-88. В соответствии с этими правилами разработка техпроцесса состоит из последовательности этапов, набор и характер которых зависят от типа запускаемого в производство изделия, вида техпроцесса, типа производства.

Например, для участка СМТ процесс может состоять из следующего перечня процессов:

- складирование;
- входной контроль;
- маркировка;
- печать паяльной пастой;
- верификация и оптический контроль;
- размещение компонентов;
- пайка оплавлением;
- отмыка;
- сборка;
- ремонт.

Для каждого процесса определяется необходимое технологическое и производственное оборудование. Каждый из этих процессов определяет соответствующую функциональную зону и последовательность перемещения изделия между ними (технологические потоки). Одна из важных задач на этапе проектирования – выявить все необходимые функциональные зоны и маршруты перемещения. Также на этом этапе рождается спецификация оборудования. Причем необходимо понимать, что закупаемое оборудование редко быва-

ет типовым – часто оно глубоко кастомизированное, с большим набором опций под определенные задачи производства.

2. Планировка помещений

Производство радиоэлектроники может строиться с нуля в чистом поле, а может использовать уже существующие помещения, на которых ранее размещались совсем иные производства. В первом случае планировку можно запроектировать сразу максимально корректно, учитывая всех необходимые процессы, во-втором же случае необходимо приспособливать существующие площади и приспосабливаться к имеющейся инженерной инфраструктуре.

На данном этапе проектирования осуществляется привязка функциональных зон и оборудования к планировке будущего производства. На план наносятся технологические потоки. Размещение функциональных зон корректируется таким образом, чтобы оптимизировать потоки, сократить пути перемещения материалов, изделий, исключить или уменьшить количество пересечений потоков между собой.

Примерами потоков могут служить:

- Перемещение комплектующих со склада на сборочный участок;
- Перемещение печатного узла на верификацию и ремонт;
- Перемещение плат и трафаретов на отмывку;
- Перемещение изделия на склад готовой продукции.

3. Проектирование инженерной инфраструктуры

После того, как определена спецификация оборудования, появится определенность с его местом размещения на плане, уже можно переходить к следующему этапу – проектированию инженерной инфраструктуры. Это деление на этапы является условным. Архитектурно-строительная планировка, размещение технологического оборудования (станки) и размещение инженерного оборудования (вентиляция, электроснабжение, слаботочные сети и т. д.) взаимоувязаны и влияют друг на друга. Происходит большое количество итераций, чтобы прийти к относительно финальной версии планировки. По опыту реализации проектов можно сказать, что внесение изменений в размещение оборудования происходит вплоть до запуска производства. С этим, к сожалению, ничего нельзя поделать, и основная задача – минимизация затрат на такие корректировки.

На этапе проектирования инженерии предусматривают зоны, защищенные от электростатических разрядов, разрабатывают решения, обеспечивающие контроль запыленности и определенные температурно-влажностные параметры помещений. Основные разделы проектирования, которым необходимо уделить внимание с точки зрения производства – это электроснабжение,

воздухоснабжение, газоснабжение, слаботочные (компьютерные) сети.

Для разработки проектной документации составляют таблицы с параметрами потребностей в инженерной инфраструктуре (задания на проектирование). По каждой единице технологического оборудования определяют требования к напряжению, мощности, потреблению сжатого воздуха, производительности вытяжной вентиляции, потреблении азота, необходимости подключения к компьютерной сети. На основе таких таблиц проектировщики выполняют проектирование отдельных разделов проектной документации (ЭОМ, СКС, ОВиК и т. д.)

4. Проектирование ИТ-инфраструктуры

Мы вступили в век Индустрии 4.0. И если раньше заказчику для запуска производства было достаточно найти какое-то помещение и поставить несколько разрозненных станков, то теперь жизненно необходимый элемент проекта – это ИТ-инфраструктура и информационная сеть, связывающая между собой все технологическое оборудование. Проектирование такой инфраструктуры напрямую зависит от возможностей оборудования и используемого программного обеспечения.

ИТ-инфраструктура состоит из серверов, компьютеров (рабочих станций операторов), хранилищ данных, сетевых коммутаторов, Wi-Fi точек доступа. Параметры и требования к каждой единице ИТ-оборудования также определяют заранее, формируют заказные спецификации. Все это оборудование будет необходимо в дальнейшем в момент запуска и наладки технологической линии. Взаимосвязь всех компонентов ИТ-инфраструктуры прорабатывается на схеме «локальной вычислительной сети» (ЛВС). Например, такое представление схемы помогает запроектировать компьютерную сеть (проект СКС), показать, как будут прокладываться компьютерные кабели, как будут размещаться коммутаторы, и группироваться ИТ-оборудование.

Также необходимо запроектировать представление, которое позволит определиться с делением сети на подсети для обеспечения производительности и безопасности. Необходимо понимать, что объем трафика, который перемещается по сети, например, только от одной оптической инспекции к серверу базы данных, может достигать около 1 Гб в минуту.

5. Проектирование штатной структуры

Кадровый состав по участкам определяется технологией производства, и поиском персонала, его обучением необходимо озабочиться еще до момента запуска производства. Так как процесс реализации проекта достаточно продолжительный во времени и может занимать год и более, то не всех сотрудников нужно нанимать сразу одномоментно, но будет правильным, разбить прием специалистов на определенные этапы. Так, на первом этапе, на старте проекта в обязательном порядке должны быть наняты главный технолог производства

т 1

Пример распределение персонала по участкам

№ П/П	НАИМЕНОВАНИЕ ДОЛЖНОСТИ	ЗАДАЧИ	КОЛИЧЕСТВО ЧЕЛОВЕК
Склад комплектующих			
1	Начальник склада	Руководство складом, распределение работ	1
2	Комплектовщик	Прием комплектующих, комплектование производственных заказов, ведение учета комплектующих	3
Участок входного контроля комплектующих			
3	Контролер	Визуальный контроль комплектующих	2
Участок поверхностного монтажа			
4	Начальник участка	Руководство цехом, распределение работ	1
5	Технолог производства	Технологическая поддержка цеха	1
6	Линейный инженер	Написание управляющих программ, отладка управляющих программ	2
7	Оператор линии	Переоснащение производственного оборудования, осуществление контроля качества нанесения паяльной пасты, осуществление контроля качества монтажа, исправление дефектов поверхностного монтажа	3
8	Оператор инспекции	Написание управляющих программ для АОИ, отладка управляющих программ, осуществление оптического контроля качества монтажа	1
9	Контролер монтажа	Контроль качества монтажа	1
Участок отмычки			
10	Оператор установки отмычки	Загрузка/выгрузка печатных узлов в установки отмычки и сушильный шкаф, контроль качества отмычки, разделение групповых заготовок	1
Участок контроля, настройки и ремонта			
11	Регулировщик РЭА	Настройка, регулировка, тестирование, ремонт ПУ	2
Административный персонал			
12	Экономист	-	1
13	Инженер-нормировщик	-	1
14	Уборщик помещений	-	1

и начальник участка, на втором этапе, ближе к старту производства – ключевые инженеры по направлениям, а затем – вспомогательный персонал. Для примера в **1.1** показано распределение персонала по участкам.

Необходимо очень внимательно отнестись к выбору персонала и оптимизации его численности. Существуют проблемы с квалификацией монтажников, происходит смена поколений, люди с большим опытом, полученным еще на советских производствах, уходят. А на смену им часто прийти некому: подготовка монтажников в учебных заведениях среднего специального образования, к сожалению, пока у нас не восстановлена до достаточного для современной промышленности уровня.

В России до сих пор остается довольно большое количество предприятий, где значительное число технологических процессов выполняется вручную. Этому способствует и относительно низкая стоимость ручного труда в России. В силу замедленного процесса автоматизации производственных процессов, эффективность современного производства пока далека от оптимальной. Это вызвано низкой степенью управляемости, непрозрачностью и хаотичностью производственных процессов в условиях недостатка времени. Процесс цифровизации предприятий происходит очень медленно. Красивые картинки и презентации, которые появляются на различных конференциях и форумах, далеки от российской реальности.

Эффективность ручного труда не прозрачна. Эти операции из-за влияния человеческого фактора становятся источником потенциальных дефектов и потерь, влияющих на общую производительность и эффективность. В случае со станком понятно: если он исправен, и управляющая программа написана корректно, то результат будет прогнозируемым. В ручной работе это, конечно, не так. Поэтому важной задачей является «цифровка» работы монтажников, настройщиков и контролеров.

Автоматизация ручного труда остается актуальной по сей день и в перспективе десятка лет точно. Это типично российская проблема, которая так остро не стоит нигде в мире. Но нельзя забывать, что изделия становятся все сложнее, а компоненты мельче, в особенности в наиболее высокотехнологичных изделиях. Монтаж таких мелких компонентов (0201 и 01005) уже невозможно выполнять вручную в массовом производстве. Поэтому с усложнением изделий доля автоматизированной сборки на российских предприятиях будет расти.

Этап 3. Реализация проекта

После фазы проектирования начинается фаза реализации проекта. Она состоит из следующих основных этапов:

1. Планирования реализации. Формирования графика.

2. Закупка оборудования и материалов.
3. Проведение строительно-монтажных работ, подготовка инженерной инфраструктуры.
4. Монтаж технологического оборудования.
5. Пусконаладочные работы.
6. Обучение персонала.
7. Выпуск изделия. Отработка технологии.
8. Запуск производства.

1. Планирование реализации. Формирование графика

Основная цель планирования – уход от хаоса и переход к определенной системе. Ответственным за составление сводного графика должен быть руководитель проекта от заказчика. При составлении такого графика он должен понимать, что могут быть временные отклонения, которые необходимо учитывать. Составление графика необходимо начинать с деления проекта на этапы. Важно определить перечень действий, работ, их последовательность и длительность, установить между ними взаимосвязи. При этом необходимо учесть специфику технологии, определить степень доступности ресурсов. Далее нужно выявить наличие внешних ограничений. Например, в настоящее время существуют значительные проблемы с логистикой поставляемого из-за рубежа оборудования. Ранее были ограничения с проведением работы из-за пандемии. Все потенциальные риски должны быть спланированы, необходимо предусмотреть временные запасы по всем ключевым видам работ.

Общероссийский опыт показывает, что обычно создаются два вида графиков – для инвесторов (заказчиков) и для исполнителей. Исполнителям задают заведомо невыполнимые условия и сроки, эти графики постоянно срываются, но в итоге все приходит к тому, что базовый график для заказчика оказывается выполненным близко к запланированным срокам. Впрочем, как показывает практика, аналогичный подход наблюдается у многих иностранных компаний, которые также используют понятие внешнего и внутреннего графиков.

Если же говорить о реальных сроках строительства крупного производства, то примерно 3–6 месяцев уходит на формирование и защиту инвестиционного проекта, полгода–год – на проектирование, причем проектирование часто идет параллельно строительству и поставке оборудования, примерно год–два занимает само строительство (с нуля) и еще примерно полгода – монтаж, наладка и запуск производства. Таким образом, в самом лучшем случае полный цикл проекта от старта до запуска первого изделия составляет 1,5–2 года с учетом того, что часть этапов выполняются параллельно.

2. Закупка оборудования и материалов

Еще буквально год назад процесс закупки был относительно простым и понятным. Определился с техно-

логией, рассмотрел варианты оборудования, провел детальный анализ, поторговался по цене и срокам поставки и можно запускать в закупку. Сейчас же, с учетом политической ситуации в стране, процесс закупки оборудования, материалов, комплектующих для радиоэлектроники, становится абсолютно не тривиальной задачей. Европейские поставщики больше не готовы поставлять свое оборудование, а выбор китайских производителей – это всегда большая лотерея, т.к. заявленные характеристики очень часто при проверке не соответствуют обещаниям.

Вывод здесь можно сделать только один – доверять поставку только опытным, проверенным и ответственным поставщикам в России, которые смогут взять на себя все риски поставки оборудования и материалов, которые бы отвечали требованиям по созданию производства мирового уровня.

3. Проведение строительно-монтажных работ, подготовка инженерной инфраструктуры

На данном этапе реализации проекта необходимо максимально уделить время координации работы всех участников, чтобы не получилось так, что в понимании строителей готовность участка – это наличие пола, потолка, покрашенные стены, но нет никаких инженерных коммуникаций и в помещении температура около нуля градусов.

Допустимо, если к началу следующего этапа по монтажу оборудования будут хотя бы какие-то временные инженерные системы: временное электроснабжение и освещение, мобильный компрессор для обеспечения сжатым воздухом, временная компьютерная сеть и доступ к серверам. Но для старта изготовления первой единицы изделия уже требуется полноценно работающая, постоянная инженерная инфраструктура. В любом случае, особое внимание необходимо уделить электроснабжению. Для подключения дорогостоящего технологического оборудования оно в обязательном порядке должно быть подведено через ИБП или хотя бы через стабилизаторы питания.

4. Монтаж технологического оборудования

Этот этап занимает относительно мало времени и может занимать 1–2 месяца в зависимости от масштаба производства. Этап начинается с отгрузки и перемещения оборудования непосредственно на объект, распаковки, приемки и проверки комплектации. Затем идет процесс привязки места размещения технологических линий в соответствии с чертежами к конкретному помещению. Точки привязки обычно идут к несущим конструкциям здания (колоннам, стенам). Процесс относительно прост, но важно, чтобы размещение было согласовано всеми ответственными лицами, т. к. любая последующая передвижка может занимать значительное время и работу очень многих специалистов (как инженеров по оборудованию, так и смежных специалистов



4

Подготовка помещения

по инженерным системам). Оборудование расставляется точно по уровню в единую линию. Допуск по отклонению – минимальный, и ошибки могут в дальнейшем приводить к заклиниванию изделий на конвейере. После расстановки оборудования в линию к нему в соответствии с запроектированными решениями подводятся по постоянной схеме все необходимые инженерные коммуникации. Количество различных труб и проводов – значительное. Как правило, коммуникации подводятся с потолка.

5. Пусконаладочные работы

Пусконаладочные работы, как правило, производят по заранее написанной и согласованной программе приемо-сдаточных испытаний. Это достаточно «увесистый» документ, в котором подробно описана методика испытаний. В начале описывается проведение индивидуальных испытаний технологического оборудования (т 2).

Затем определяются целевые показатели, на которые должно выйти производство. Например, выпуск 100 собранных печатных плат одного типа на линии поверхностного монтажа с качеством в соответствии с требованиями стандарта IPC-A-610 «Критерии приемки электронных сборок» за определенное количество времени.

6. Обучение персонала

О необходимости подбора персонала до начала непосредственно запуска цикла производства уже было упомянуто. На данном этапе этот персонал должен быть обучен работе на том оборудовании, которое было установлено в рамках проекта. Подразумевается, что обучение должен проходить персонал, который имеет базовый опыт и знания работы в сфере радиоэлектроники и поверхностного монтажа.

7. Выпуск изделия. Отладка технологии

Крайне важный и, в некоторых проектах, длительный этап, на котором производят выпуск пробной партии изделия. Внедрение нового технологического процесса

Т 2

Проведение индивидуальных испытаний технологического оборудования

№ п/п	ОБЪЕКТ ИСПЫТАНИЯ	ВИД ИСПЫТАНИЯ	МЕТОДИКА ПРОВЕРКИ, КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ	КРИТЕРИИ УСПЕШНОСТИ ПРОВЕРКИ
1	2	3	4	5
1. Системы хранения Склад 4.0				
1.1	Станция регистрации компонентов	Проверка работоспособности оборудования	Включить оборудование. Запустить демонстрационный режим работы оборудования	В деморежиме работы без сбоев
		Проверка выполнения основной функции оборудования	Камера, вместе с соответствующим программным обеспечением распознает всю информацию, указанную на этикетке катушки, и автоматически создает уникальный идентификационный код	Код создан, данные о катушке с компонентами в БД
1.2	Интеллектуальная система хранения компонентов	Проверка работоспособности оборудования	Включить оборудование. Запустить демонстрационный режим работы оборудования	В деморежиме работы без сбоев
		Проверка светодиодной индикации ячеек, контроль температуры и влажности системы	Визуальный контроль светодиодной индикации ячеек системы хранения, визуальный контроль параметров температуры и влажности	Параметры соответствуют технической документации системы
1.3-1.4	Интеллектуальная система хранения компонентов	Проверка работоспособности оборудования	Включить оборудование. Запустить демонстрационный режим работы оборудования.	В деморежиме работы без сбоев
		Проверка запроса, выдачи и учета компонентов	Визуальный контроль	Соответствие числа и типа выданных компонентов запросу
2.2	Принтер трафаретной печати	Проверка работоспособности оборудования и функций оборудования	1) Смена монтажных рам и установка трафарета 2) Настройка ширины конвейера 3) Размещение поддержек 4) Нанесение пасты на трафарет, настройка системы контроля валика пасты 5) Нанесение пасты на ПП 6) Принтер трафаретной печати должен обеспечивать более высокую производительность, чем последующее оборудование в линии	Работа без сбоев с заявленными параметрами
		Оценивается качество нанесения паяльной пасты в соответствии с критериями	Визуальный контроль, с использованием микроскопа, на плате с нанесенной паяльной пастой	Качество нанесения паяльной пасты на печатную плату должно соответствовать требованиям стандартов IPC- 7527

Т 3

Распределение персонала по видам выполняемых задач и зонам ответственности

№	ГРУППА ПЕРСОНАЛА	ОБЛАСТЬ ОТВЕТСТВЕННОСТИ
1	Оператор	Эксплуатация оборудования
2	Программист	Составление рабочих программ на оборудовании
3	Технолог	Отладка технологии сборки изделий
4	Обслуживающий персонал	ТО оборудования (ежедневное, еженедельное, ежемесячное), диагностика и ремонт

всегда вызывает сложности. Это связано с подбором совместимых материалов и технологических процессов. Ошибочный выбор технологических режимов приводит к резкому росту количества дефектов, которые могут, например, стать причиной отказа изделия в процессе эксплуатации. Увеличение количества бракованных изделий значительно повышает затраты на производство, снижая показатели эффективности всего процесса. Отработка технологии полезна тем, что способствует снижению уровня дефектов, повышению качества и надежности продукции, оптимизации всего технологического процесса.

8. Запуск производства

Это завершающий этап проекта. После него начинается процесс эксплуатации и массового производства продукции. Специалисты все больше погружаются в новые технологические процессы, количество брака снижается, скорость и качество производства начинает выходить на плановые показатели ОEE.

Этап 4. Обучение

Для организации обучения необходимо решить следующие вопросы:

- Определить группы персонала.
- Составить программу обучения.
- Подготовить тестовые комплекты плат, материалов и компонентов.
- Организовать процесс видеозаписи обучения.

1. Группы персонала

На этапе проектирования мы определили должности и выполняемые персоналом задачи на производстве. Теперь нам необходимо сгруппировать персонал по видам выполняемых задач и зонам ответственности на производстве (**Т 3**).

2. Программа обучения

График обучения определяется доступностью групп персонала и возможностью проходить параллельное обучение. Часто одни и те же люди входят в разные группы, и тогда график приходится делать последовательным и растягивать процесс обучения.

Программа обучения определяется типом оборудования и степенью подготовленности персонала. Обучение по работе с конкретной единицей оборудования должно включать:

- общий обзор оборудования и принципов работы;
- детальную практику по работе с оборудованием с учетом специфики производства конкретного заказчика;
- рассказ о возможном дополнительном функционале;
- технику безопасности;
- регламенты ежедневного и еженедельного обслуживания;
- регламенты проведения ТО;
- систему диагностики и самодиагностики оборудования;
- методы калибровки.

Для неподготовленного персонала может потребоваться обучение базовым знаниям, основам в предметной области, основам технологии поверхностного монтажа.

3. Подготовка материалов

Необходимо определить вид и количество собираемых изделий. Исходя из этого подобрать ресурсы для реализации. Примером ресурсов могут служить:

- CAD-данные на изделие, схемы принципиальные в бумажном или электронном виде, перечень элементов.
- Компоненты в достаточном количестве и запас на технологический отход, для сборки изделий в требуемом количестве.
- Трафареты на изделие, которые должны соответствовать CAD-данным и утвержденному технологическому процессу по сборке изделия.
- Печатные платы.
- Паяльная паста, которая должна соответствовать утвержденному технологическому процессу по сборке изделия.
- Жидкость для отмычки трафарета.
- Рулоны бумаги для протирки трафарета.
- В зависимости от технологии сборки изделия может понадобиться клей для нанесения в ручном/автоматическом режиме.

4. Видеозапись обучения

Обучение в группах проводится, как правило, однократно, а необходимость вернуться к изученному материалу, чтобы с учетом производственного опыта найти полезные моменты в лекциях или обучить новых сотрудников, возникает достаточно часто. В связи с этим рекомендуется провести видеозапись процесса обучения, которое происходит в ре-

альных производственных условиях, на станках и изделиях конкретного заказчика.

Есть различные варианты проведения видеосъемки:

- Максимальный вариант – ежедневная съемка каждого дня обучения. В каждой точке съемки используется две камеры, записывается голос обучающего (петличка) и голос обучаемых (отдельный микрофон). Отдельно записывается видео происходящего на компьютере станка (средствами специализированного программного обеспечения).
- Промежуточный вариант – снимаются только определенные сюжеты из графика обучения. В обязательном порядке записывается только голос обучающего. Отдельно записывается видео происходящего на компьютере станка (средствами специализированного программного обеспечения).
- Минимальный вариант, когда вся съемка ведется «как получится» на мобильные телефоны обучаемых.

Монтаж видео делают в зависимости от возможностей и бюджета. Заранее нужно предусмотреть место для видео на сетевом хранилище организации, которое в дальнейшем будет доступно для сотрудников.

Этап 5. Оптимизация

Крайне важный и, в некоторых проектах, длительный этап, на котором производиться выпуск пробной партии изделия. Внедрение нового технологического процесса всегда вызывает сложности. Это связано с подбором совместимых материалов и технологических процессов. Ошибочный выбор технологических режимов приводит к резкому росту количества дефектов, которые могут, например, стать причиной отказа изделия в процессе эксплуатации. Увеличение количества бракованных изделий значительно повышает затраты на производство, снижая показатели эффективности всего процесса. Отработка технологии полезна тем, что способствует снижению уровня дефектов, повышению качества и надежности продукции, оптимизации всего технологического процесса.

Рассмотрим с помощью каких методов можно оптимизировать работу производства.

1. Отладка технологии

Оптимизация технологического процесса должна происходить постоянно – нет предела совершенству. Чтобы отладить технологические процессы и повысить эффективность производства необходимо:

Собрать информацию по ключевым показателям, чтобы в дальнейшем проанализировать их с помощью методов статистического анализа и контроля. В качестве ключевых показателей могут выступать такие параметры, как: производительность, качество продукции, затраты на материалы и оборудование, время выполнения заказа.

- Собрать данные о работе оборудования и времени простоев для последующего анализа.
- Настроить контроль качества продукции: использо-

зование статистических методов для контроля качества продукции позволяет выявлять и устранять проблемы на ранних стадиях производства, что снижает затраты на исправление дефектов в дальнейшем.

- Подобрать технологические режимы для каждой единицы оборудования с учетом особенностей технологических и базовых материалов.
- Оптимизировать расходы технологических материалов и, как следствие, обеспечить снижение производственных затрат.

2. Отладка поставки и логистики

Для оптимизации логистики на производстве можно использовать следующие методы:

- Внедрить WMS-систему управления логистикой, позволяющую отслеживать движение материалов и продукции на складах в реальном времени.
- Разработать оптимальные маршруты перемещение материалов и продукции.
- Улучшить координации между отделами производства и логистики.
- Оптимизировать управление запасами и складированием.

3. Провести необходимое обучение персонала.

Отладка работы персонала

По нашему опыту множества проектов топ-причинами простоев оборудования линии поверхностного монтажа являются:

- несвоевременная замена питателей;
- ошибки, связанные с захватом и распознаванием компонентов;
- отсутствие операторов на рабочем месте;
- проблемы с инженерной инфраструктурой (нестабильность электроснабжения, подачи сжатого воздуха и т. п.).

Рекомендации по отладке работы персонала: необходимо проанализировать и внести изменения в направления логистических потоков на различных технологических операциях, ввести скользящий график обедов и перерывов, проведение дополнительного обучения персонала в части качественной подготовки и оптимизации управляющих программ для технологического оборудования, изменение процесса зарядки/разрядки питателей автоматов-установщиков.

4. Внедрение информационных систем, автоматизация

Одной из важнейших систем для оптимизации работы производства является MES-система (MES – Manufacturing Execution System). Это система, которая помогает оптимизировать работу производственного предприятия, представляя информацию о его функционировании в реальном времени и обеспечивая автоматизацию различных производственных процессов.

Она нацелена на выполнение следующих функций:

- 1. Управление производственными заданиями.** Позволяет планировать, отслеживать и контролировать производственные задания, а также управлять ими в режиме реального времени.
- 2. Контроль качества.** Обеспечивает контроль качества продукции на всех этапах производства, что позволяет своевременно выявить и устранить возможные проблемы.
- 3. Мониторинг оборудования.** Предоставляют информацию об использовании и состоянии оборудования, облегчая его обслуживание и планирование ремонтов.
- 4. Управление запасами.** Контроль количества и качества запасов на складе, а также определение оптимальных моментов для их пополнения.
- 5. Интеграция с ERP-системой.** Обеспечивает более эффективное управление предприятием и координацию его работы.
- 6. Отчеты и аналитика.** Предоставление данных для анализа и создания отчетов, которые помогают определить слабые места в производственном процессе и разработать стратегии для его оптимизации.

Этап 6. Эксплуатация

Итак, производство запущено. Что дальше? А дальше начинается нескончаемый бег по кругу по созданию сначала одного изделия, потом другого, потом одновременно нескольких. Постоянно ведутся поиски уменьшения количества брака, идет ежедневная борьба за качество и количество выпущенных в единицу времени продуктов.

Если рассматривать трудности, наиболее часто возникающие на этом этапе, их условно можно разделить на несколько групп:

1. Вопросы, связанные с комплектующими и материалами.
2. Вопросы отладки технологии производства.
3. Вопросы работоспособности оборудования и инженерной инфраструктуры.
4. Вопросы, относящиеся к персоналу.
5. Повышение эффективности в целом.

1. Комплектация

Есть известная концепция управления производством от Тойота, которая гласит «Точно в срок». Она направлена на оптимизацию складских запасов и в соответствии с данной концепцией необходимые комплектующие и материалы должны поступать на производство в нужном количестве в нужное место и в нужное время.

Данный принцип очень сильно зависит от своевременности и качества поставок. Современная политическая составляющая в стране, как и работа поставщиков, находятся вне зоны управления компании, поэтому любые проблемы в цепочке поставок могут вызвать остановку производства. Концепцию «Точно в срок» нельзя применять необдуманно и обнулять складские запасы. Необходимо взвешивать все

риски и определять то нужное минимальное количество запасов, которое должно в обязательном порядке храниться на складе, чтобы не допустить срыва выполнения остальных процессов на производстве.

Вторая важная составляющая комплектации – это качество закупаемых материалов. Здесь важен как ответственный подход работы закупщиков внутри компании, которые смогут найти оптимальных поставщиков, так и внутренние процессы компании в соответствии с концепцией Индустрии 4.0, когда прослеживаемость изготовления изделия позволяет выявить дефектные партии тех или иных материалов и комплектующих.

2. Отладка технологии

Оптимизация технологического процесса должна происходить постоянно. Нет предела совершенству. Отработка технологии позволяет:

- Провести анализ возникающих проблем и определить варианты для их устранения.
- Подобрать технологические режимы для каждой единицы оборудования с учетом особенностей технологических и базовых материалов.
- Улучшить сам техпроцесс.
- Повысить качество и надежность выпускаемой продукции.
- Оптимизировать расходы технологических материалов и, как следствие, обеспечить снижение производственных затрат.

3. Работоспособность оборудования

Наиболее значимый момент – это планирование и регулярное проведение технического обслуживания оборудования. Как ни банально, но упреждающее обслуживание техники обходится значительно дешевле ее внезапного ремонта и потери денег от простоя производства.

Кроме того, все критические узлы и элементы производства должны быть зарезервированы. Не должно быть единой точки отказа. Например, сломался единственный компрессор – остановилась практически все технологическое оборудование. Вышел из строя единственный сервер, на который была завязана вся ИТ-инфраструктура, – перестало работать все программное обеспечение и нет возможности управлять станками. Сэкономлены деньги на покупку ИБП, и, в случае скачка напряжения, в каком-то из станков сгорает ответственный контроллер, срок поставки которого несколько месяцев. Все это – реальные случаи аварий, происходивших на различных производствах.

Опыт показывает, что, к сожалению, в России об отказоустойчивости задумываются только после того, как происходит авария, на устранение которой, как правило, тратятся значительные деньги и время.

На производствах мирового уровня в обязательном порядке на складе имеется минимально необходимый запас ЗИП для ремонта каждой единицы оборудования, все ответственные и критические элементы инфраструктуры

резервируются, на всех серверах и компьютерах осуществляется регулярное резервное копирование.

4. Обучение персонала

Упомянутые принципы Тойоты диктуют также необходимость постоянного обучения и повышения квалификации персонала по управлению различными видами оборудования и техники. Это – обеспечение постоянно го доступа к производственным Базам знаний, возможность обучаться без отрыва от производства и получать именно те знания и навыки, которые необходимы для эффективного выполнения работы.

5. Повышение эффективности

Есть понимание, что дальнейшее развитие производств в области сборки печатных плат будет направлены, с одной стороны, на адаптацию к новым технологиям, а с другой – на оптимизацию и повышение эффективности существующих решений. Уже сейчас проявляются следующие тренды:

1. Максимальная автоматизация всей внутрицеховой логистики, когда нет необходимости вручную перемещать платы и компоненты с одного участка на другой. Все материалы, попав на склад, в автоматическом режиме будут проходить 100% контроль качества, затем с помощью конвейеров и роботов передаваться на производство, проходить все необходимые этапы сборки, наладки и проверки работоспособности и, наконец, упаковки.
2. Количество ручных операций будет сводиться к минимуму. Во всем мире прямо сейчас на производствах массово применяются роботизированные руки, которые решают данную задачу. Их массовое применение в России – это пока лишь вопрос финансовой эффективности.
3. Вопросы применения BIM-технологий при создании производства. Фактически, это информационное моделирование здания и взаимоувязка множества различных систем воедино. Это виртуальный аналог сооружения, который позволяет работать с ним всем участниками проекта в одном информационном пространстве. Главное преимущество применения такой технологии: если кто-то внесет изменение в информационную модель (технолог, строитель или руководитель), то об этом сразу узнают все участники проекта и смогут корректно отработать и предотвратить потенциальные коллизии, что позволит сократить сроки как реализации, так и модернизации проекта и снизить затраты на строительство.
4. Подходы Индустрии 4.0 будут пониматься и приниматься как само собой разумеющееся, также как сейчас мы воспринимаем наличие электричества и конвейеров в массовом производстве.

Заключение

В данной серии статей в общих чертах было рассмотрено создание производства серийной сборки печатных плат по наиболее распространённой на сегодняшней день технологии – технологии поверхностного монтажа печатных плат, которая зародилась в 60-х годах прошлого века.

Ключевые особенности технологии поверхностного монтажа – уменьшение размеров изделий, уменьшение площади печатных плат за счет малого размера компонентов, улучшение электрических характеристик, улучшение качества передачи сигналов, повышение технологичности производства, отсутствие необходимости подготовки выводов перед монтажом и установки выводов в отверстия, снижение трудоемкости пайки, экономия материалов, повышение ремонтопригодности, снижение себестоимости при серийном производстве.

Основной критерий, по которому можно определить, что производство является производством мирового уровня, эффективным производством, – это конкурентоспособность выпускаемой продукции на мировом рынке. К этому относится качество и надежность выпускаемой продукции, низкое количество отказов в гарантийный период, обеспечение повторяемости параметров технологических процессов, стоимость выпускаемых изделий не должна быть выше рыночной, а себестоимость должна быть минимизирована, достигнута эффективность 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.

Эффективность всего производственного процесса напрямую зависит от эффективности оборудования, которое в нем используется непосредственно. В мире применяют общепризнанный показатель, который называется показателем «Общей эффективности оборудования OEE (Overall equipment effectiveness)». OEE определяет процент производственного времени, который действительно является продуктивным. Измерение данного показателя является обязательным для своевременного выявления и устранения потерь, проведения сравнительного анализа прогресса и повышения производительности оборудования. Так, если показатель эффективности равен 100%, это означает, что оборудование производит только качественные изделия без дефектов с максимальной производительностью и без остановок. В реальном мире, к сожалению, такого не бывает.

Показатель эффективности оборудования OEE состоит из трех критериев:

- A – Availability (Доступность)
- P – Performance (Производительность)
- Q – Quality (Качество)

Availability означает доступность оборудования или какова доля полезного времени работы оборудования, рассчитывается как отношение времени, когда оборудование работало, ко времени, когда оборудование было доступно для производства.

Performance означает производительность. Оценивает фактический выпуск продукции на оборудовании с расчетным. Производительность рассчитывается как отношение произведенного количества продукции на время, когда оборудование работало, и разделенное время цикла для изготовления одной единицы продукции.

Quality означает качество и определяет отношение количества продукции, соответствующей установленным требованиям, к общему количеству выпущенной продукции.

По результатам расчета каждого из критерии все, что нужно сделать для определения значения ОЕЕ, это перемножить каждый из критерий. Лучшие мировые практики достигают значения ОЕЕ 85 %, многие предприятия в Европе и Азии работают на уровне ОЕЕ 70 %. Эффективность российских предприятий редко превышает 50 %. Перечень возможных потерь достаточно ёмкий, и без их автоматической фиксации обойтись затруднительно.

В мире постоянно ведутся поиски повышения доступности, производительности и качества производства. В какой-то момент истории эти критерии улучшаются плавно, а в какие-то моменты под влиянием инноваций в технологиях и технике происходит скачок производительности.

В первую промышленную революцию произошла механизацию ручного труда, которая кратно увеличила производительность. Начали строиться механизированные заводы и фабрики, ускорилось переселение людей из деревень в город. Во вторую промышленную революцию произошла электрификация производства, стали использовать конвейер в поточно-массовом производстве. Третья промышленная революция характеризовалась автоматизацией производства, совершенствованием логических контроллеров, их программирование, создание промышленных роботов. Четвертая промышленная революция (или Индустрия 4.0) происходит прямо сейчас. Кроме повышения производительности, она нацелена на продуктивность, гибкость и качество. Частью этой фазы промышленных изменений является объединение таких технологий, как искусственный интеллект, робототехника. По сути, четвертая промышленная революция – это тенденция к автоматизации и обмену данными в производственных технологиях и процессах, которые включают разнородные системы и работу с большим массивом данных. Происходит сбор информации с сенсоров и датчиков со всех точек производственного процесса, предоставляющей производству исчерпывающую информацию для анализа и принятия решений. Необходимая технология автоматизации улучшается за счет внедрения методов самооптимиза-



5

Иерархия информационных систем

ции, самонастройки, самодиагностики. Искусственный интеллект и машинное обучение позволяют умным системам реагировать на различные внешние факторы, адаптируя к текущим условиям режим своей работы.

Существуют различные виды построения иерархий информационных систем. Наиболее распространенная – в виде пирамиды, где в основании находится АСУТП, а на вершине ВРМ или OLAP.

С развитием технологий «Индустрии 4.0» современные предприятия в своей политике обеспечения качества переходят от поиска, устранения и выявления технологических причин возникновения дефектов, к прогнозированию их возникновения и благовременной разработке предупреждающих мер. Конечно, предотвратить возникновение дефекта гораздо эффективнее, чем выполнять последующий его поиск и ремонт.

Индустрия 4.0 задает один из самых важных трендов мирового производства – сокращение времени вывода изделий на рынок. Если раньше разработка нового продукта могла длиться годы, то сейчас даже в области специальной техники никто ждать не будет. Если не представить рынку новую разработку в кратчайшие сроки, конкуренты обгонят вас.

Подводя итог, резюмируем, что к ключевым факторам эффективного производства мирового уровня относятся:

- Минимальное время переналадки для производства разных видов изделий.
- Минимальные простои на техническое обслуживание.
- Максимальная производительность на единицу площади.
- Минимальное энергопотребление.
- Минимальные инвестиции на развитие.
- Минимальное количество обслуживающего персонала.
- Высокая надежность.

Как сделать расчеты FPY реально полезными?

Текст: Александр Завалко

Иногда так бывает, что на заводе и автоматические системы контроля качества внедрили, и сбор данных автоматизировали, и даже всех вовлеченных работников стандартам и критериям качества обучили. Однако картина с количеством технологических дефектов и брака все равно получается противоречивая. Производство искренне верит, что работает на мировом уровне качества и даже показывает соответствующие DPMO, Срк и другие количественные SPC-показатели. Все полностью и статистически достоверно соответствует концепциям «6 сигм» и «0 дефектов».

А вредная служба качества (ОТК) рапортует об очень низком выходе годных, бездействии цеховых технологов и халатности производства. Не стоит думать, что такое может быть только в отсталых регионах недоразвитых стран мира. Вот пример из цеха поверхностного монтажа одной компании с мировым именем:

Продукция собирается на топовом технологическом оборудовании, завод уже зрелый, серийную продукцию выпускают четыре SMD-линии. При этом

производство считает, что FPY (выход годных изделий без ремонта) после АОИ пайки оплавлением 99 %, а ОТК считает FPY в 60 %. Огромная разница! За первый показатель (1 % дефектных печатных узлов до какого-либо ремонта) производство и технологов стоит поощрить. За второй показатель (40 % дефектных плат) с позором уволить.

Причина такой огромной разницы в том, что производство считает только реальные, фактически подтвержденные (верифицированные) дефекты, а ОТК применяет данные автоматических срабатываний АОИ, еще не отфильтрованные (не верифицированные) человеком. Количество ложных (неподтвержденных) срабатываний АОИ при этом достигает 97,5 % от всех тревог.

Как обычно, обе стороны (производство и ОТК) правы и действуют из лучших побуждений. Программа АОИ сделана с такими допусками и настройками, что ложные срабатывания допустимы – лишь бы реальные дефекты не прошли незамеченными. Расчет ОТК также верен, следует общезвестной методике



1

Цех поверхностного монтажа



2

Пример рабочей операции с FPY = 100

расчета $FPY_{\text{итог}} = FPY_{\text{этап1}} \times FPY_{\text{этап2}} \times \dots$ Этапов технологического процесса много, десятки операций.

Ситуация возникла на линии только с одной точкой автоматического контроля – оптической инспекцией (АОИ) после SMD-пайки. А как быть на производствах с комплексной системой автоматических систем контроля качества? Как в FPY учесть данные автоматического контроля качества нанесения пасты, установки SMD-компонентов (включая проверку геометрии их выводов), качества пайки SMD-компонентов, качества установки и пайки THT-компонентов (оптически или рентгеновской установкой), результаты функционального контроля и т.д.

Методики расчета, «приводящие» FPY к 0 % или к 100 %, хороши только в (анти)рекламе и не имеют практической пользы. Такими расчетами невозможно «подсветить» влияние нестабильного качества комплектующих или технологических материалов.

Смеем предложить такой вариант расчета FPY монтажа печатных узлов:

1. Выделить технологические операции с $FPY = 100\%$ (срабатывания системы контроля верифицируются, дальше в работу допускаются только годные изделия). Например, так бывает после инспекции трафаретной печати паяльной пасты. Тут $FPY = 100\%$ или саботаж (замеченный и подтвержденный системой контроля брак нанесения пасты может пойти в установку и печь сознательно). Такие контрольные операции важны и нужны, но для полезного расчета FPY их можно игнорировать.
2. Учесть в расчете ложные срабатывания систем контроля. Лучше ложные срабатывания, чем пропуски дефектов. Надо брать показатели дефектности уже после верификации (подтверждения) дефекта – True Call. Проверка

правильности подсчета True Call: совпадает с количеством ремонта дефектов (статистика от участка ремонта).

3. Считаем FPY в изделиях (удельные показатели DPPMO и PPM, как правило, больше подходят для рекламы).
4. Считаем без ложных срабатываний (на основе подтвержденных дефектов): $FPY_{aoi_bot_true} = 1 - BOT_{true} calls / total BOTs$.
5. Прежде всего, базируем расчет на данных автоматических контрольных систем (SPI, AOI, AXI, FCT – что внедрено на производстве). В итоге формула значительно упрощается до нескольких множителей:

$$FPY_{\text{сборки}} = FPY_{aoi_smd_bot_true} \times FPY_{aoi_smd_top_true} \times FPY_{fct_true},$$

где $FPY_{aoi_smd_bot/top_true}$ – данные АОИ линии поверхностного монтажа после пайки оплавлением BOT/TOP стороны печатного узла,
 FPY_{fct_true} – данные функционального тестирования FCT (после ТНТ монтажа и других операций).

Какую практическую пользу вы реально получаете от расчетов FPY и что вы думаете о предлагаемом нами подходе? Наши специалисты будут рады обратной связи! Подписывайтесь на обучающий проект Академия технологий Отsek-CMT и задавайте интересующие вас вопросы.

Нюансы работы с пастой

Текст: Геннадий Егоров

Говоря о правилах работы с пастой, не будем заниматься просто повторением общезвестных истин, а сделаем упор на то, **почему** «не рекомендуется» или «следует».

Хранение пасты

Пасту следует хранить в холодильнике. Почему? Тому есть две причины.

Первая и основная связана с деактивацией флюсовой составляющей. Дело в том, что частицы пасты в процессе производства в некоторой степени окисляются. Активаторы, входящие в состав пасты и предназначенные для удаления окислов, работают и удаляют окислы с частиц пасты и при комнатной температуре. Однако, чем ниже температура, тем меньше скорость химической реакции (закон Аррениуса). Поэтому при хранении в холодильнике срок хранения пасты увеличивается.

Вторая причина заключается в том, что флюс пасты представляет собой коллоидную систему, неустойчивую по определению. С течением времени происходит укрупнение частиц коллоидной системы (коагуляция) и выпадение их в осадок. Причем процесс носит необратимый характер. Правда для необратимого расслоения паста должна храниться время, намного превышающее гарантированный срок хранения.

Казалось бы, а почему пасту не заморозить? Тогда скорость реакции восстановления окислов замедлится до такой степени, что паста будет храниться практически вечно. Тем не менее, замораживать пасту «не рекомендуется». Причина – в возможном необратимом распаде флюсовой составляющей при размораживании. После извлечения пасты из холодильника перед открыванием ее «следует» нагреть до комнатной температуры.

Если открыть банку холодной, на пасте может сконденсироваться влага из воздуха, что повлечет за собой неудовлетворительные результаты пайки. Использовать нагревательный приборы «не рекомендуется» опять-таки из-за опасности распада флюсовой составляющей в результате резкого повышения температуры.

Подготовка к применению пасты

Перед выкладыванием на трафарет пасту «следует» перемешать. Это делается для смешивания флюсовой и металлической составляющих пасты, если произошло расслоение, и для снижения вязкости для того, чтобы ее можно было выложить. Для перемешивания и выкладывания пасты на трафарет «рекомендуется» использовать пластиковый инструмент. При использовании металлического инструмента существует опасность снятия стружки с банки с пастой, и эта стружка будет замешана в пасту и попадет в паяные соединения (пустоты!). Неаккуратно выкладывая пасту на трафарет металлическим инструментом, трафарет можно повредить.

Для подготовки пасты на рынке представлено большое количество разнообразных миксеров. Надо отметить, что производители пасты обычно не рекомендуют использование миксеров, некоторые даже категорически. Причина – опять-таки в возможном распаде флюсовой составляющей из-за сильного механического воздействия.

Тем не менее, практика показывает, что использовать миксеры можно, и на качество пасты это не влияет. Хотя желательно делать это с определенной осторожностью. Например, предварительно доводить пасту до комнатной температуры, не превышать 3–5 минут перемешивания и ограничивать скорость перемешивания 300–400 об/мин.

Press Fit: демонтаж запрессованных компонентов

Текст: Виктор Орешков

Рассмотрим тему демонтажа компонентов, монтируемых по технологии запрессовки. Как выпаивать различные компоненты, какие подходы для этого применять – многие уже знают и имеют практический опыт. Но как быть с Press Fit?

Ручной инструмент

Демонтаж соединительных разъемов, запрессованных в печатную плату, может быть осуществлен с использованием ручного инструмента (в том числе, изготовленным своими силами). Внешне он может напоминать изогнутую плоскую отвертку. Для демонтажа разъема необходимо край инструмента поместить под внешнюю часть корпуса соединителя и равномерно, по всему периметру корпуса, «поддевать» компонент.

Среди недостатков такого метода можно выделить вероятность повреждения как самой печатной платы, так и сквозных металлизированных отверстий.

Демонтаж с применением оснастки

Следующий метод демонтажа заключается в изготовлении и применении специальной оснастки с тонкими штифтами для выдавливания запрессованных штифтов из отверстий снизу.

В этом случае усилие на демонтируемый компонент передается непосредственно на его штыри. Усилие, необходимое для демонтажа компонента, определяется количеством штырей. Поэтому в некоторых случаях, чтобы избежать деформации печатной платы, необходимо использовать жесткую опору, которая исключит вероятность прогиба платы.

Такой метод может быть применим в случаях, когда контактные штыри недостаточно выпирают с обратной стороны платы.

Использование оснастки типа «Flat rock»

В случаях, когда контактные штыри достаточно выпирают с обратной стороны платы, демонтировать запрессованный компонент можно путем передачи усилия непосредственно на выступающие контактные штыри через плоский металлический бруск (оснастка типа «Flat rock»).

Использование специального инструмента

Также для демонтажа запрессованных компонентов может применяться специальный инструмент, который состоит из нескольких частей. Эти части необходимы собрать на снимаемом разъеме и вокруг него. Одна часть инструмента устанавливается под краями в нижней части корпуса компонента и выпрессовывает его при повороте винтовой ручки. Принцип работы такого инструмента напоминает принцип работы съемника.

Таким образом, демонтаж компонентов, монтируемых на печатную плату по технологии запрессовки, может осуществляться различными методами: как с использованием ручного инструмента, так и с применением различных оснасток и специальных инструментов.

Любые вопросы о технологии Press Fit вы можете задать специалистам Остек-СМТ – будем рады помочь!

Пайка vs Press Fit

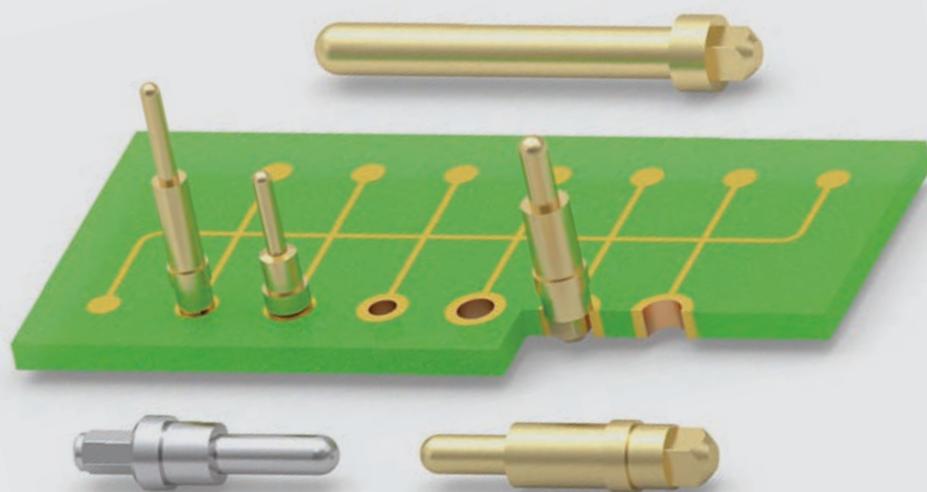
Текст: Виктор Орешков



При конструировании радиоэлектронной аппаратуры большое значение имеет проблема качества и надежности паяных соединений. В текущих реалиях стремительного развития радиоэлектронной индустрии стоит уделить особое внимание монтажу в отверстия большого количества многорядных разъемов и печатным платам с большим количеством медных слоев, обладающих крайне высокой теплоемкостью.

1

Технология Press Fit



В некоторых случаях вообще невозможно осуществить пайку, поскольку горячий припой, протекая по монтажному отверстию, в момент контакта с внутренними слоями платы начинает остывать, и монтажное отверстие заполняется не полностью, так как тепло от припоя отводится внутренними медными слоями. Поэтому невозможно выполнить пайку, которая могла бы обеспечить требуемое качество и надежность соединения, так как в случае с теплоемкими изделиями довольно трудно обеспечить требуемый прогрев, который бы способствовал протеканию припоя на всю глубину монтажного отверстия, а увеличение температуры в процессе пайки приведет к повреждениям печатной платы.

Решить эту проблему поможет технология Press Fit — технология, по которой компоненты к печатной плате не припаиваются, а запрессовываются.

Технология Press Fit имеет ряд преимуществ перед традиционными методами пайки, среди которых можно выделить следующие:

- **Экономическая выгода.** Многочисленные исследования показали, что технология запрессовки во многом более экономически эффективна по сравнению с традиционными методами пайки.
- **Отсутствие необходимости в нагреве для образования соединения.** Это обстоятельство может играть решающую роль в случае с печатными платами, имеющими большое количество слоев, или, например, при монтаже многорядных соединительных разъемов с труднодоступными точками пайки.
- **Гигиеничность и экологичность производства.** Достигается благодаря отсутствию дыма от припоя и отсутствию флюсов.
- **Высокая надежность и устойчивость к вибрационным нагрузкам.**
- **Простота ремонта.**

Запрессовываемый контактный штырь имеет особую форму. Так, например, в структуре штыря есть специальный буртик, в который упирается пуансон, на который, в

свою очередь, давит шток прессы, а в самой запрессовываемой части штыря выполнена специальная пуклевка, создающая упругую деформацию при впрессовывании штыря в отверстие и позволяющая компенсировать релаксацию материалов и погрешности размеров отверстий плат. Причем формы таких пуклевок разнообразны, но все они имеют широкую зону упругой деформации и поверхность сопряжения, достаточную для электрического и механического контакта штыря с отверстием.

Основными комплектами для запрессовки одиночных контактов и многорядных разъемов являются пуансон, который вкладывается непосредственно в запрессовываемый разъем, передающий давление со штока прессы на соответствующие опорные поверхности контакта, и подплатная матрица, обеспечивающая дополнительную жесткость платы, чтобы она не прогибалась под воздействием усилия запрессовки.

На сегодняшний день список технологического оборудования, применяемого для реализации технологии Press Fit, можно разделить на три основных класса:

1. Ручные механические прессы.
2. Полуавтоматические прессы с электроприводом.
3. Автоматические прессы, в том числе встраиваемые в сборочные линии.

Среди основных отличий между тремя классами применяемого оборудования для реализации технологии можно выделить такие различия, как:

- повторяемость процесса,
- максимальное усилие запрессовки,
- степень автоматизации процесса
- производительность.

Соединения, выполняемые по технологии Press Fit, обладают высоким уровнем надежности и при этом лишены тех проблем, которые свойственны традиционным методам пайки. Данные соединения сравнительно просты в реализации, требуют минимального комплекта оборудования и отличаются экономической эффективностью, экологичностью и ремонтопригодностью.

Температурный профиль пайки: особенности

Текст: Александр Романов

Электронная промышленность сегодня находится на хорошем уровне благодаря изобретению и развитию, в том числе, технологии поверхностного монтажа (SMT). Одна из важнейших ролей в этой технологии отведена пайке оплавлением. Рассмотрим некоторые аспекты технологии пайки оплавлением и настройки температурного профиля.

Температурный профиль пайки состоит из четырех стадий (рис. 1):

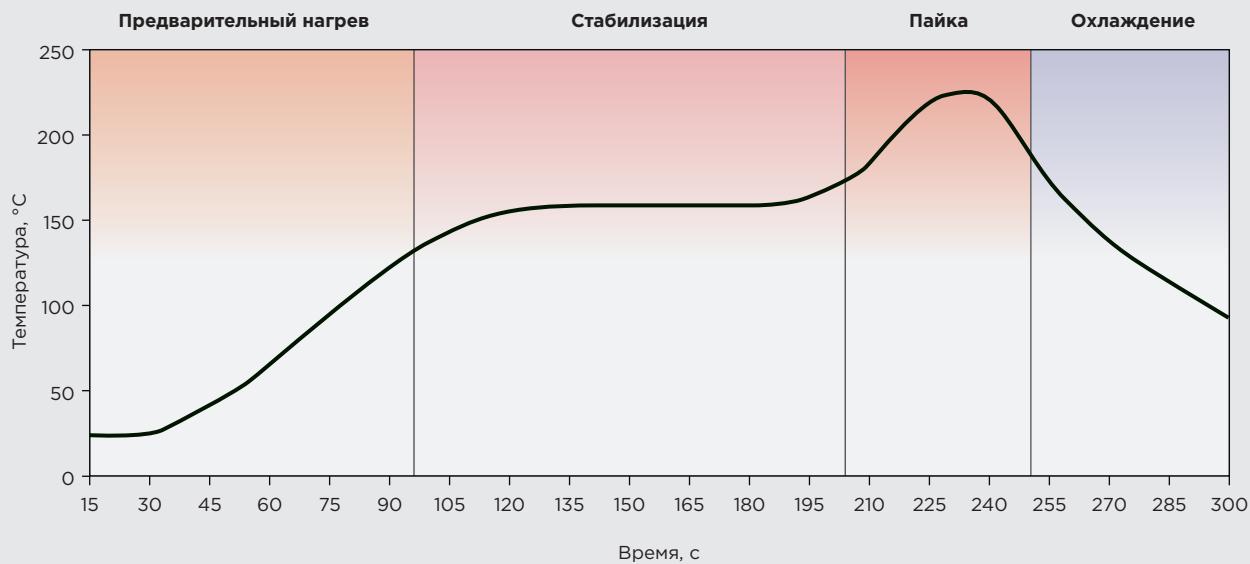
- стадия предварительного нагрева;
- стадия стабилизации;
- стадия оплавления;
- стадия охлаждения.

Принято выделять традиционный (Ramp-Soak-Spike – RSS) и линейный (Ramp-To-Spike – RTS) профили пайки. Принципиальными отличиями последнего от первого являются большая продолжительность стадии предварительного нагрева и отсутствие стадии стабилизации

у последнего, что приводит к более низкой скорости нагрева компонентов. Рассмотрим каждую стадию профиля подробнее.

Стадия предварительного нагрева

Необходима для снижения теплового удара по электронным компонентам и печатным платам. На этом этапе происходит испарение растворителя из паяльной пасты. Температура предварительного нагрева лежит в пределах 95–130 °C, скорость изменения температуры для традиционного профиля пайки составляет 2,0–4,0 °C/сек., для нового профиля пайки – 0,6–1,8 °C/сек. Высокая скорость предварительного нагрева может приводить к повреждению компонентов, разбрызгиванию шариков припоя, образованию перемычек. Однако если скорость предварительного нагрева низка, то может происходить окисление контактных поверхностей и частиц припоя.



1

Традиционный температурный профиль пайки

Стадия стабилизации

Эта стадия, называемая также «стадией температурного выравнивания», позволяет обеспечить равномерное распределение температур по плате. Повышение температуры на этой стадии происходит очень медленно. Максимальная активация флюса происходит при температуре около 150 °C. Рекомендуемое время стабилизации для традиционного профиля составляет 90–150 сек. (максимальное 5 мин.). Для нового типа профиля время стабилизации, равное 30 сек., считается достаточным. В конце зоны стабилизации температура обычно достигает 150–170 °C.

Стадия оплавления

Для исключения чрезмерного роста интерметаллического соединения температура пайки должна не более чем на 30–40 °C превышать точку плавления паяльной пасты. Например, для наиболее распространенных свинцовосодержащих сплавов Sn62/Pb36/Ag2 и Sn63/Pb37 температура пайки должна быть в пределах 205–225 °C. Низкая температура пайки (195–205 °C) обеспечивает слабую смачиваемость, особенно для компонентов с плохой паяемостью, поэтому температуру на стадии оплавления устанавливают немного выше – в пределах 215–225 °C при скорости повышения температуры 2–4 °C. Рекомендуемое время выше точки плавления составляет 30–60 сек. Для массивных плат время выше точки плавления может быть увеличено до 90–120 сек. Высокая температура (240–250 °C) и время пайки (более 120 сек.) способствуют росту интерметаллического

соединения. Чрезмерный рост интерметаллического соединения увеличивает хрупкость паяного соединения и ухудшает его внешний вид.

Стадия охлаждения

Для обеспечения максимальной прочности паяных соединений скорость охлаждения должна быть максимальной, но в то же время высокая скорость охлаждения может вызывать термоудар по электронным компонентам. С другой стороны, медленное охлаждение может приводить к интенсивному росту интерметаллического соединения, таким образом, паяное соединение становится более твердым, но хрупким. Рекомендуется проводить охлаждение со скоростью 3–4 °C/сек. до температуры ниже 130 °C. Ниже 130 °C скорость охлаждения может быть меньше, так как она уже не влияет ни на качество паяных соединений, ни на электронные компоненты.

Таким образом, окончательный выбор режимов технологий выбирает исходя из конструкции и материала печатной платы, типа и размеров компонентов, количества и плотности размещения компонентов на печатной плате, а также типа паяльной пасты. При выборе профиля пайки следует учитывать, что реальная температура на плате в процессе пайки будет ниже заданной в печи. Разница между реальной и заданной температурами зависит от конструкции печи, количества слоев и размера платы, размера и плотности размещения компонентов.

Любые вопросы, касающиеся технологии поверхностного монтажа, вы можете задать специалистам Остек-Умные технологии. Будем рады помочь!

Климатические воздействия и их влияние на печатные узлы

Текст: Павел Моисеев

Влагозащитное покрытие — тонкая защитная полимерная пленка толщиной в 25–75 мкм, которая наносится на смонтированный печатный узел (ПУ). Главным образом покрытие предназначено для защиты электронных изделий, эксплуатируемых в жестких климатических условиях и подвергаемых воздействию влаги, агрессивных химикатов и соляного тумана, температурных колебаний, механической вибрации и органических образований (например, грибковых).

Чтобы обеспечить качественную защиту от различных воздействий окружающей среды, разрабатываются различные виды влагозащитных покрытий, характеристики которых варьируются в зависимости от области применения:

- **Уретановые покрытия.** Используются для защиты печатных узлов от воздействия влаги и химических веществ.
- **Акриловые покрытия.** Используются для защиты печатных узлов от воздействия влаги.
- **Покрытия на основе эпоксидных смол.** Обеспечивают отличную устойчивость к механическим воздействиям и химическую стойкость.
- **Силиконовые покрытия.** Используются для защиты печатных узлов в условиях эксплуатации при высокой температуре.
- **Париленовые покрытия.** Используются для защиты электронных печатных узлов от воздействия вредных факторов окружающей среды.

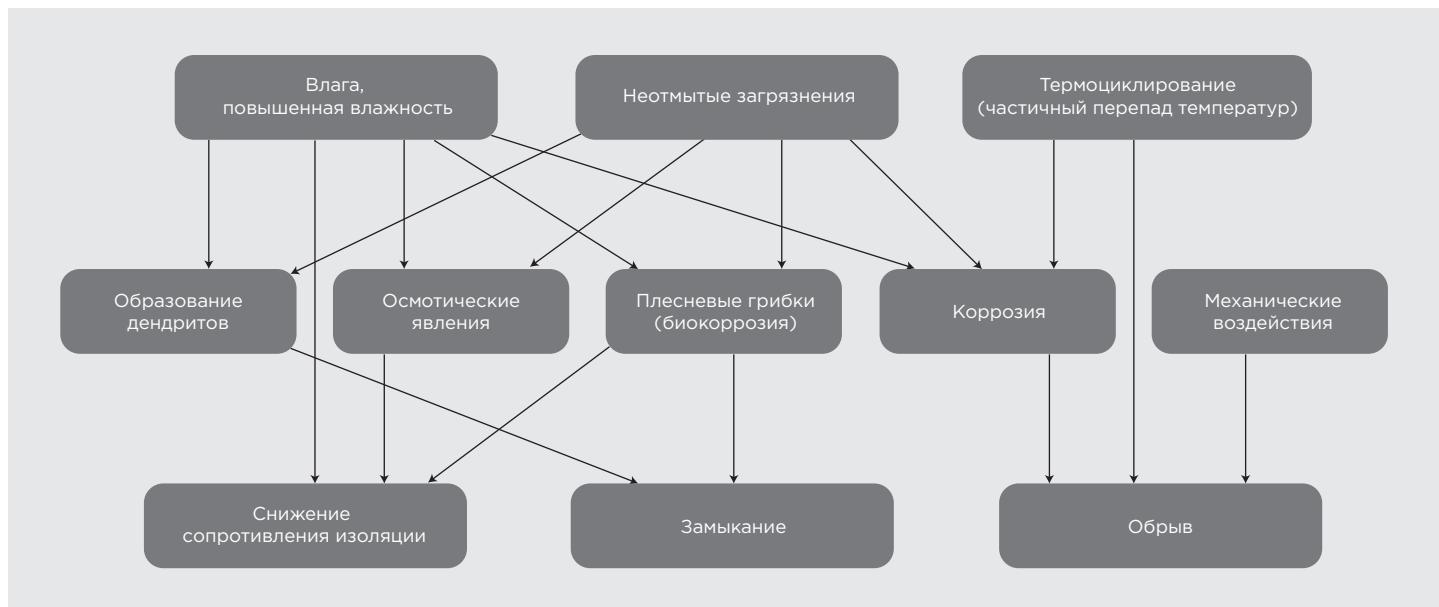
Далее рассмотрим виды климатических воздействий.

Повышенная влажность

Печатный узел, не защищенный влагозащитным покрытием, при длительном хранении во влажной среде будет поврежден и при включении с большой долей вероятности выйдет из строя. При повышенной влажности, перепадах температуры, наличии пыли на поверхности платы адсорбируется слой влаги и загрязнений. Этот слой обладает ионной проводимостью, и уже он, а не диэлектрический слой основания ПП, определяет прочность промежутка между проводниками и токи утечки. Ионогенные примеси, не отмывшиеся после пайки, усугубляют положение, увеличивая токи утечки на тричетыре порядка. При включении такого узла возникнут электролитические процессы, приводящие к отказу. Очень опасным является образование под действием влаги гальванических пар, облегчающееся наличием в схемах разнородных металлов (проводники, припои, гальванопокрытия и т. д.). Вследствие этого явления возникает электролитическая коррозия, которая может привести к полному разрушению проводников тонких сечений и металлических покрытий.

Осмотрительные явления

Известно, что влагозащитное покрытие не обеспечивает полной изоляции печатного узла. Поэтому повышенная влажность в совокупности с некачественной очист-



1

Виды климатических воздействий и их влияние на ПУ

кой узла перед нанесением влагозащитного покрытия может привести к осмотическим процессам. Из-за загрязнений во влажной среде под покрытием образуется концентрированный раствор различных солей, что создает условия для осмоса, т. е. начинается интенсивное перемещение влаги под покрытие. Скорость такого перемещения прямо пропорционально разности концентраций раствора под покрытием и раствора в наружной пленке влаги. В результате под лаковым покрытием из-за скопившейся жидкости возникает значительное давление, приводящее к отслаиванию и всучиванию покрытия. Осмотическое накопление влаги под лаковым покрытием при функционировании аппаратуры неизбежно вызывает образование токопроводящих мостиков, т. е. отказ ПУ.

Образование дендритов

Одновременное присутствие в изоляционном зазоре влаги, растворимых загрязнений и электрического напряжения создает условия для протекания электролиза, являющегося основой электрохимического процесса отказа. В результате электролиза проводник-анод растворяется, отдавая воде положительно заряженные ионы металла, которые, направляясь к проводнику-катоду, восстанавливаются на нем до металлического состояния, образуя в изоляционном зазоре проводящие перемычки дендритоподобной рыхлой структуры. В результате этих процессов за несколько минут в водной среде могут образоваться нитевидные кристаллы толщиной 2–20 мкм и длиной до 12 мм. После образования перемычки кристаллы постепенно утолщаются до 0,1 мм, приобретая отчетливый металлический блеск. Сопротивление таких кристаллов может доходить до 1 Ом. Таким образом, происходит выход из строя изоляции между печатными

проводниками. Скорость образования проводящих перемычек определяется материалом проводников, относительной влажностью среды, смачиваемостью, водо- и влагостойкостью изоляции, величиной напряжения.

Коррозия

Для металлических деталей РЭА характерна атмосферная коррозия, протекающая под тонкой пленкой влаги на поверхности изделия в присутствии кислорода воздуха. С увеличением влажности или температуры процесс коррозии ускоряется. Обычно коррозия оказывает самое сильное разрушающее действие при часто повторяющейся конденсации в сочетании с повторным испарением. Наличие посторонних веществ на металлических поверхностях, например, остатков флюса, других остатков производственных процессов – грязи, отпечатков пальцев и т. п., может вызвать или ускорить коррозию при наличии влажности. Наиболее опасные условия коррозии создаются в присутствии сернистого газа, концентрация которого значительна в атмосфере промышленных городов и жилых помещений. Сернистый газ, растворяясь в пленке влаги, повышает ее кислотность и электропроводность и тем самым ускоряет коррозию.

Подведем итог. Чтобы обеспечить качественную защиту ПУ от различных воздействий окружающей среды, необходимо грамотно оценивать условия, в которых будет использоваться печатный узел, и в зависимости от области применения грамотно подбирать тип влагозащитного покрытия.

Наши специалисты готовы помочь с выбором влагозащитного покрытия и ответить на все сопутствующие вопросы!

Эффективное производство: а что, так можно было?

“

«Я написал эту книгу ради того же, ради чего я работаю, — чтобы помочь российским компаниям из сферы приборостроения в сложившихся непростых условиях проложить правильный путь к светлому будущему. Надеюсь, она станет вашим помощником, подручным инструментом и путеводной звездой на пути к большим переменам, которые происходят уже сейчас или с которыми ещё предстоит столкнуться. Я искренне верю, что российское приборостроение может занять значимое место на мировом рынке»

Евгений Липкин



Последние несколько лет по понятным причинам в РФ можно наблюдать взрывной рост объёмов импортозамещения. Скептическое отношение ко всему отечественному постепенно сменяется энтузиазмом и верой в себя, обусловленными несомненными успехами на этом поприще. Однако в эйфории успеха отечественные компании часто недооценивают значимость анализа уязвимости своего бизнеса. К счастью, если есть общие проблемы, появляются и пути их решения. Специалисты из многих отраслей, в том числе и из сферы радиоэлектроники, делятся своим опытом, чтобы помочь российским производствам в сложившейся обстановке.

В конце прошлого года на отечественных площадках появилась новая книга Евгения Липкина «Производство мирового уровня. Путь к эффективности российского приборостроения», посвящённая созданию современных передовых производств в сфере радиоэлектронной аппаратуры.

Евгений Липкин – эксперт с более чем 20-летним опытом работы в области промышленных технологий и автоматизации производства. Упомянутая книга – не первая его работа. Книга «Индустрия 4.0: Умные технологии – ключевой элемент в промышленной конкуренции» была издана ещё в 2017 году. Новая работа Евгения стала итогом многолетнего практического опыта по организации производственных процессов на основе анализа отечественного и мирового рынков. В первую очередь в ней нашли отражение актуальные и острые проблемы отечественной сферы приборостроения.

Книга стала попыткой проанализировать состояние российской радиоэлектроники, а также ключевые факторы успеха ведущих мировых игроков на глобальных рынках. На основе этого анализа автор стремится выработать оптимальную стратегию,

которая поможет нашим предприятиям приблизиться к мировым показателям конкурентоспособности. Автор затрагивает множество аспектов деятельности отечественных компаний. Работа состоит из семи основных частей – производство как часть бизнеса, исходные позиции (особенности российского и мирового производства), наш путь и обзор домашнего рынка, Индустрия 4.0 и её реализация в РФ, управление качеством, экономика производства мирового уровня и кадровый вопрос.

Каждая из них помогает раскрыть особенности «производства мирового уровня» и подходы к его созданию, укрепляющие технологический суверитет страны. Но представим, что вы освоили лучшие иностранные практики, – а что дальше? Поможет ли это каждому участнику рынка в отдельности удерживаться на должном уровне и не сдавать позиций? Предлагая строить передовые производства совместными отраслевыми усилиями, автор книги пытается наметить ключевые аспекты для такого строительства.

Мировой уровень как цель

Сам термин «производство мирового уровня» укоренился в отечественном лексиконе относительно недавно, и его смысл ранее был неочевиден. Его можно интерпретировать как «производство, которое может производить продукцию по техническим и потребительским свойствам, уровню качества и стоимости сопоставимую с продукцией ведущих мировых игроков в конкретном своём сегменте».

Прежде чем озадачиваться вопросами конкурентоспособности, стоит поискать ответ на вопрос – а всегда ли целесообразно развивать собственное производство? В современных реалиях, когда производителю приходится надеяться только

на себя, очень важно чётко понимать, что и зачем он делает, как он планирует развиваться и к чему в итоге хочет прийти. Разумеется, на этом пути важно оценивать потенциальных конкурентов и понимать, с кем и за что придётся бороться на рынке. В книге подробно рассматривается и мировой опыт крупных зарубежных компаний. Ведь так или иначе представители отечественной сферы приборостроения обращают внимание на опыт успешных иностранных коллег. Насколько полезно сравнивать себя с мировыми игроками и как чужой опыт может помочь компаниям в их работе, читайте в новой книге Евгения Липкина.

Особенности домашнего рынка

Бизнес меняется, развивается учитывая рыночные тренды, но предстоит ещё большая работа по наращиванию конкурентоспособности, которую отечественному бизнесу придётся пройти в первую очередь в плане самоорганизации. Разумеется, российское приборостроение имеет свои особенности, сформировавшиеся за многие годы. Строя производство мирового уровня, способное конкурировать с ведущими мировыми игроками рынка, об этих особенностях забывать нельзя. Как выглядит «наш путь» и какие подводные камни могут встретиться на этом пути – также нашло отражение в книге.

Индустрия 4.0 и далее

Являясь экспертом по теме Индустрии 4.0 и беря за основу предыдущий опыт, в своей новой работе автор уделил внимание размышлению об актуальных проблемах цифровизации приборостроительного производства и перспективах перехода к Индустрии 5.0, которая (при правильном подходе) позволит повысить гибкость производства, скорость процессов, качество результатов. Однако далеко не всегда руководитель производства понимает, зачем реально необходим переход к цифровизации и как её использовать, как превратить данные в реальные преимущества для бизнеса и инструмент повышения гибкости, качества и производительности труда, экономической эффективности и уровня клиентского сервиса. Без внедрения принципов, лежащих в основе Индустрии 4.0 и грядущей Индустрии 5.0, системные вопросы эффективности решить невозможно.

Качество как залог успеха

Теме качества в книге удалено особое внимание, поскольку именно итоговое качество продукта или услуги является индикатором правильности выбранного подхода к организации бизнеса. Качество должно быть планируемым. Многие мировые производители используют подходы, которые помогают управлять жизненным циклом продукции. Это позволяет стимулировать рыночный спрос и повышать техни-

ческий уровень и технологичность своего предложения. Важно также применять маркетинговый подход и анализ рынка с выявлением уровня соотношения цены/качества, необходимых клиентам, учитывающие в том числе и экономику всего процесса, потому как качество бесплатно не даётся.

Комплекс управления качеством должен быть выстроен с учётом текущих мировых тенденций, технологий и лучших практик ведущих игроков. В книге подробно рассмотрен подход к управлению качеством продукции, к технологическому контролю, рассмотрены пути обнаружения брака с работой над ошибками и анализом данных.

Производство делают люди

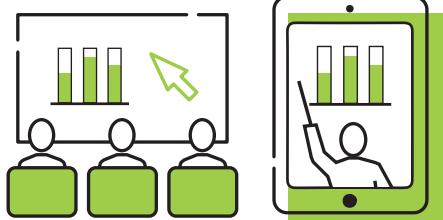
Работа с кадрами является важным аспектом на пути к передовому производству мирового уровня. Не секрет, что в отрасли радиоэлектроники, как и во многих смежных отраслях, стоит проблема дефицита кадров. Нехватка специалистов с каждым годом становится острее, а фундаментальное решение проблемы не может быть быстрым: для этого должна быть проведена масштабная работа в рамках всей отрасли. Автор рассматривает особенности работы с персоналом в России, необходимость и способы привлечения молодых специалистов, стратегии и общее влияние технологий на рынок труда.

Заключение

Эта книга, как утверждает сам автор, – не «сборник советов», а помощник-путеводитель для российских компаний из сферы приборостроения на пути к светлому будущему. Это не подробный рецепт, но попытка помочь идеей, направить, подсказать. Конечно, каждой компании придётся проделать свой уникальный путь к построению передового производства. Автор максимально по делу и без лишней «воды» проводит анализ настоящей ситуации, чтобы помочь обеспечить конкурентоспособность бизнеса. Сейчас мы находимся в активной фазе технологического суверенитета. Чтобы стать конкурентоспособными, надо выйти на те показатели, который будут сопоставимы с лучшими мировыми игроками по качеству, надёжности и т.д. Ведь рано или поздно границы вновь станут прозрачными, а выстоят ли тогда наши предприятия в условиях глобальной конкуренции? Сейчас самое время подготовиться к этому.

Книга Евгения Липкина «Производство мирового уровня. Путь к эффективности российского приборостроения» доступна в электронной версии в книжных онлайн-магазинах.

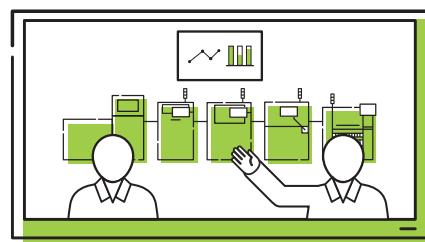
АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОСТЕК-СМТ



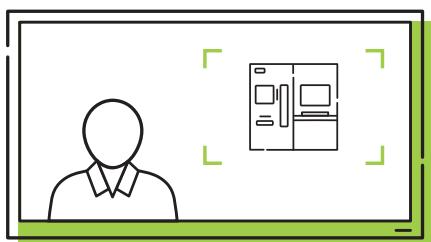
СЕМИНАРЫ
ОНЛАЙН И ОФЛАЙН



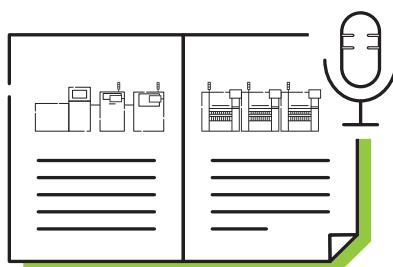
ПРОФИЛЬНЫЕ КАНАЛЫ
В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ



РЕПОРТАЖИ И КЕЙСЫ
С ПРОИЗВОДСТВ



ВИДЕООБЗОРЫ
РЕШЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ



ЭКСПЕРТНЫЕ
СТАТЬИ И ИНТЕРВЬЮ



ВИДЕОПРЕЗЕНТАЦИИ
И ЗАПИСИ ВЕБИНАРОВ



ПРОИЗВОДСТВО
МИРОВОГО УРОВНЯ

ЕВГЕНИЙ
ЛИПКИН

ПРОИЗВОДСТВО МИРОВОГО УРОВНЯ

ПУТЬ К ЭФФЕКТИВНОСТИ
Российского
Приборостроения

АКАДЕМИЯ
ТЕХНОЛОГИЙ
ОСТЕК-СМТ



НОВИНКА