

01 (63) апрель 2026

ВЕКТОР

ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
Научно-практический журнал

ИНТЕРВЬЮ

с Вячеславом Ковенским

8 НАШИ МЫСЛИ И ДЕЙСТВИЯ
НАПРАВЛЕНЫ НА СОЗДАНИЕ
СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА
МАТЕРИАЛОВ МИРОВОГО УРОВНЯ

КАЧЕСТВО

Андрей Насонов

44 ЗАЧЕМ НУЖНЫ РАЗНЫЕ
ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
И ТЕСТИРОВАНИЯ
ХАРАКТЕРИСТИК
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
КОМПОНЕНТОВ

АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

Евгений Сеслюков

60 ПУТЬ К ПОВЫШЕНИЮ
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ
С ОСТЕК-СМТ



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



35 лет
создаём
будущее



В этом году ГК Остек исполняется 35 лет. Для технологического бизнеса это уже целая эпоха. Но цифра сама по себе ничего не значит, если за ней нет содержания. За этой цифрой – сотни проектов, доведённых до конца, десятки кризисов, прожитых вместе с заказчиками,

тысячи обязательств, выполненных в срок, даже когда условия менялись на ходу.

Для нас эти 35 лет – жизнь внутри российской электронной промышленности в режиме «ошибка недопустима». Но главное здесь не мы. Главное – выбор, который каждый день делают наши клиенты. Со стороны всё выглядит просто: «Выбрали поставщика». Внутри решения – десятки переменных, от которых зависят сроки, бюджеты и успех конкретных проектов.

Читая этот номер, вы увидите, чем на самом деле наполнены слова «технологический суверенитет». Мы побывали в Иннополисе на конференции «Производство мирового уровня», где не было формальных докладов: говорили о дефиците кадров, реальных узких горлышках производств и о том, что суверенитет – это цепочка очень конкретных решений, а не лозунг. Интервью с Вячеславом Ковенским – честный разговор о рынке материалов, импортозамещении, конкуренции с западными и китайскими брендами и о том, как собственное производство паст и флюсов меняет расстановку сил.

Мы углубимся в физику материалов. Стеклопозеры (TGV) приходят на смену кремниевым, и от того, как быстро мы научимся работать с хрупким стеклом и его терморасши-

рением, зависит, выдержат ли наши вычислительные системы реальные нагрузки — вибрацию, удары, перегрев.

Отдельный разговор – автоматизация. Мы должны отвыкнуть от мысли, что «автоматизировать – это дорого». Сегодня дорого – упрощать. В рубрике «Академия технологий» мы разбираем, как адресное хранение компонентов и программный планировщик сборки превращают хаос на складе в предсказуемый процесс, а платформы вроде FUJI NXTR берут на себя переналадку и пополнение компонентов. «Умные фабрики» – это не футуризм, а единственный способ конкурировать с азиатскими гигантами, которые уже живут в этой реальности.

Но давайте честно! Вы покупаете не роботов, не оборудование, не материалы – вы покупаете уверенность, что всё это будет работать. Что за оборудованием стоят люди, которые не исчезнут через год. Что материал пройдёт входной контроль. Что если что-то пойдёт не так, будет кому задать вопрос и получить ответ.

35 лет – это не возраст. Это система координат. В которой мы не пытаемся перекричать рынок красивыми словами – мы строим предсказуемость, стабильность, репутацию, которые работают на вас.

Это то, что мы предлагаем. Не «инновации ради инноваций». А технологии, которые решают задачи. И команду, которая готова взять на себя ответственность за результат.

Спасибо, что выбираете нас и доверяете нам ваши технологические вызовы. Ваш успех – единственное, что делает цифру «35 лет» осмысленной.

Читайте. Внедряйте. Побеждайте!

Редакция журнала



MAX



ВКонтакте

В НОМЕРЕ

НОВОСТИ

- 4 В ИННОПОЛИСЕ ПРОШЛА КРУПНЕЙШАЯ В РОССИИ КОНФЕРЕНЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННИКОВ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
- 6 ИТОГИ СЕМИНАРА «КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПОДЛОЖЕК: РОСТ СЛИТКОВ И МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА»
- 6 НА САЙТЕ ОСТЕК-ИНТЕГРА ПОЯВИЛСЯ ОНЛАЙН-КАЛЬКУЛЯТОР ВЛАГОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ЭЛТРИН У1
- 7 ФЛЮС-ГЕЛЬ И ФЛЮСЫ СОЛИУС ПОЛУЧИЛИ СЕРТИФИКАТ СТ-1 И ВНЕСЕНЫ В РЕЕСТР РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ
- 7 ООО «ОСТЕК-ИНТЕГРА» РАСШИРЯЕТ ВОЗМОЖНОСТИ СЛУЖБЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ



ОТ ПЕРВОГО ЛИЦА

НАШИ МЫСЛИ И ДЕЙСТВИЯ НАПРАВЛЕННЫ НА СОЗДАНИЕ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА МАТЕРИАЛОВ МИРОВОГО УРОВНЯ 8

Беседовал Юрий Ковалевский

ТЕХНОЛОГИИ

ВЛИЯНИЕ СТЕКЛЯННОГО ИНТЕРПОЗЕРА СО СКВОЗНЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ НА НАДЕЖНОСТЬ ПАЯНОГО СОЕДИНЕНИЯ 16

Автор: Дмитрий Суханов

СВЧ-ПЛАЗМА 2,45 ГГц: ЭФФЕКТИВНАЯ ОЧИСТКА ЗАЗОРОВ В FLIP-SHIP-ТЕХНОЛОГИЯХ ПЕРЕД ЗАЛИВКОЙ АНДЕРФИЛЛОМ 22

Автор: Илья Вознесенский

ВЫСОКОТОЧНЫЙ МОНТАЖ ОПТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ В ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМАХ 30

Автор: Артём Артамонов



КАЧЕСТВО стр. 44



АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОСТЕК-СМТ стр. 66

КАЧЕСТВО

77 % ПРОИЗВОДСТВ ОТМЫВАЮТ ВСЛЕПУЮ. А ВЫ? 38

Автор: Денис Поцелуев

ЗАЧЕМ НУЖНЫ РАЗНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И ТЕСТИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КОМПОНЕНТОВ 44

Автор: Андрей Насонов

ЁМКОСТЬ РЫНКА ДОВЕРЕННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ ДЛЯ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РОССИИ 48

Авторы: Михаил Цветников, Давид Францышин

ТРИ КИТА АНАЛИЗА ОТКАЗОВ: THERMO, EMMI, OVIHCH 54

Автор: Сергей Максимов

АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОСТЕК-СМТ

ПУТЬ К ПОВЫШЕНИЮ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ С ОСТЕК-СМТ 60

Автор: Евгений Сеслюков

АДРЕСНОЕ ХРАНЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ: ПРЕВРАЩАЯ ХАОС В ПОРЯДОК И ЭФФЕКТИВНОСТЬ 63

Автор: Александр Антонов

КАК ПОЛНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТЕПЕННО МЕНЯЕТ «ПРАВИЛА ИГРЫ» ПРИ СБОРКЕ ЭЛЕКТРОНИКИ? 65

Автор: Александр Антонов

ПРОГРАММНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ПЛАНИРОВАНИЯ СБОРКИ 67

Автор: Александр Антонов

АВТОРЫ НОМЕРА

- Юрий Ковалевский**
journal@electronics.ru
- Дмитрий Суханов**
Заместитель технического директора
ООО «Остек-ЭК»
micro@ostec-group.ru
- Илья Вознесенский**
Старший инженер
ООО «Остек-ЭК»
micro@ostec-group.ru
- Артём Артамонов**
Инженер
ООО «Остек-ЭК»
micro@ostec-group.ru
- Денис Поцелуев**
Директор по продажам и маркетингу
ООО «Остек-Интегра»
materials@ostec-group.ru
- Андрей Насонов**
Главный конструктор
ООО «Остек-Электро»
ostecelectro@ostec-group.ru
- Михаил Цветников**
Заместитель генерального директора
по работе с крупными корпоративными
заказчиками
ООО «Остек-ЭК»
micro@ostec-group.ru
- Давид Францышин**
ведущий специалист
ООО «Остек-ЭК»
micro@ostec-group.ru
- Сергей Максимов**
Начальник отдела нанометрологии и
анализа поверхности
ООО «Остек-АртТул»
info@arttool.ru
- Евгений Сеслюков**
Заместитель начальника отдела
промышленного консалтинга
ООО «Остек-СМТ»
smt@ostec-group.ru
- Александр Антонов**
Ведущий инженер отдела технической
поддержки
ООО «Остек-СМТ»
smt@ostec-group.ru

В ИННОПОЛИСЕ ПРОШЛА КРУПНЕЙШАЯ В РОССИИ КОНФЕРЕНЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННИКОВ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

12 февраля 2026 года, Иннополис, Республика Татарстан. В городе Иннополис прошла II ежегодная всероссийская конференция «Производство мирового уровня 2026».

3 дня, 16 спикеров-практиков, экскурсии на передовые заводы Татарстана и одна общая цель – найти работающие механизмы повышения эффективности в условиях, когда кадровый голод стал главным тормозом развития, а технологический суверенитет требует быстрых и практических действий.

Почему это событие стало главным в отрасли

Конференция «Производство мирового уровня» – ключевая в России площадка, где собираются исключительно руководители приборостроительных предприятий: собственники, генеральные и технические директора, главные инженеры и руководители производств. Все доклады были наполнены практическим опытом и сопровождались активным обсуждением реальных кейсов. Участники конференции получили уникальную возможность узнать из первых уст детали внедрения передовых технологий и управленческих подходов на других предприятиях отрасли.

В этом году география участников заметно расширилась и охватила почти всю промышленную Россию: от Калининграда до Омска, от Санкт-Петербурга до Севастополя. Среди участников конференции были представители практически всех ключевых направлений радиоэлектроники,



в том числе: вычислительная техника, системы связи, ответственная аппаратура, медицинская техника, промышленная электроника, критическая информационная инфраструктура, автомобильная электроника и другие.

Темы конференции нашли отклик у представителей как государственного сектора отрасли, так и частного.

Конференция «Производство мирового уровня» содействует решению задач, стоящих перед предприятиями отрасли:

- Обмен практическим опытом за счет создания площадки для диалога между руководителями предприятий, где нет места формальным докладам – только живое общение и разбор реальных кейсов.
- Обсуждение и выработка решений по ключевым вызовам: экономика производства, импортозамещение, автоматизация, подготовка кадров.
- Содействие заключению партнерских соглашений и формированию кооперационных цепочек между российскими производителями.

- Презентация успешных российских практик и концепций создания конкурентоспособных производств в новых условиях.
- Анализ мирового опыта развития производств.

День 1. Кадры решают всё, но их не хватает

Первый день конференции был целиком посвящен кадровому вопросу – самой острой боли отрасли.

Обсуждались вопросы подготовки специалистов на предприятиях, адаптации управленческих практик для привлечения и удержания молодых сотрудников, обмена опытом между участниками рынка, импорта знаний, а также проблемы повышения производительности труда в условиях кадрового дефицита.

День завершился панельной дискуссией с участием руководителей предприятий отрасли и представителей системы образования.

День 2. Промышленная автоматизация как база роста эффективности

Второй день конференции был посвящен разбору опыта отече-



Также была отмечена роль особой экономической зоны «Иннополис» в реализации инновационных промышленных проектов.

Конференция «Производство мирового уровня» подтвердила, что российское приборостроение учится работать по-новому: открыто, сообща, с ориентацией на результат мирового уровня.

Мероприятие прошло при поддержке: Особая экономическая зона «Иннополис»

Официальные партнеры:

- Остек-СМТ
- Остек-Интегра
- Научно-инженерный центр радиоэлектроники МГТУ им. Н.Э. Баумана
- Селектика
- ПромЭнерго
- ICL Техно
- издательство «Техносфера» и журнал «Электроника: НТБ»
- подкаст-проект «Производственная кухня»

ственных предприятий в области автоматизации производства и внедрения промышленных роботов. Участники получили рекомендации от практиков и детальную информацию об экономическом и технологическом эффекте от использования новых подходов. Отдельно были рассмотрены пути повышения производительности труда и производственной эффективности за счет инструментов организации производства.

Диалог бизнеса и власти

В конференции принял участие Роман Александрович Шайхутдинов, заместитель Премьер-министра Республики Татарстан. Роман Александрович поддержал мероприятие и подчеркнул, что Татарстан готов и далее активно содействовать развитию отечественной радиоэлектроники.

День 3. Визит на реальное производство лучше тысячи слов

В третий день участники конференции посетили предприятия региона, где могли своими глазами увидеть, как внедряется и работает то, о чем говорили в первые два дня мероприятия.

В частности, состоялись экскурсии на завод по выпуску вычислительной техники «ICL Techno», предприятие российского производителя интеллектуальных приборов учета «ПромЭнерго» и завод литий-ионных универсальных аккумуляторов «Батареон».



ИТОГИ СЕМИНАРА «КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПОДЛОЖЕК: РОСТ СЛИТКОВ И МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА»

19 февраля 2026 года состоялся семинар Остек-ЭК, посвящённый комплексным решениям по производству полупроводниковых подложек. Мероприятие проходило в Москве на площадке головного офиса компании. С докладами выступили ведущие эксперты компаний Остек-ЭК и Остек-Электро, представители ООО «НПО «КРИТ»», ООО «СОФТ-ИМПАКТ» и АО «Телеком-СТВ».

В ходе деловой программы технические специалисты Остек-ЭК рассказали о проработанных решениях, ключевых аспектах роста и механической обработки слитков, затронули актуальные вопросы проволоочной резки, шлифовки и полировки пластин, обозначили нюансы контроля качества геометрии и поверхности. Представители сервисной службы Ostec Care поделились практическим опытом запуска оборудования и продемонстрировали инструменты и расходные материалы для механической обработки подложек.

Специалисты Остек-Электро показали собственный измерительный комплекс отечественного производства — уникальное решение для точного измерения параметров пластин. Эксперты ООО «НПО «КРИТ» раскрыли особенности монокристаллического кремния,



выпускаемого в настоящее время. Спикеры из ООО «СОФТ-ИМПАКТ» рассказали о возможностях компьютерного моделирования для анализа и оптимизации промышленного роста кристаллов. А представители АО «Телеком-СТВ» описали технологические особенности производства кремниевых пластин.

Семинар вызвал высокий интерес у профессионального сообщества:

мероприятие посетило **свыше 60 специалистов отрасли**. Участники активно задавали вопросы экспертам, делились своим опытом и предлагали идеи для дальнейшего сотрудничества.

Компания Остек-ЭК благодарит всех гостей и партнёров семинара и приглашает принять участие в будущих мероприятиях!

НА САЙТЕ ОСТЕК-ИНТЕГРА ПОЯВИЛСЯ ОНЛАЙН-КАЛЬКУЛЯТОР ВЛАГОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ ЭЛТРИН У1

Компания Остек-Интегра представляет новый онлайн-инструмент – калькулятор расхода влагозащитного покрытия Элтрин У1. С его помощью можно быстро и точно рассчитать необходимое количество влагозащитного покрытия Элтрин У1 и разбавителя Элтрин Р1 в зависимости от параметров конкретного производственного процесса: способа нанесения, площади покрываемой поверхности и требуемой толщины покрытия. Онлайн-калькулятор станет удобным инструментом для технологов и инженеров при работе с влагозащитными покрытиями и позволит сократить время на расчёты при подготовке производственных процессов.



ООО «ОСТЕК-ИНТЕГРА» РАСШИРЯЕТ ВОЗМОЖНОСТИ СЛУЖБЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ

В рабочем арсенале инженеров компании Остек-Интегра появился профессиональный термопрофайлер V-M.O.L.E.™ 2 производства компании ECD – ведущего мирового разработчика систем термопрофилрования.

ФЛЮС-ГЕЛЬ И ФЛЮСЫ СОЛИУС ПОЛУЧИЛИ СЕРТИФИКАТ СТ-1 И ВНЕСЕНЫ В РЕЕСТР РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Паяльные флюсы Солиус ФН-9942, ФН-9945, ФВ-7742 и флюс-гель Солиус ФГ-018 производства компании Остек-Интегра получили сертификат происхождения СТ-1, подтверждающий их российское происхождение, и официально внесены в Реестр российской промышленной продукции в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 719. Соответствующие записи размещены на официальном сайте Государственной информационной системы промышленности (ГИСП) под регистрационными номерами:

- флюс Солиус ФН-9942 – реестровая запись № 10799402,
- флюс Солиус ФН-9945 – реестровая запись № 10799403,
- флюс Солиус ФВ-7742 – реестровая запись № 10799404,

Благодаря новому прибору при проведении на производственных площадках заказчика испытаний паяльных паст Солиус® и других материалов специалисты Остек-Интегра могут выполнять еще более точное термопрофилрование процесса пайки оплавлением. Прибор обеспечивает точность измерений $\pm 0,5$ °С, оснащён четырьмя каналами термопар и поддерживает скорость сбора данных до 100 измерений в секунду. Такие возможности позволяют детально зафиксировать все критиче-

■ флюс-гель Солиус ФГ-018 – реестровая запись № 10799405. Флюсы Солиус ФН-9945, ФВ-7742 и ФН-9942 предназначены как для селективной и волновой пайки, так и для ручной. Они обеспечивают стабильное смачивание, низкий уровень дефектов и высокую надёжность паяных соединений и при свинцовой, и при бессвинцовой технологии пайки. Солиус ФГ-018 – это флюс-гель для ручной пайки, доработки и ремонта печатных узлов, обеспечивающий контролируемое нанесение и высокое качество паяных соединений при работе с современными электронными компонентами.

Флюсы и флюс-гель производятся серийно на собственной производственной площадке ООО «Остек-Интегра» и доступны для поставки в любом объёме по всей России. Материалы уже применяются на ведущих российских предприятиях радиоэлектронной аппаратуры и помогают обеспечивать устойчивость технологических процессов и выполнение требований по локализации.

ские параметры: скорость нагрева, время выдержки, пиковую температуру и время выше температуры ликвидуса.

При внедрении паяльных материалов использование термопрофайлера помогает оперативно подобрать и верифицировать оптимальный термопрофиль оплавления, подтвердить соответствие параметров пайки рекомендациям производителя и обеспечить стабильный, воспроизводимый процесс на конкретном оборудовании заказчика.

ОТ ПЕРВОГО ЛИЦА

Наши мысли и действия направлены

на создание современного
производства материалов
мирового уровня

Беседовал Юрий Ковалевский



В 2026 году ГК Остек исполняется 35 лет. ООО «Остек-Интегра» – одна из компаний ГК, которая специализируется на направлении материалов для производства электроники. Ее генеральный директор – Вячеслав Евгеньевич Ковенский – рассказал о том, что представляет собой Группа компаний Остек сегодня, как менялся в последнее время и как сейчас выглядит отечественный рынок материалов в отрасли, как идет процесс импортозамещения в этой сфере и насколько конкурентоспособны российские материалы в сравнении с китайскими и западными аналогами, а также о собственных разработках, развитии производства и других направлениях деятельности ООО «Остек-Интегра».

Вячеслав Евгеньевич, в этом году Остеку исполняется 35 лет. Что сейчас представляет собой Группа компаний? Какова ее роль на рынке?

В Группу компаний Остек входят десять основных предприятий, а сфера ее деятельности охватывает, фактически, полный перечень технологий, необходимых отечественной электронной и радиоэлектронной промышленности. В каждом из ее подразделений работают профессионалы, которые обеспечивают техническую поддержку и сервис, помогают предприятиям отрасли получать лучшие технологии, практики, оборудование и материалы из доступных нам на текущий момент точек мира. Остек сегодня – это более 700 специалистов высочайшей квалификации. Количество установленных за 35 лет единиц оборудования превышает 35 тысяч. По моей оценке, доля предприятий отрасли, оснащенных Остеком или в том или ином виде сотрудничавших с ним в эти годы, превышает 75 % от их общего количества.

В Остеке активно ведется разработка оборудования, приборов, дистрибьюторская модель бизнеса дополняется исследовательской, конструкторской, производственной. Группа компаний активно развивает отрасль вместе со всеми ее участниками и помогает в создании производств мирового уровня.

Направление материалов для производства электроники в Остеке ненамного моложе самой ГК – ему около 30 лет. Сегодня это область специализации нашей компании – Остек-Интегра. Наша работа – надежное снабжение предприятий отрасли лучшими материалами и сопутствующими услугами. Каждый килограмм паяльной пасты или литр флюса – критический компонент предлагаемых Остеком решений. Мы прекрасно понимаем, что задержка поставки или некондиционная партия материала может остановить высокотехнологичную линию, которую проектировали и запускали наши коллеги. Поэтому наши задачи включают, в том числе, тотальный контроль над качеством поставляемой продукции и логистики, обеспечение требуемого складского запаса и минимальных сроков поставки. И в том, что общий уровень удовлетворенности клиентов Группы компаний Остек стабильно держится на отметке 4,9 балла из пяти, есть и наш вклад.

Поставка материалов – это очень динамичный бизнес, и потому можно сказать, что мы привносим в работу ГК Остек особую динамику. Вместе со всеми мы уверенно идем по пути импортозамещения, углубления компетенций и знаний в стране, чтобы наша отрасль становилась всё более независимой и сильной. Если в начале истории Остека поставки материалов осуществлялись исключительно из-за рубежа, то сейчас мы производим значительную часть ассортимента в России. У нас есть собственное производство, организована лаборатория, штат пополняется выпускниками российских вузов, которые участвуют в разработке и производстве материалов. По статистике за 2025 год более 900



Вячеслав Евгеньевич Ковенский, генеральный директор ООО «Остек-Интегра»

предприятий отрасли применяют или успешно провели испытания наших материалов «Солиус», «Гидронол», «Элтрин». Есть производства, которые уже более трех лет используют жидкости «Гидронол», что подтверждает стабильность свойств и соответствие ожиданиям заказчиков.

Наши мысли и действия направлены на создание современного производства материалов мирового уровня с точки зрения как свойств продукции, так и уровня производства и силы бренда.

Вы назвали бизнес материалов динамичным. С чем это связано?

Конечно, динамичность – показатель относительный. Я сравниваю наш бизнес в первую очередь с поставкой оборудования. Здесь важен целый ряд факторов. Во-первых, это частота поставок: у нас их может быть до десятка в квартал только одному клиенту. Само собой, оборудование так часто не поставляется. Во-вторых, клиент может менять материалы, используемые в производстве, или их поставщиков хоть каждый квартал – такие примеры есть. В-третьих, это ограниченный объем складских запасов и высокая волатильность на рынке цветных и драгоценных металлов. Решения о пополнении склада должны приниматься часто, быстро и в условиях высокой неопределенности в части потребности клиентов и стоимости закупки металлов.

Особенно эта динамика была заметна в 2022 году, когда мы, как и другие российские компании, потеряли возможность приобретения продукции многих зарубежных производителей по существующим каналам. Складские запасы материалов в то время расходовались

особенно быстро, а некоторые клиенты готовы были выкупить чуть ли не весь склад. Поэтому для продолжения снабжения многих сотен наших клиентов требовались обдуманные, но в то же время быстрые решения. Нужно было в короткие сроки предложить предприятиям продукты, заменяющие недоступные. Складских запасов по ряду критических материалов хватало максимум на три-четыре месяца. А новый материал, как правило, не может сразу использоваться на линии: необходимо провести испытания, убедиться, что он подходит заказчику.

Каким вы видите отечественный рынок производства электроники сейчас?

Как компания, мы имеем представление о двух сферах промышленности – производстве микроэлектроники и сборке печатных узлов и электронной аппаратуры. Эти два рынка в части материалов шли независимыми путями. Материалам для микроэлектроники уделялось существенное внимание со стороны государства, особенно начиная с 2022 года. Были поставлены ОКР, в эту сферу вливались большие деньги, был разработан ряд российских решений. Мы для себя отметили как минимум около десяти отечественных материалов, на которые серийные производители обоснованно переходят с зарубежных продуктов. В основном это высокочистая химия – перекись водорода, кислоты, изопропиловый спирт и т. п. На сайтах компаний можно найти целый ряд материалов, которые начали производить в России.

Тем не менее, мы видим большое количество техпроцессов, в которых замена зарубежных материалов крайне сложна и до сих пор не произошла. Например, мы пока не увидели полноценной отечественной альтернативы резистам для фото- и электронной литографии от мировых лидеров в этой области, хотя и до 2022 года у нас были производители фоторезистов. Более того, мы даже в Китае не нашли замены некоторым востребованным в России позициям.

Вероятно, отсутствие прорыва здесь связано прежде всего с тем, что рынок очень узок – это всего 5–10 крупных потребителей. Крупных по нашим меркам: относительно мировых гигантов мы по-прежнему очень малы. Но главное, что нет понимания того, что потребление материалов в России вырастет в обозримой перспективе. Частные инвесторы, коммерческий сектор в эту область идут мало и неохотно, а именно они, по моему мнению, являются двигателями экономики. За последние пять лет мы не отметили существенных прорывов в отечественной микроэлектронике. И пока в стране не функционирует серийное производство кристаллов по техпроцессу ниже 90 нм, хотя такие проекты есть. Также не видно радикального продвижения в силовой электронике и других направлениях. Это очень сложные проекты с максимальными барьерами в доступе к технологиям, но их реализовывать нужно. Очень ждем

и верим в их успешную реализацию нашими производителями, и тогда станет больше частных компаний, которые будут заниматься химией, резистами, пластинами и другими материалами.

В области же сборки печатных узлов и электронной аппаратуры мы видим серьезные позитивные изменения. Прежде всего, это появление новых компаний, которые локализуют в России производство серверного и телекоммуникационного оборудования, автоэлектроники. Открываются производства принципиально новых изделий, которых не было в нашей стране до 2022 года. Эти производители задали новые требования к применяемым материалам.

Также мы отметили повышение сложности производимой в России продукции: начато серийное изготовление крупных плат с размерами, порой превышающими 0,5 × 0,5 м, и с большим количеством BGA-компонентов; существенно возросло применение миниатюрных компонентов с типоразмером 01005 и менее; всё чаще встречается монтаж разъемов запрессовкой. И это лишь некоторые примеры.

Характеристики поставляемых нами ключевых материалов для поверхностного монтажа претерпели существенные изменения вслед за ростом сложности и технологичности изделий заказчиков. Опираясь на опыт наших поставок всем клиентам, приведу статистику лишь по одному параметру: в 2021 году 81 % поставляемых нами паяльных паст был с порошком типоразмера 3. Тип 3, можно сказать, стандартный: его клиенты приобретали с первого дня поставки паяльных паст Остеком, и долгое время практически ничего не менялось. На тип 4 в 2021 году приходилось всего 19 %, а пасты типа 5 почти не поставлялись. В 2025 году совершенно другие цифры: тип 3 – уже всего 33 %, тип 4 – 64 %, а 3 % поставок приходится на тип 5 – решение для очень сложных и специфических задач. Типоразмер частиц порошка припоя – это один из маркеров сложности поверхностного монтажа, и приведенная статистика говорит о том, что платы становятся все сложнее. Это наша аналитика, но, думаю, в целом она отражает общую картину.

В отличие от микроэлектроники в области сборки печатных узлов, по нашей оценке, высока доля импортозамещения материалов. Только наша компания сегодня производит более 50 материалов. А есть еще и «коллеги по цеху». И, что интересно, большая часть материалов, присутствующих на рынке, разработана и производится коммерческими предприятиями. А их активное внедрение начато именно в последние годы.

Стоит отметить, что недоступность западных материалов сильно повлияла на отношение предприятий отрасли как к азиатским, так и к отечественным продуктам. Наша компания и ранее предпринимала аккумуляторные попытки выйти на рынок с материалами, разработанными и изготовленными нами. Так, разработку отмывочных жидкостей мы начали в 2014 году, и уже

в 2017–2018 годах первые продукты прошли испытания. Именно поэтому в 2022 году мы смогли предоставить клиентам базовую жидкость для замены зарубежного материала буквально за четыре месяца. Велись работы по паяльным пастам, были наброски и в области влагозащитных покрытий. Но интерес рынка до 2022 года был очень низкий: никто даже не смотрел в нашу сторону, и лишь единицы смотрели в сторону Китая. А когда обратить внимание на Китай пришлось, то оказалось, что есть китайские материалы, которые неплохо ведут себя в ряде базовых технологий, и отношение клиентов к продукции из этой страны намного улучшилось. Изменилось их отношение и к материалам, производимым в России. И сейчас доля техпроцессов, в которых работают созданные нами материалы, объективно растет.

Наверное, в том, что предприятия до 2022 года использовали в основном западные материалы, Остек сыграл некоторую роль. Ведь Группа компаний активно продвигала их, подчеркивая их высокий уровень.

В определенной степени, это так. Ведь Остек всегда искал лучшую продукцию со всего мира и предлагал ее отечественным предприятиям. Но справедливости ради надо сказать, что мы начали смотреть на китайский рынок еще до 2022 года. Думаю, что уже в 2014 многим было понятно, что полностью делать ставку на западные решения рискованно, а когда стали вводиться серьезные санкции, это стало очевидно для всех. Однако западные материалы объективно превосходили азиатские и во многих областях превосходят до сих пор. И отечественные производители электроники осознанно голосовали рублем не в пользу азиатской продукции.

По материалам мы всегда были в открытой конкуренции. Нельзя сказать, что Остек «наводил туман», и клиенты, не понимая, что происходит, покупали только поставляемые им западные материалы. У нас всегда были десятки конкурентов, и нам просто не дали бы этого сделать.

Американские, европейские, японские компании всё еще остаются «законодателями мод» в области технологических материалов для производства электроники. Могу привести такой пример: как вы думаете, какие паяльные пасты требуют применять китайские автоконцерны при локализации в России производства электроники для своих автомобилей? Китайские? А вот и нет! Вдумайтесь: китайский автоконцерн в 2025 году, работая в России, требует применять американские или японские паяльные пасты. А вы говорите, что Остек сыграл здесь негативную роль... Если и сыграл, то только позитивную.

По вашим словам, отношение предприятий к российским и китайским материалам изменилось после того, как западные стали недоступны. Можно ли сказать, что некоторая доля заказчиков точно

перейдет обратно на западные решения, если они вернутся на российский рынок?

В области сборки печатных узлов и приборостроения я бы исключил слово «точно» или заменил его на «может быть». Уверен, мы бы поборолась с западными вендорами. Когда клиент поработал несколько лет, допустим, с российскими жидкостями для отмывки, убедить его вернуться на европейские жидкости будет уже не так просто. И вовсе не потому, что он обиделся: «Они нас бросили, и мы больше с ними не работаем», а потому что появились отечественные аналоги, которые хорошо зарекомендовали себя. И я сейчас говорю не только о наших решениях, но и о решениях коллег – наших конкурентов, которые также активно разрабатывают и производят материалы.

Нельзя сбрасывать со счетов и китайскую продукцию: она уже прописана во многих процессах. Так что для западных вендоров это не будет легкой прогулкой. По крайней мере, в ряде ниш, таких как: отмывочные жидкости, флюсы, паяльные пасты, припой.

А вот в области микроэлектроники я, скорее, склоняюсь к вашей исходной формулировке вопроса. Думаю, что на сегодняшний день мой ответ будет таким: «Если западные материалы для микроэлектроники будут свободно и без ограничений доступны нашим производителям, то очень многие будут использовать именно их». И нам всем предстоит еще очень много работы, чтобы это изменить.

Как, на ваш взгляд, соотносятся ваши и западные материалы, которые они замещают, с точки зрения характеристик?

Если брать жидкости для отмывки, мы заместили всю линейку Zestron и считаем, что по функциональным характеристикам наши продукты полностью соответствуют уровню этой компании. Сейчас активно занимаемся замещением жидкостей Кузен. Не могу сказать, что все клиенты на 100 % довольны нашими продуктами. Но так и не может быть. Есть случаи, когда заказчик нам говорит, что, допустим, к жидкости от Zestron претензий не было, а к нашей – есть. Но и раньше мы иногда слышали, что предыдущая партия от той же компании Zestron была лучше, хотя параметры материала не изменились. С каждым случаем разбираемся индивидуально. На отмывку влияет множество факторов, и подчас оказывается, что проблема вызвана не жидкостью, а изменениями в паяльных материалах, во времени между пайкой и отмывкой и т. п.

Недавно один наш клиент столкнулся со следующей проблемой: наша жидкость у него смывает покрытие печатных плат, причем только у отечественных. С китайскими платами такого не происходит. Претензия предъявляется к жидкости. На самом деле велика вероятность, что та же проблема возникла бы, используя клиент западную жидкость. Нужно разбираться, глубоко погружаться в процесс, выяснять, какая толщина покры-

тия платы и даже кто поставщик. А нам такую информацию далеко не всегда предоставляют, и разобраться бывает достаточно сложно.

Однако уже более 500 клиентов покупают «Гидронол» по два-три года, и их задачи по отмывке успешно решаются. Уверен, что мы создали очень достойный продукт. А ведь мы здесь не монополисты: я навскидку мог бы назвать как минимум три российские компании, которые предлагают рынку жидкости для отмывки собственной разработки.

В области паяльных паст ситуация другая. Этот продукт для нас сложнее. В России есть производители данного материала, есть конкуренция, но ассортимент западных вендоров радикально шире. Даже сейчас на рынке есть некоторые западные пасты, уровень которых пока не достигнут ни нами, ни другими отечественными производителями, ни китайскими компаниями.

Что касается припоев для пайки волной и селективной пайки, то на нашем рынке есть вполне работающие отечественные материалы, но они уступают немецкому припою, который широко применялся в России до 2022 года. В принципе, его аналогов мы не нашли и в Китае – он действительно был хорош. Мы рассматриваем возможность разработки собственных припоев, но пока сами не поймем, как сделать их сравнимыми по характеристикам с европейскими, не видим смысла входить в этот сектор.

В области влагозащиты мы сделали уретановый лак «Элтрин У1». Испытали его практически со всех сторон и считаем, что это достойная замена знаменитому УР-231. Он обеспечивает отличную защиту от влаги, от химических веществ; он изначально более технологичен, поскольку является однокомпонентным. Результаты более 20 испытаний в трех независимых аккредитованных лабораториях показали, что «Элтрин У1» не уступает и аналогу из линейки HumiSeal. Однако внедрить его на производствах оказалось отдельной сложной задачей. Мы не смогли найти некоего центра, института, который испытал бы его и дал «добро» на применение всей отрасли. Мы уверены в материале, готовы отправить его на любые жесткие тесты. Но как это сделать и с кем? Возможно, ответ на этот вопрос есть, но мы его пока не знаем.

Резюмируя, я бы сказал так: продукция, которую мы выпускаем, по своим свойствам не уступает зарубежным аналогам, но остается открытым вопрос широты ассортимента. И здесь нам нужно работать. Чтобы полностью удовлетворить технологические потребности отрасли, на нашем рынке должно быть, например, десять или двадцать различных паст отечественного производства, а не одна и не две. Для этого, конечно, очень нужна помощь и поддержка заказчиков, потому что ни одни лабораторные испытания не показывают реальных свойств материала. И мы очень признательны сотням друзей в отрасли и десяткам предприятий, которые помогают нам делать материалы лучше, указывают

на ошибки и на возможные пути совершенствования наших продуктов.

К сожалению, часто приходится слышать о том, что когда потребители говорят о проблемах, связанных с отечественными материалами, их производители отвечают, что это вопрос их правильного применения. Похоже, западные материалы в большей степени прощают ошибки. Нет ли в этом переключении задачи по обеспечению корректной работы материала на потребителя?

Прежде всего, есть такой железобетонный принцип, исповедуемый нашими производителями электроники: если в процессе что-то пошло не так, первым делом виним в этом материалы. Так было всегда. Поверьте, с западными материалами было то же самое. Наши технологи часто указывают на недостатки и китайских продуктов. А ведь в Китае с использованием этих материалов электронику делают на весь мир, и у них всё получается.

Мы очень хорошо знакомы с этой проблемой и прилагаем максимум усилий, чтобы помочь нашим клиентам найти истинную причину дефектов или сбоев в техпроцессах. Да, бывает, что причина в материале, но часто – в процессе и сопутствующих вопросах. Поэтому корректное применение материалов и системный взгляд на весь процесс очень важны в любом случае. Это нормальная работа, и в этом нет переключивания ответственности.

Есть множество примеров дефектов, проявляющихся на финишных этапах производства, причины которых кроются в самом начале производственной цепочки. Белый налет на плате может быть следствием некачественно задубленной маски, дефект «надгробного камня» – следствием неудачной конструкции платы или неточной установки компонентов и т. п. Сказать, что западные материалы всё прощали, точно нельзя, но их ассортимент был очень широкий, и было проще подобрать материал, который сгладит острые углы.

Конечно, если клиент говорит, что он применял материал с более широким окном процесса и ему такое окно нужно, мы стараемся это реализовать и в нашей продукции. Стараемся, но мы не всемогущие. Мы работаем в реальных экономических условиях, не пользуемся поддержкой государства (как говорится – тратим заработанное), поэтому ресурсы у нас ограничены. Не всё, что мы хотели бы сделать, мы сделать можем.

Пожалуй, кроме окна процесса: здесь стоит обозначить еще один важный вопрос – повторяемость свойств материала. Часто заказчики говорят: «Вы сделали хороший материал, но сможете ли вы выдерживать стабильное качество от партии к партии?» Это действительно не всегда обеспечивается как производителями, так и поставщиками материалов. Учитывая важность данного вопроса, мы организовали очень жесткую приемку поставляемой нами продукции, входной контроль сырья,

хранение арбитражных образцов и строгое ведение журналов контроля качества. По ряду критических материалов приемка осуществляется непосредственно в Китае, чтобы не везти в Россию заведомо негодный продукт. И, порой, отлавливаем отклонения даже от спецификации производителя.

Мы активно работаем и над повышением стабильности свойств собственных материалов. Так, в середине декабря 2025 года мы запустили новую линию по производству паяльных паст, в которую включена специализированная установка для изготовления флюса-связки. До внедрения нового оборудования вязкость наших паст была в пределах допуска, указанного в ТУ, однако теперь ее разброс радикально уменьшился, и в целом улучшилась их реология.

А почему вы не пользуетесь господдержкой?

Мы не умеем и, если честно, несколько побаиваемся, поскольку не всегда очевидно, что сможем выполнить обязательства, которые это накладывает. Ведь работая на открытом и конкурентном рынке, мы не можем быть на 100 % уверены в достижении определенного объема продаж к некоему сроку. Достаточно вспомнить историю с лаком «Элтрин У1»: мы считали, что продажи будут расти быстрее, и к сегодняшнему дню их объем будет хотя бы раза в два больше, но реальность вносит коррективы в изначальные прогнозы.

Также следует отметить, что существуют меры поддержки обратного инжиниринга чипов, льготы для производителей печатных плат и приборов, но производители материалов для сборки печатных узлов не включены в государственные программы поддержки. По крайней мере мы этого не видим.

Самая лучшая государственная поддержка, на мой взгляд, – это создание условий и нормативной базы, которые серьезно простимулируют рост производства электроники в России. Не только вливание денег в оснащение производств, но, прежде всего, ориентир на изготовление и продажи конечных приборов и устройств. Именно кратное увеличение объемов производства и номенклатуры выпускаемой электроники должно быть для всех целью и требуемым результатом, чтобы конечные устройства потянули за собой и микроэлектронику, и материалы. Именно это помогло бы всем участникам отрасли.

Вы сказали, что по ряду материалов у вас есть конкуренты среди российских производителей. Можно ли более детально описать конкурентный ландшафт на данном рынке?

Компания «Остек-Интегра» поставляет материалы для всей производственной цепочки электроники: от полупроводниковых пластин и базовой химии до влагозащитных покрытий и заливочных компаундов, и это уникальное свойство нашей компании. Исключение – материалы для производства печатных плат: эта

тематика закреплена за нашими коллегами по ГК Остек. У нас нет какого-либо одного конкурента, с которым мы пересекались бы по всей линейке материалов. Но в каждой отдельной нише они есть. Всего мы видим около 30–40 конкурентов, включая и поставщиков материалов, и локальных производителей.

В сфере микроэлектроники их около десяти. Есть завод, который занимается только материалами из драгоценных металлов и больше ничем. Есть предприятия, с которыми мы конкурируем только по химии и фоторезистам.

Похожая ситуация и в области сборки печатных узлов. У нас есть конкуренты по жидкостям для отмывки, есть по паяльным пастам и т. п. Кстати, у ниши паяльных паст есть особенность: в ней мы конкурируем в том числе с китайскими производителями, которые работают с российскими предприятиями напрямую. И в столкновении с китайскими вендорами мы выигрываем всё чаще, причем с нашим собственным продуктом, произведенным в России. Если же взять флюсы и жидкости для отмывки печатных узлов, то их китайские производители вообще в Россию не поставляют. Здесь конкуренция строго между локальными продуктами или с западными материалами.

И я бы добавил, что, на мой взгляд, наши конкуренты достаточно часто главным своим преимуществом делают низкую стоимость и не так много внимания уделяют сервису, технической поддержке и формированию дополнительной ценности для нашего рынка. Насколько мы знаем, целенаправленной технической поддержки именно по материалам у наших конкурентов обычно нет или она сильно ограничена. А у нас этим занимается целая команда. Мы стараемся делать основной упор на качество материалов, на высокий уровень технической поддержки, на помощь нашим клиентам в решении технологических вопросов. Принцип, который мы исповедуем, такой же, как и много лет назад: не так важна цена литра или килограмма, как эффект от его применения в итоговой себестоимости продукции.

Весной прошлого года¹ вы говорили, что материалы собственного производства занимают в объеме поставок вашей компании около 20 %, а в перспективе трех-четырех лет планировалось, что на них будет приходиться примерно 40 % ее доходов. Видно ли сейчас, что эти планы реалистичны?

По выручке за прошлый год на материалы собственного производства у нас пришлось 25 %. Если говорить о доходе, там картина немного другая, но так или иначе доля собственных продуктов в структуре продаж растет от месяца к месяцу. Могу сказать, что флагманы российской электроники используют наши материалы. Но при этом мы не хотим форсировать события и движемся ак-

¹ Журнал «ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес». 2025. № 3. С. 28–32.

курратно. Так, один наш крупный клиент около года назад испытал пасту «Солиус Н1» и был готов полностью перейти на нее. Но мы сказали: «Нет, давайте сначала попробуем поставки в параллель с прежней пастой в соотношении 25/75, потом 50/50, потом 75/25». И только сейчас мы подошли к тому моменту, когда мы будем готовы перевести клиента на наш продукт на 100%. Мы притормозили этот процесс сознательно, чтобы убедиться, что всё делаем правильно.

Конечно, не всё получается так, как запланировано. Некоторые материалы, например, мы планировали выпустить еще весной-летом прошлого года, но до сих пор работаем над ними. Как говорится, «скоро сказка сказывается, да не скоро дело делается». И здесь вопрос даже не в деньгах, а во времени, которое необходимо разработчикам. Свои изменения вносит также время получения образцов компонентов для разрабатываемых продуктов.

Сказывается и то, что нам не у кого учиться: никто не делится знаниями о том, как разрабатывать материалы, какие использовать компоненты, чтобы улучшить их свойства. Поэтому разработка ведется в том числе путем проб и ошибок. В области паяльных паст мы сейчас дошли до некоторого порога, который, надеюсь, в ближайшее время преодолеем и предоставим нашим клиентам еще два-три принципиально новых продукта. Главная задача, которую мы ставим перед собой, – сделать отличный собственный флюс-связку. Мы знаем, что конкуренты, называя себя производителями паст, покупают готовые флюсы и замешивают их с порошком. Это их путь, но он очень ограниченный и, на наш взгляд, не несет в себе стратегической ценности и опоры для отрасли. Мы хотим сделать свой продукт «от А до Я». И делаем его, хотя и позже, чем планировали изначально.

В том же интервью вы говорили, что большую часть сырья для ваших материалов приходится импортировать. То есть всё же «сделать свой продукт от А до Я» не получается, и сохраняется определенная зависимость от зарубежных поставок?

Действительно, тогда я именно так отвечал на вопрос о том, что в наших материалах российское. Но поскольку данный вопрос очень важный и часто беспокоит наших клиентов, я обозначу основные связанные с этим моменты, хотя частично мне придется повториться.

Сам термин «импортозамещение» – спорный, так как полностью уйти от зарубежного сырья пока что невозможно. В общей сложности в наших продуктах мы используем более 100 сырьевых компонентов. В России мы покупаем менее 20 из них. Не потому, что не хотим, а потому, что их просто нет. Ждем, надеемся и верим...

Однако закупку сырья много проще диверсифицировать, чем закупку готовых материалов, и зависимость здесь всё-таки слабее. Вместо одного поставщика, такого как Zestron или HumiSeal, можно работать со множеством производителей. Мы выбираем лучшее

сырье от мировых лидеров, но альтернативы есть всегда. Например, по порошку припоя у нас три утвержденных поставщика, которые прошли аттестацию. Общий список – более десяти. И немаловажно, что срок хранения сырья обычно дольше, чем у готовой продукции, и можно поддерживать его большие складские запасы. Например, для жидкостей «Гидронол» мы держим запасы сырья и готовой продукции на 8–9 месяцев. Это обеспечивает надежность отгрузок клиентам и дает время на перестройку цепочек при сбоях поставок сырья.

Мы сами не изготавливаем и не планируем изготавливать сырье. Но так же работает большинство производителей материалов. Тот же Zestron не делает растворители, он покупает их у тех, кто на этом специализируется. Производителю материалов для электроники строить завод для изготовления растворителя, который используется в других отраслях, в том числе в лакокрасочной, нет большого смысла. Разве что, его планы не ограничиваются электроникой.

Есть ли у вас понимание, что сейчас нужно рынку в первую очередь?

У нас более 1 300 клиентов, наши материалы работают в тысячах производственных процессов. Это достаточно большая доля рынка, которая позволяет иметь системное представление о потребностях отрасли. Плюс мы видим конкурентов и поставляемые ими материалы. Поэтому понимание запроса рынка у нас, конечно, есть.

Прежде всего, мы видим запрос на паяльные пасты. Создать хорошую бессвинцовую пасту и новую пасту со свинцовым сплавом – для нас дело чести, потому что вдвойне обидно, что отечественные производители продолжают покупать американские пасты втридорога, потому что российские материалы не обеспечивают нужных им свойств. Работаем и над низкотемпературной пастой, так как поставки материалов с висмутом из Китая сейчас крайне затруднены.

Далее – влагозащита. Мы сделали, как мы считаем, очень хороший продукт – уретановый лак «Элтрин У1». Но нужны и акриловые лаки. Хорошие акриловые лаки в России не производятся, а они необходимы в ряде областей, например в автопроме. Есть ряд задач, где нужны лаки с УФ-отверждением, а их в нашей стране никто не изготавливал. Нет и отечественных лаков на водной основе. Поэтому мы активно работаем над созданием влагозащитных покрытий.

Работаем мы и над решениями для микроэлектроники. Сегодня у нас порядка десяти проектов в области материалов для полупроводниковых производств. Разрабатываем материалы, которые могут найти применение у флагманов отрасли, и уже проводим испытания вместе с нашими клиентами. В основном это проявители, растворители, жидкости для отмычки пластин. Реализуем проекты по расфасовке высокочистой химии, что оказалось нетривиальной задачей. Часть химии мы поставляем в бочках объемом 200 л, а некоторым кли-

ентам может быть нужен всего один литр или галлон. Но многие материалы просто так не перелить из тары в тару в связи с их экстремально высокой чистотой. Это требует применения специального оборудования и чистого помещения, а также особо чистой тары, которую весьма непросто найти. Активно работаем в этом направлении.

Не обходим стороной и вопрос корпусирования ЭКБ и сборки гибридных ИС. Учитывая некоторую близость данного направления к сборке печатных узлов, мы имеем ряд ранних наработок и для задач в этой области, таких как: монтаж кристаллов, создание выводов на уровне кристалла, отмывка и пайка. Здесь тоже используются отмывочные жидкости, паяльные пасты и флюсы. Требования к ним иные, чем в сборке печатных узлов, но наши компетенции и опыт позволяют начать разработку и таких материалов. Однако потребность в этих продуктах пока невелика, и мы надеемся на рост объемов производства и количества проектов отечественных предприятий, занимающихся данной тематикой.

Список того, что мы сейчас могли бы разрабатывать, включает, наверное, десятка два позиций, но нужно расставлять приоритеты. Думаю то, что я перечислил, составляет наш план работ на ближайшие год-два. Когда мы это сделаем, тогда подумаем, что делать дальше.

В прошлом году мы серьезно инвестировали в оборудование. Запустили линию по производству паяльных паст, приобрели участок для изготовления влагозащитных покрытий с реактором для полноценного синтеза, оснастили лабораторию дополнительным оборудованием. И сейчас такое ощущение, что вся основа создана, и надо работать с клиентами, внедрять наши материалы в техпроцессы. Продукты, которые мы сейчас разрабатываем, мы тоже сможем производить на имеющемся оборудовании.

Вы сказали, что ваша компания старается делать основной упор в том числе на высокий уровень технической поддержки. Требуется ли это особой организации ее процессов, внедрения новых подходов?

С начала 2022 года значимость техподдержки радикально выросла и для нас, и для клиентов. В отрасли существенно изменился перечень применяемых материалов. Переход на аналог без помощи со стороны инженеров поставщика затруднен, особенно если аналог китайский, так как российской компании не всегда просто объяснить китайскому производителю, что ей нужно. Кроме того, как я уже говорил, заметно усложнились производимые в России изделия, что вызвало большое количество вопросов по применению материалов. Поэтому сейчас у нас инженеры техподдержки нарасхват, они загружены на 100 %.

Не могу сказать, что это требует каких-либо новых или особых подходов. В принципе, наша техподдержка делает то, что делала ранее, просто намного больше. Из сравнительно нового, наверное, могу отметить, что

мы стали проводить больше испытаний в собственной лаборатории и тем самым помогаем клиентам более глубоко понять причины возникающих проблем. Например, недавно у нас был случай: у клиента возникли сомнения в сплаве паяльной пасты, купленной, кстати, не у нас. Он обратился к нам. Мы провели анализ сплава и подтвердили, что с ним всё в порядке. После этого мы вместе с клиентом перешли к вопросам оптимизации технологии. Еще один пример: у клиента забивался флюсователь, и он никак не мог понять причину. Мы взяли трубки с загрязнениями, привезли в лабораторию, провели химанализ и на его основе дали точные рекомендации, что нужно сделать, чтобы эти отложения не формировались.

Кроме того, мы у себя проводим оценку чистоты припоев для пайки волной. Это нужно делать регулярно. Раньше мы отправляли образцы в Германию, а сейчас выполняем это здесь, в России.

Мы будем и далее развивать техподдержку. Она была и остается ключевым элементом нашей работы. А сейчас она усилена химиками. Мы не просто видим, работает материал или нет, а можем дойти до сути проблемы вплоть до состава материала.

Ваша компания, как, собственно, и Группа компаний Остек в целом, всегда позиционировала себя как поставщик не просто материалов и оборудования, но знаний и технологий. В этот подход гармонично вписывались тренинги по стандартам IPC. Существует ли сейчас это направление в компании?

Доступ к официальным тренингам IPC нам закрыли, но компетенции и опыт остались, и людям сейчас нужны знания, а не «корочка». Работу по обучению мы продолжаем, и она крайне востребована. На мой взгляд, помимо непосредственного обмена опытом между специалистами, лучшего источника знаний, чем стандарты IPC, сегодня нет. Наши тренинги по IPC-A-610 на данный момент расписаны до мая включительно. Недавно один клиент запросил у нас обучение более 40 своих сотрудников по этому стандарту. Первая часть обучения уже проведена на площадке заказчика, завершить его планируем весной.

По IPC-A-610 мы обучаем стабильно 50–60 человек в год, этот тренинг остается наиболее востребованным. Сейчас работаем над тем, чтобы глубже использовать последнюю редакцию стандарта. Также у нас есть сокращенные варианты, сконцентрированные, например, на определенном техпроцессе.

Так что это дело живет, и мы продолжим уделять большое внимание вопросам обучения, поскольку это, наверное, одна из основных возможностей развития компетенций нашей отрасли, в чем мы очень заинтересованы и чему стараемся максимально содействовать. □

Спасибо за интересный рассказ.

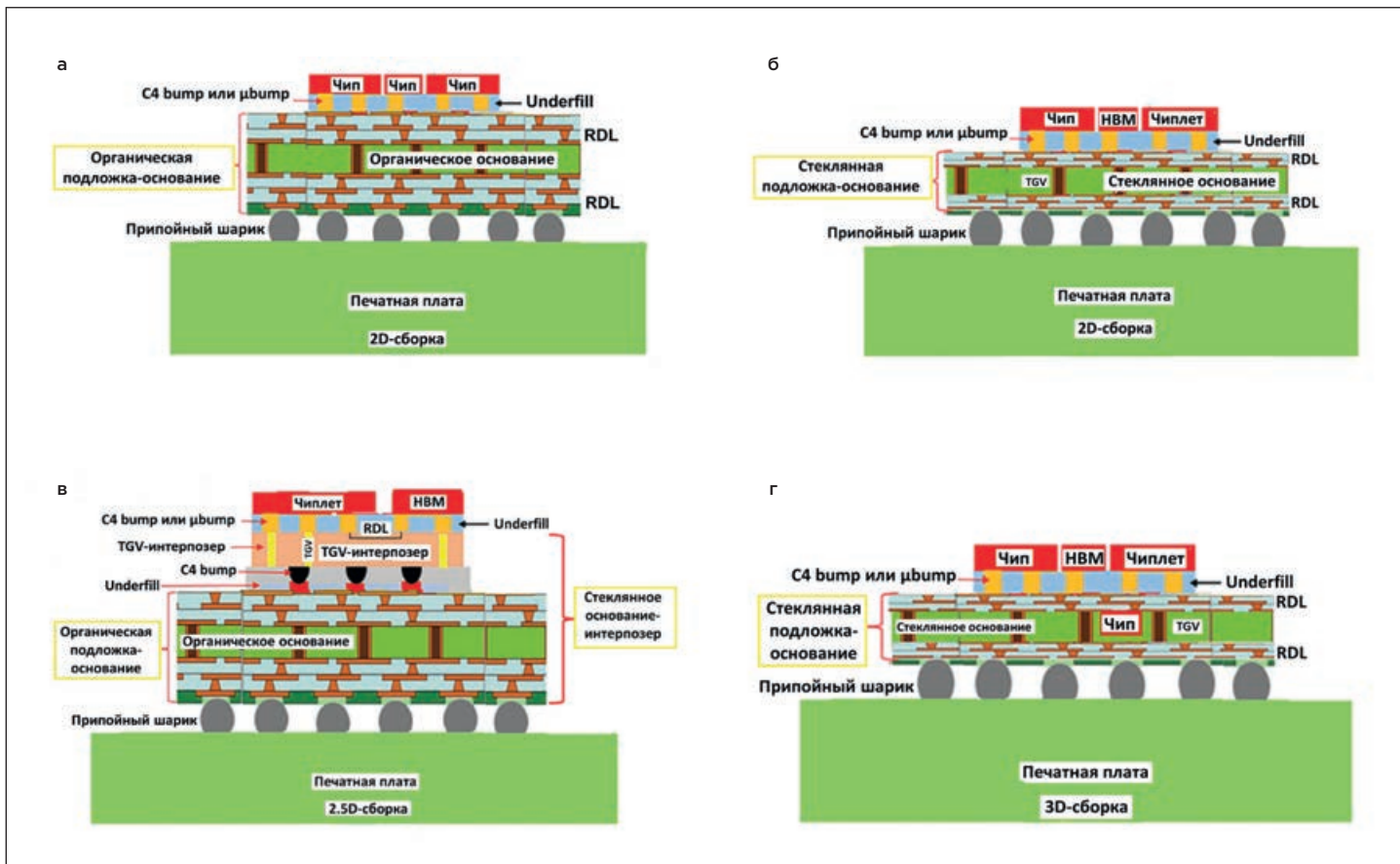
ТЕХНОЛОГИИ

Влияние стеклянного интерпозера со сквозными отверстиями на надежность паяного соединения

Текст: Дмитрий Суханов



В настоящее время в мире микроэлектроники всё больше говорят о технологии сквозных отверстий в стекле (through-glass vias - TGV) и их применении в различных современных устройствах. Давайте рассмотрим влияние, которое оказывает стеклянная подложка-основание с TGV на надежность паяных соединений при его использовании на печатной плате (PCB).



1 а) Основание – органическая подложка; б) основание – стеклянная подложка; в) стеклянный интерпозер; г) 3D-интеграция ИС со стеклянной подложкой. Источник: Effect of a through-glass via (TGV) substrate on solder joint reliability» By John H. Lau (Unimicron Technology Corporation). Chip Scale Review September – October, 2025

Сначала кратко напомним о преимуществах и недостатках стеклянной подложки-основания по сравнению с обычной органической подложкой-основанием, а также о TGV и слоях перераспределения (redistribution layer – RDL).

Преимущества и недостатки корпусирования на стеклянный носитель

Преимущества:

- а) сверхвысокая плоскостность для улучшения глубины резкости при литографии;
- б) стабильность размеров, необходимая для чрезвычайно плотного наложения межсоединений между слоями;
- в) более высокая плотность межсоединений;
- г) более высокая механическая стабильность для корпусов сверхбольшого форм-фактора с высоким выходом годных изделий при сборке;
- д) повышенная гибкость для правил проектирования в области подачи питания и маршрутизации сигналов;
- е) наилучшие решения для одновременной высокоскоростной передачи сигналов и питания;
- ж) более высокая устойчивость к высоким температурам;

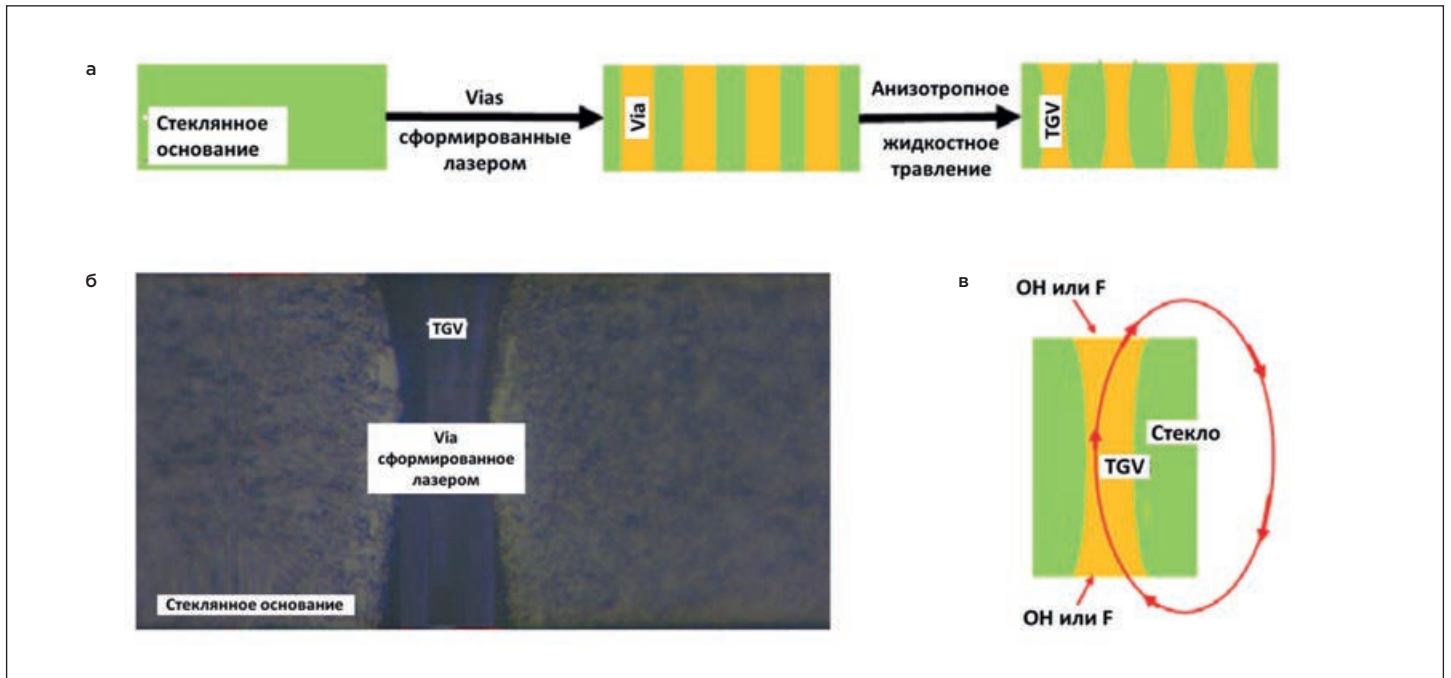
- з) возможность бесшовной интеграции оптических межсоединений.

К недостаткам можно отнести:

- а) более высокую стоимость материалов;
- б) более высокую стоимость производства;
- в) более высокие потери выхода продукции;
- г) хрупкость;
- д) сложности в обращении;
- е) трудности в изготовлении TGV;
- ж) размягчение стекла при высоких температурах;
- з) специальное и дорогостоящее оборудование.

Стеклянная подложка-основание против стеклянного интерпозера

Часть корпусирования на стеклянную подложку-основание показана на рис 1: органическая подложка-основание при корпусировании (рис 1а) заменена стеклянной подложкой-основанием (рис 1б). Традиционный интерпозер со сквозными отверстиями в кремнии (through-silicon via – TSV) заменен на интерпозер TGV (рис 1в). Такое корпусирование можно отнести к интеграции 2,5D для производства интегральных схем (ИС). Видно, что интерпозер TGV, поддерживающий чипы, также поддерживается органической подложкой, как показано на рис 1в. И, наконец, чип встраивается в стеклянную



2

а) Технологический процесс изготовления TGV; б) изображение TGV, полученное с помощью СЭМ; в) механизм травления раствором.

Источник: Effect of a through-glass via (TGV) substrate on solder joint reliability» By John H. Lau (Unimicron Technology Corporation). Chip Scale Review September - October, 2025

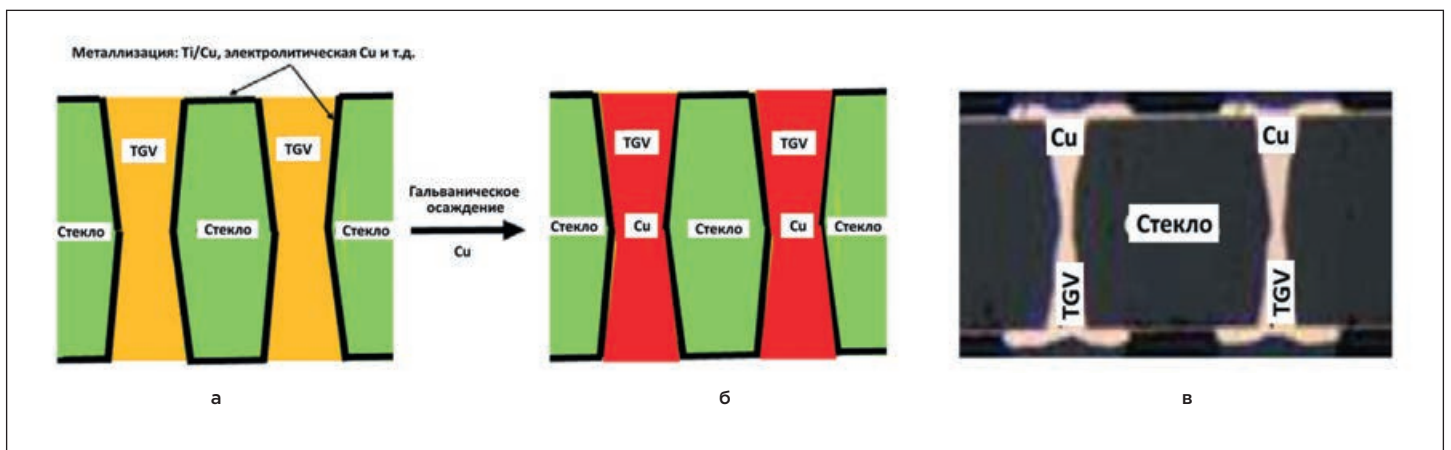
подложку для финального корпусирования – то есть мы переходим к полноценной интеграции 3D-ИС (рис 1 г).

TGV и RDL – что и как

Процессы изготовления TGV и TSV сильно отличаются друг от друга. Для большинства TSV это метод глубокого реактивного ионного травления (DRIE). Однако сегодня большинство TGV изготавливаются методом лазерного сверления. Один из таких методов – глубокое лазерное травление (laser-induced deep etching – LIDE). Наиболее часто используемыми материалами стекла служат бесщелочное стекло и высокочистое некристаллическое плавленое кварцевое стекло. Оба материала

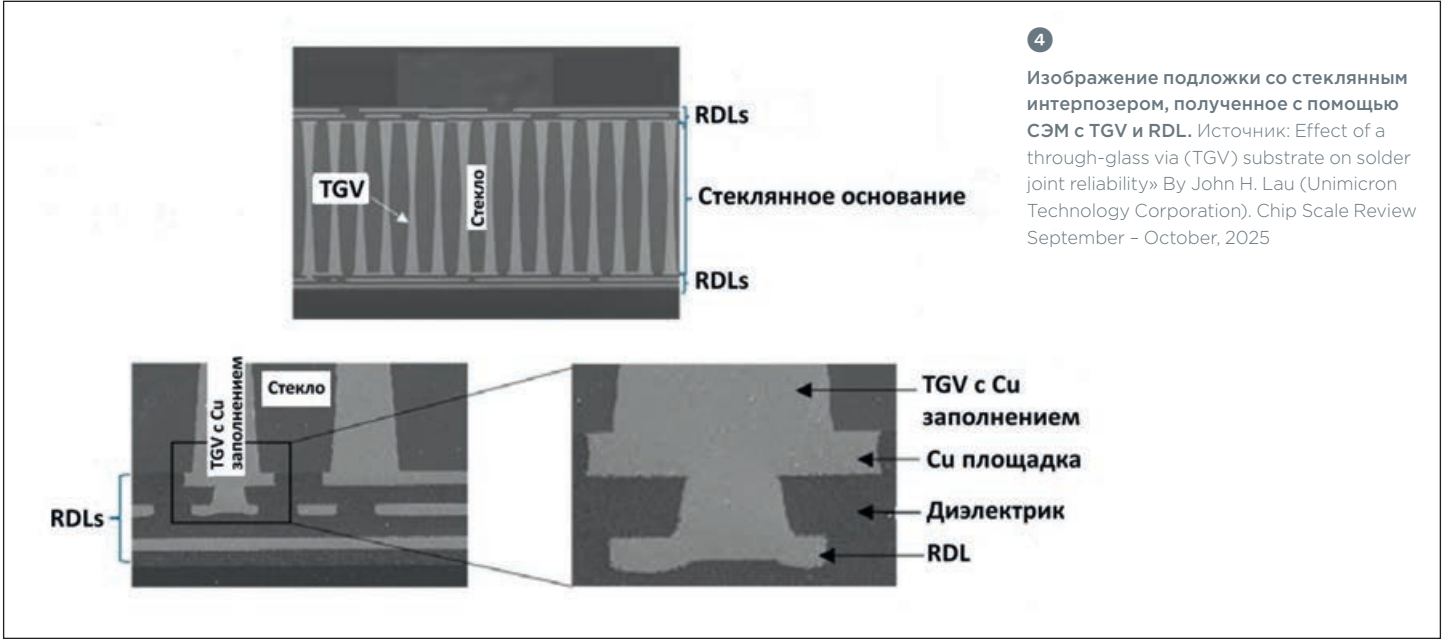
имеют низкие коэффициенты теплового расширения (КТР), близкие к КТР кремния.

Технологический процесс изготовления TGV показан на рис 2 а. Переходные отверстия формируются высокоскоростным лазером, а модифицированная область стекла удаляется анизотропным влажным химическим травлением, например, плавиковой кислотой (HF) или гидроксидом натрия (NaOH). На рис 2 б показано изображение типичного TGV. Видно, что на переходном отверстии имеется конусный угол. Наличие такого конуса обусловлено скоростью циркуляции и температурой травильного раствора, а также разницей концентраций травильного раствора. Такие технологические особен-



3

а) Металлизация боковой стенки TGV; б) заполнение медью; в) TGV, заполненные медью. Источник: Effect of a through-glass via (TGV) substrate on solder joint reliability» By John H. Lau (Unimicron Technology Corporation). Chip Scale Review September - October, 2025



4

Изображение подложки со стеклянным интерпозером, полученное с помощью СЭМ с TGV и RDL. Источник: Effect of a through-glass via (TGV) substrate on solder joint reliability» By John H. Lau (Unimicron Technology Corporation). Chip Scale Review September - October, 2025

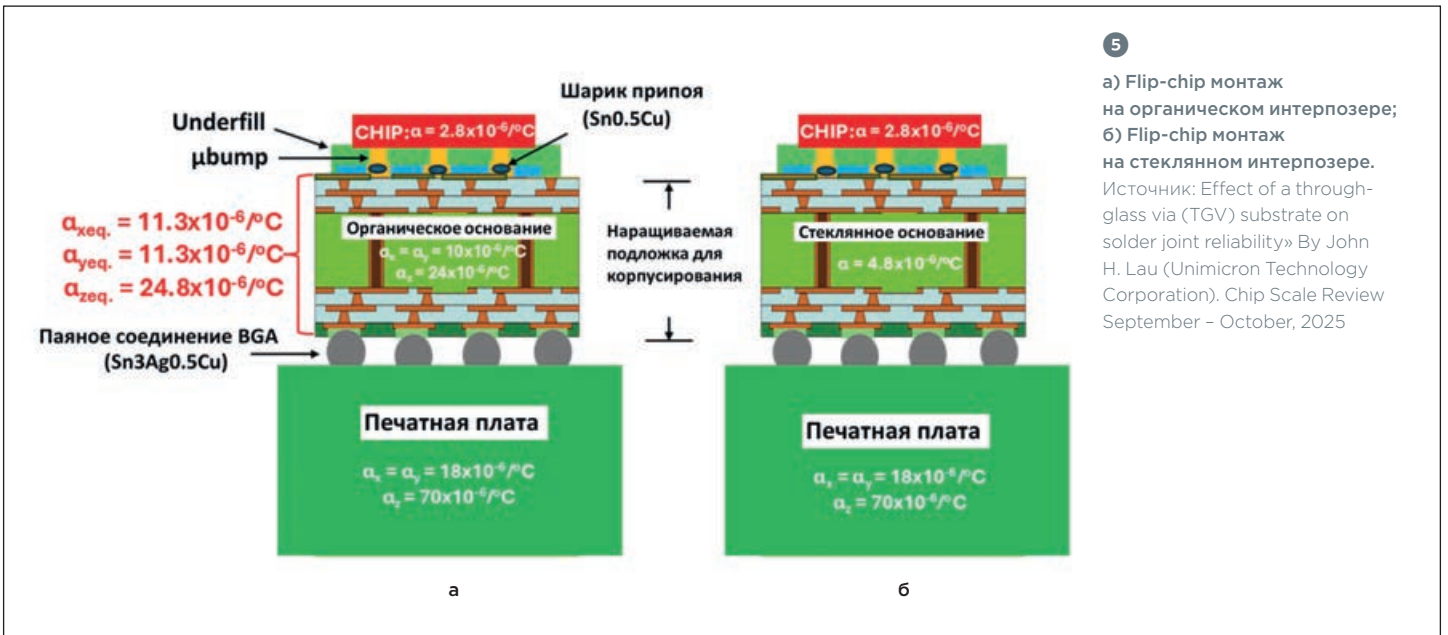
ности приводят к перемещению внешнего ионизатора внутрь и его заполнению, как показано на рис 2В. Чем выше скорость травления, тем больше конусный угол.

Затем следует металлизация затравочного слоя, который может быть из такого материала как Ti/Cu, химическое осаждение меди и т. д. (рис 3а). Затем для заполнения переходного отверстия проводится электролитическое осаждение меди (рис 3б). На рис 3в показано изображение заполненных медью межсоединений TSV. Технологический процесс изготовления слоев RDL стеклянного основания очень похож на технологический процесс, используемый для изготовления слоев RDL межсоединений TSV. Для $L/S \geq 2$ мкм (L/S – line / space – линия / зазор) в качестве диэлектрических материалов используются либо фотоэлектрический материал (rho-

to-imageable dielectric – PID), либо специальная пленка (Ajinomoto build-up film – ABF). Для $L/S < 2$ мкм – SiO_2 . Для $L/S \geq 10/15$ мкм в качестве диэлектрического материала может использоваться смола. На рис 4 показаны изображения заполненных медью межсоединений TSV с нанесенными слоями RDL, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ).

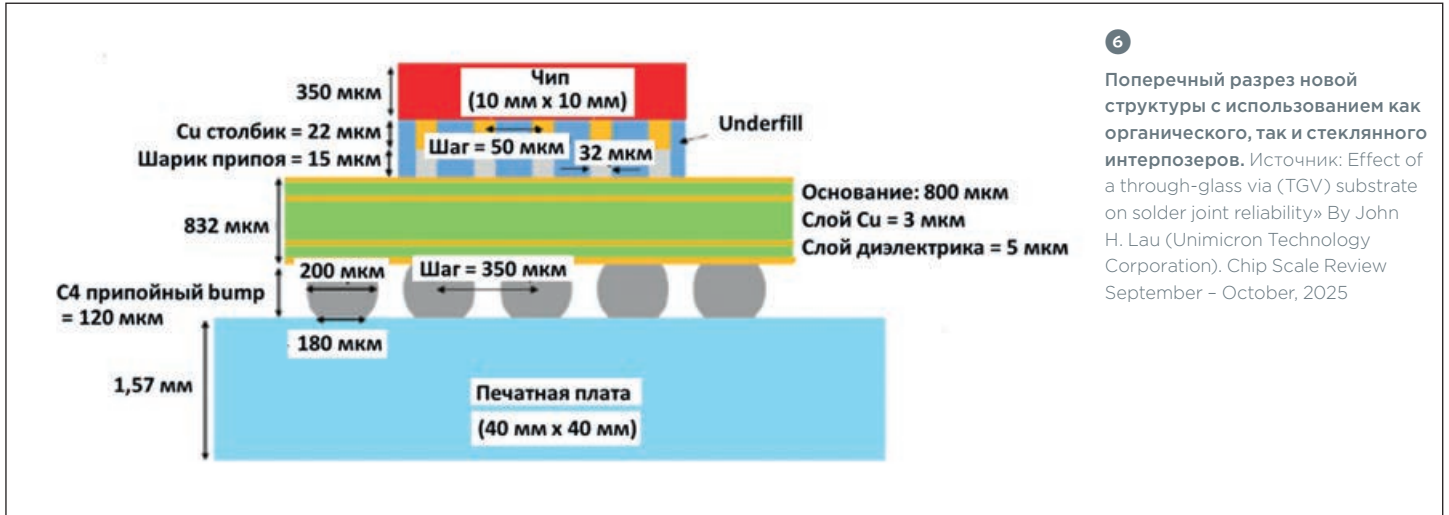
Что послужило мотивацией для появления TGV?

До настоящего времени проблемы надежности при использовании стеклянных подложек-оснований мало обсуждались в мире микроэлектроники. Давайте рассмотрим такие структуры на рис 5. Рис 5а соответствует устройству с flip-chip на органической подложке-осно-



5

а) Flip-chip монтаж на органическом интерпозере; б) Flip-chip монтаж на стеклянном интерпозере. Источник: Effect of a through-glass via (TGV) substrate on solder joint reliability» By John H. Lau (Unimicron Technology Corporation). Chip Scale Review September - October, 2025



6

Поперечный разрез новой структуры с использованием как органического, так и стеклянного интерпозеров. Источник: Effect of a through-glass via (TGV) substrate on solder joint reliability» By John H. Lau (Unimicron Technology Corporation). Chip Scale Review September - October, 2025

вании, а рис 5б – устройству с flip-chip на подложке со стеклянной подложкой-основанием. Чтобы обеспечить надежность паяного соединения микроконтактов между чипом и подложкой многослойного корпуса, коэффициент теплового расширения (КТР) стеклянной подложки-основания стараются сделать как можно ближе к КТР кремниевого чипа. Но в этом случае увеличивается несоответствие ТКР между подложкой многослойного корпуса со стеклянной подложкой-основанием и печатной платой, а надежность паяных соединений в корпусе типа «шариковая матрица» (ball grid array – BGA) вызывает сомнения.

Что должно быть в идеале?

КТР стеклянной подложки-основания не должен быть близок к КТР кремниевого чипа ($2,8 \times 6/^\circ\text{C}$), а должен быть, скорее, ближе к КТР печатной платы ($18,5 \times 6/^\circ\text{C}$).

На показанной структуре микроконтакт изготовлен из припоя Sn0.7Cu (температура плавления = 227°C), а припой BGA-соединения – из Sn3Ag0.5Cu (или SAC, температура плавления = 217°C). Оба припоя обеспечивают надежность паяных соединений при термической усталости. Все материалы считаются постоянными за исключением припоя (Sn3Ag0.5Cu), свойства которого зависят от времени и температуры. Кроме того, припой Sn3Ag0.5Cu и Sn0.7Cu подчиняются уравнению вязкопластичности Ананда.

На рис 6 схематически показана новая структура. Кремниевый чип ($10\text{ мм} \times 10\text{ мм} \times 350\text{ мкм}$) поддерживается многослойным корпусом с использованием традиционного материала – органическое основание (толщина 800 мкм) и нового материала – стеклянного основания (толщина 800 мкм). На верхней и нижней сторонах этих оснований расположены два многослойных покрытия, изготовленных методом фотопроявляемого диэлектрика (photoimageable dielectric – PID) для диэлектрического слоя (толщиной 5 мкм) и электрохимического осаждения меди (electrochemical deposition – ECD) для металлического слоя (толщиной 3 мкм).

Давайте обратим отдельное внимание на срок службы паяных соединений при термической усталости.

Простое уравнение термической усталости для бесвинцовых паяных соединений имеет вид:

$$N_f = \sum_j \alpha_j \left[\frac{\sum_i \Delta W_i \cdot x V_i}{\sum_i V_i} \right]^{\beta_j}$$

Источник: Effect of a through-glass via (TGV) substrate on solder joint reliability» By John H. Lau (Unimicron Technology Corporation). Chip Scale Review September - October, 2025

где N_f – термическая усталостная долговечность паяного соединения, а α_j и β_j (отрицательное значение) – константы, определяемые экспериментальным путем, например, изотермическими испытаниями на усталость для конкретного компонента или корпуса и паяного соединения. ΔW_i – накопленная плотность энергии неупругой деформации за цикл в элементе зазора, определяемая с помощью конечно-элементного моделирования, а V_i – объем этого элемента зазора.

Видно, что чем больше накопленная плотность энергии неупругой деформации за цикл, тем меньше (короче) термическая усталостная долговечность паяного соединения.

Немного о накопленной неупругой деформации в микроконтактных паяных соединениях между чипом и подложкой

Различные исследования показали, что максимальная неупругая деформация возникает в углах в небольшой локальной области в месте пайки микроконтакта. Максимальная эквивалентная неупругая деформация в углу микровыступа (bump) на подложке со стеклянным основанием меньше, чем на подложке с органическим основанием, причем в два раза. Это объясняется тем, что разница в термическом расширении между стеклянной подложкой и кремниевым чипом меньше, чем между органической подложкой и кремниевым чипом.


А вот ситуация в угловом паяном соединении при использовании BGA в сборке с flip-chip абсолютно противоположна. Максимальная эквивалентная неупругая деформация в угловом паяном соединении BGA со стеклянной подложкой больше, причем тоже в два раза, по сравнению с органической подложкой. Это объясняется тем, что разница в ТКР между стеклянной подложкой-основанием и печатной платой больше, чем между органической подложкой-основанием и печатной платой.

В качестве заключения кратко подведем итоги

- Доказана устойчивость к термической усталости паяных соединений микроконтактов с flip-chip на стеклянной подложке-основании при многослойном корпусировании и паяных соединений BGA на печатной плате, а также приведено сравнение аналогичной структуры на стандартной подложке из органического материала при многослойном корпусировании.
- Максимальная накопленная эквивалентная неупругая деформация в паяном соединении микроконтакта меньше в два раза в структуре со стеклянной подложкой-основанием, чем в структуре с органической подложкой-основанием.
- Максимальная накопленная эквивалентная неупругая деформация в паяном соединении BGA в два раза больше в структуре со стеклянной подложкой-основанием, чем в структуре с органической подложкой-основанием.
- При корпусировании с использованием высоких температур для обеспечения надежности пая-

ного соединения микроконтактов на подложке обычно требуется заполнение подложки компаундом (подзаливка – underfill). Однако андерфилл редко используется в качестве подложки-основания для корпусирования на печатных платах, т. к. после данного процесса невозможно провести любую доработку. Поэтому для обеспечения надежного паяного соединения BGA необходимо, чтобы разница в тепловом расширении между подложкой корпуса и печатной платой была как можно меньше – особенно для больших сборок.

К сожалению, в настоящее время, стеклянные подложки для процесса корпусирования развиваются в неправильном направлении. Например, ТКР стекла приближается к ТКР кремния ($\alpha = 2,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) и отдалается от ТКР печатной платы ($\alpha = 18,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), а при выборе свойств материала, таких как ТКР стеклянной подложки, рекомендуется проявлять осторожность, учитывая разницу в тепловом расширении между стеклянной подложкой и печатной платой – особенно для многослойных сборок большого размера по площади.

В реальности ТКР стеклянной подложки должен быть ближе к ТКР печатной платы, поскольку на стеклянной подложке имеется защита микроконтактов из припоя в виде андерфилла, тогда как на печатной плате такой защиты нет – особенно для больших по площади сборок на стеклянном основании. 

Использованные материалы

1. «Effect of a through-glass via (TGV) substrate on solder joint reliability» By John H. Lau (Unimicron Technology Corporation). Chip Scale Review September – October, 2025.



СВЧ-плазма 2,45 ГГц:

эффективная очистка зазоров
в flip-chip-технологиях перед
заливкой андерфиллом

Текст: Илья Вознесенский

”

В современной микроэлектронике технология flip-chip (технология монтажа интегральных микросхем, при которой кристалл переворачивается «лицом» вниз и соединяется с подложкой или печатной платой напрямую через паяные шарики (bump), а не через тонкие проволоки, как при традиционной проволочной разварке) стала стандартом для высокопроизводительных процессоров, графических чипов, сенсоров и мощных силовых модулей.

Процесс начинается на пластине (рис 1): на контактных площадках кристалла формируются бампы из припоя. После резки пластины кристаллы переворачиваются и с высокой точностью монтируются на подложку с контактными площадками. Для удаления оксидов и обеспечения хорошей смачиваемости на бампы наносится тонкий слой флюса, примерно на половину высоты бампа. Затем сборка поступает в печь оплавления, где при температуре до 220–260 °С припой плавится, формируя надежные интерметаллические соединения. При этом за счет сил поверхностного натяжения происходит самоцентрирование чипа.

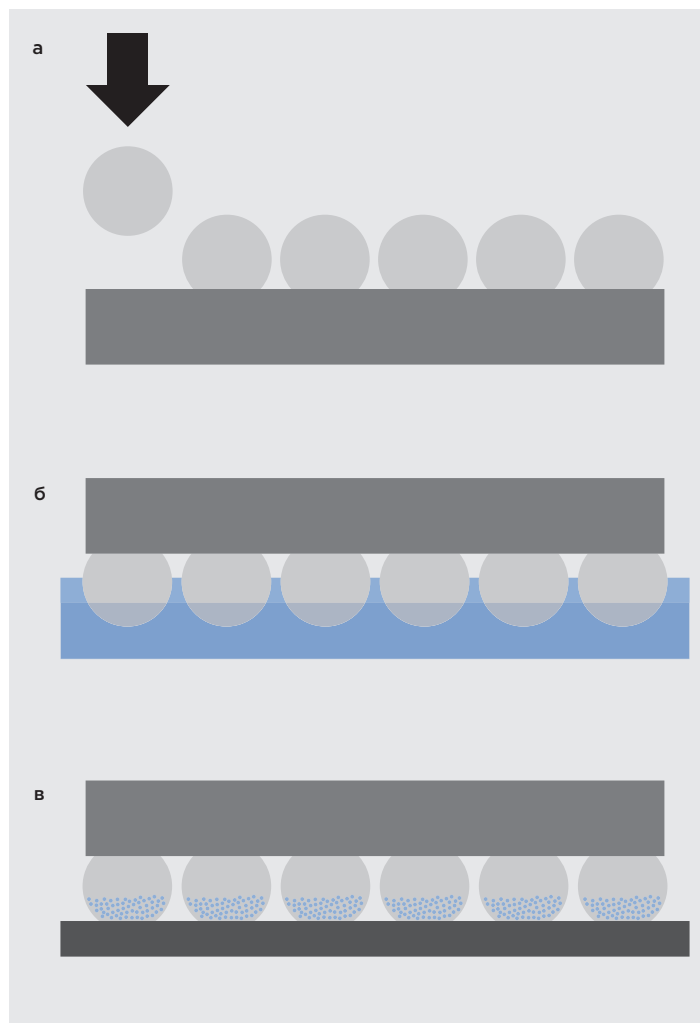
Нанесение андерфилла (специального полимерного герметизирующего материала) необходимо для защиты контактов flip-chip-сборок от воздействия внешней среды: влаги, агрессивных газов и термомеханических нагрузок, что существенно повышает надежность и долговечность сборки.

Однако после пайки в узком зазоре между кристаллом и подложкой (высотой 50–100 мкм) остаются остатки флюса, органические загрязнения и тонкие оксидные пленки. Наличие этих загрязнений препятствует равномерному растеканию андерфилла, приводит к образованию пустот и снижению адгезии. Кроме того, сам флюс является источником ионных примесей, которые вызывают электрохимическую миграцию и коррозию контактов, а также выделяют газы при последующем нагреве, что может приводить к расслоению материала и дальнейшей деградации сборки. Поэтому качественная очистка поверхности перед нанесением андерфилла является критически важным этапом технологического процесса.

Классические методы очистки (водная отмывка, отмывка растворителями, ультразвуковая очистка) практически не обеспечивают эффективное удаление загрязнений из столь узких зазоров: часто после их применения остаются влага или химические соединения. Безотмывочные флюсы решают проблему частично, но не подходят для высоконадежных приложений в автомобилестроении, авионике и медицинской технике, где требуется практически идеальная чистота.

В последние 15–20 лет высокотехнологичным стандартом очистки изделий перед заливкой андерфиллом стала микроволновая плазменная обработка с частотой генерации 2,45 ГГц, той же, что используется в обычных СВЧ-печах. Активные частицы плазмы проникают глубоко под кристалл, удаляют органику и одновременно активируют поверхности, повышая их смачиваемость. Процесс полностью сухой, экологически чистый и занимает всего 1–5 минут.

В настоящей статье мы подробно рассмотрим принцип действия СВЧ-плазмы: причины более высокой проникающей способности радикалов по сравнению с ионами, функциональную роль метастабильных и инертных газов, локализацию химических реакций, причины практически полного отсутствия пустот в



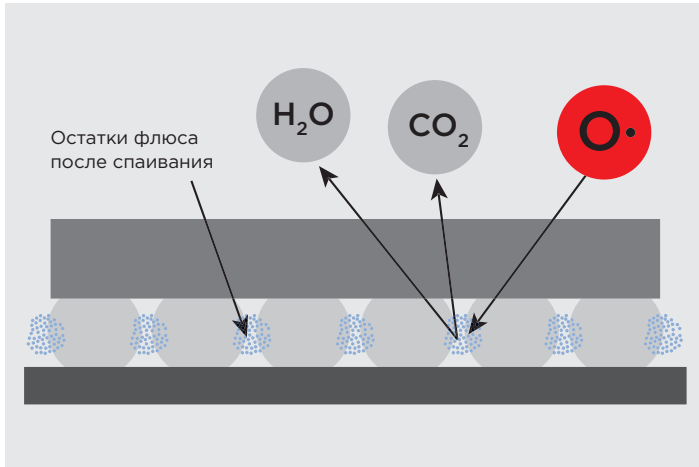
1

Процесс flip-chip-монтажа: а – монтаж бампов; б – переворачивание и флюсование; в – монтаж чипа на подложку или пластину и дальнейшее спаивание

процессе заливки андерфиллом при применении данного метода. Также сравним плазменную очистку с альтернативными подходами: использованием безотмывочных флюсов, водной отмывкой, центрифугированием и лазерной очисткой.

Принципы работы СВЧ-плазмы на частоте 2,45 ГГц

Частота 2,45 ГГц относится к ISM-диапазону радиочастотного спектра, зарезервированного на международном уровне для промышленных, научных и медицинских применений, за исключением телекоммуникаций. Электромагнитные волны данной частоты легко генерируются недорогими магнетронами мощностью 300–2000 Вт и эффективно поглощаются большинством технологических газов при давлении 0,1–2 Торр. В отличие от высокочастотной плазмы (13,56 МГц), микроволновая плазма характеризуется значительно более высокой плотностью электронов (10^{11} – 10^{13} см⁻³). При этом возможна работа



2
Очистка остатков флюса свободными радикалами кислорода

как в прямом режиме ионной бомбардировки, так и в дистанционном, когда зона плазменного разряда находится на расстоянии от обрабатываемой сборки, а к чипу поступают только нейтральные частицы.

В типичной промышленной установке микроволны от магнетрона передаются через прямоугольный волновод в кварцевую трубку. В зоне возбуждения формируется область плазменного разряда, где электроны ускоряются электромагнитным полем сверхвысокой частоты (СВЧ) и ионизируют газ. Образующийся поток газа переносит активные частицы в рабочую камеру, где расположен подложкодержатель с flip-chip-сборками.

Для очистки зазоров зачастую используют смесь 85–96 % аргона и 4–15 % кислорода (иногда добавляют 1–5 % SF_6 , H_2 и др.). Давление поддерживается в диапазоне 0,3–1,0 Торр, мощность СВЧ 400–1000 Вт, время обработки 60–300 секунд в зависимости от размера кристалла и типа флюса. Температура в ходе процесса не превышает 80–100 °С, что безопасно даже для самых чувствительных чипов.

Ключевой процесс происходит именно в нейтральной зоне: высокоэнергетичные электроны и ионы быстро рекомбинируют на стенках и не доходят до чипа, а нейтральные метастабильные атомы Ar^m (энергия 11,55–11,72 эВ), радикалы O^\bullet и молекулы кислорода O_2 свободно диффундируют в зазор высотой 50–100 мкм. Там метастабильный аргон сталкивается с молекулами кислорода и вызывает пеннинговскую диссоциацию: одна частица Ar^m инициирует распад молекулы O_2 на два атомарных радикала O^\bullet , которые окисляют органические остатки флюса до CO_2 и H_2O (рис 2). Летучие продукты откачиваются вакуумным насосом.

Одновременно с этим поверхности кристалла и подложки активируются: на них образуются гидроксильные и карбонильные группы, угол смачивания падает с 40–60° до 10–20°, что ускоряет растекание андерфилла в 3–5 раз и практически исключает об-

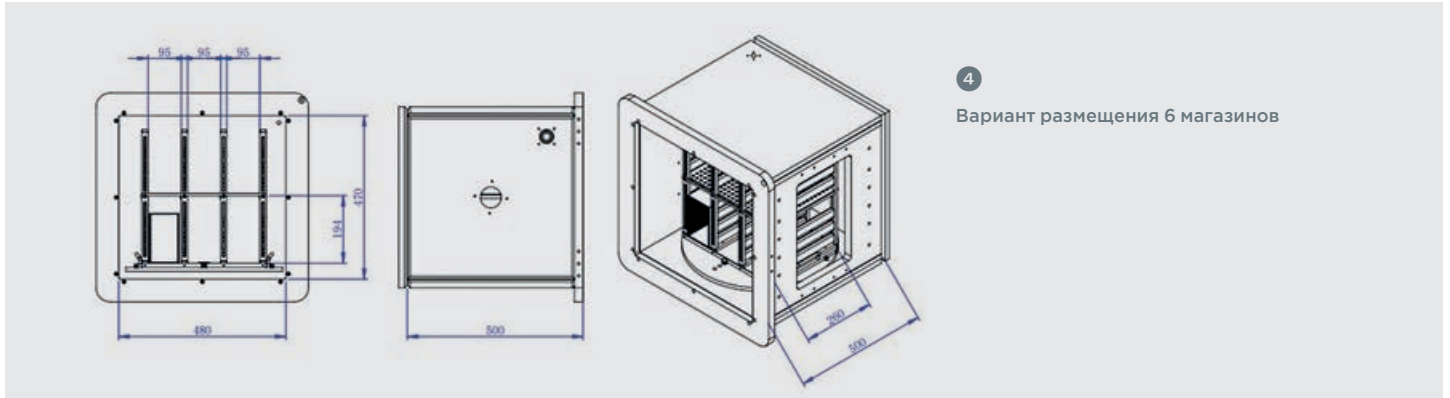


3
Внешний вид системы микроволновой плазменной обработки SDV-D100MW от компании Sindin

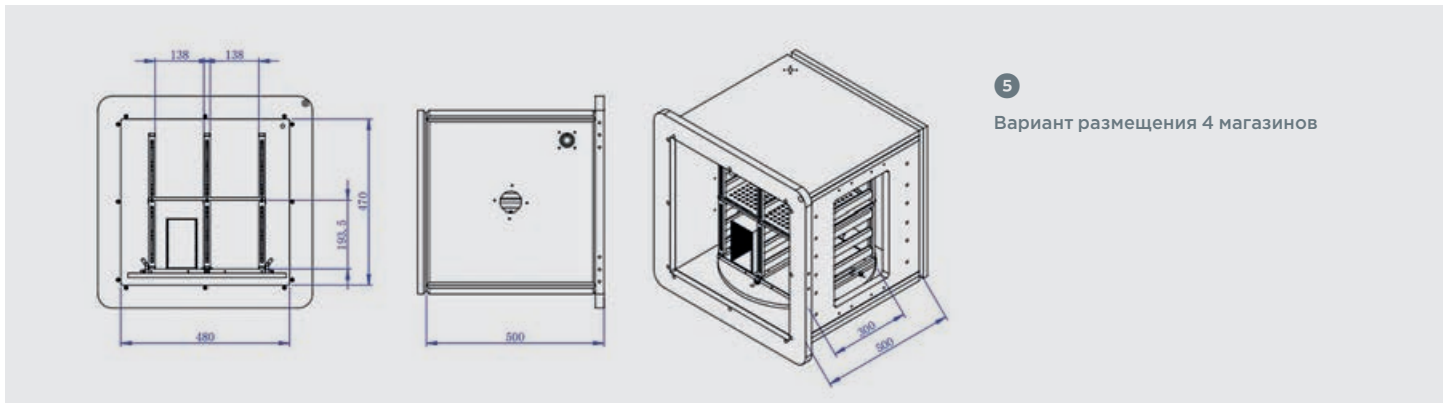
разование пустот. По данным производителей, после правильной плазменной обработки время капиллярного заполнения снижается с 50–90 секунд до 15–25 секунд, а выход годных изделий по критерию отсутствия пустот возрастает с 75–85 % до 98–99,9 %.

Описанный метод микроволновой плазменной очистки в нейтральном режиме реализуется с помощью специализированных вакуумных систем, таких как SDV-D100MW от компании Sindin (рис 3). Эта установка представляет собой вакуумную систему плазменной обработки в СВЧ-диапазоне с генератором мощностью до 1250 Вт и частотой 2,45 ГГц. Микроволны передаются непосредственно в вакуумную камеру через диэлектрическое окно с помощью волноводной антенны, формируя стабильное, однородное и электрически нейтральное плазменное облако. Низкотемпературная и электрически нейтральная плазма обеспечивает бережную обработку без риска термических или электростатических повреждений.

Камера из алюминиевого сплава с толщиной стенок 25 мм имеет внутренние размеры 480 × 470 × 500 мм и позволяет разместить до шести перфорированных магазинов размерами 260 × 95 × 190 мм (рис 4) или до четырех магазинов размерами 300 × 138 × 190 мм (рис 5). Равномерность обработки достигается за счет магнитожидкостного вращающего механизма рабочего стола и использования



4
Вариант размещения 6 магазинов



5
Вариант размещения 4 магазинов

метода электронного циклотронного резонанса (ECR) в перфорированных магазинах. Система оснащена сухим вакуумным насосом, двумя линиями подачи процессных газов (например, Ar и O₂) с контролем потока 0–300 см³/мин и промышленным компьютером с сенсорным интерфейсом.

Общие габаритные размеры установки составляют 1230×1800×1100 мм, весит система около 800 кг, параметры электропитания: AC 380 В, 50 Гц, 40 А. Такая конструкция делает систему SDV-D100MW подходящей для промышленного применения в процессах очистки и активации поверхностей flip-chip-сборок перед нанесением андерфилла.

Роль метастабильного и инертного газов в процессе очистки

В нейтральной СВЧ-плазме (2,45 ГГц) химическое воздействие реализуется не ионами и не быстрыми электронами, а двумя типами нейтральных частиц: метастабильными атомами и радикалами. Благодаря отсутствию заряда они способны проникнуть в зазор 50–100 мкм и донести энергию до самых узких мест под кристаллом.

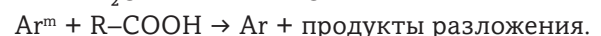
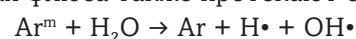
Метастабильным называется возбужденное состояние атома или молекулы, переход из которого в основное состояние запрещен правилами отбора. Поэтому такие частицы обладают длительным временем жизни – от десятков микросекунд до десятков секунд. В плазме СВЧ-разряда главную роль играет метаста-

бильный аргон Ar^m. Время жизни Ar^m в вакууме достигает 40 секунд – этого достаточно, чтобы преодолеть десятки сантиметров и проникнуть в узкий зазор под чипом.

Когда Ar^m сталкивается с молекулой кислорода, происходит пеннинговская диссоциация: Ar^m (11,6 эВ) + O₂ → Ar (основное) + O• + O•. Одна частица метастабильного аргона инициирует образование двух радикалов атомарного кислорода. Эффективность передачи энергии превышает 90 %, поэтому именно этот процесс дает основную долю активного кислорода в зазоре.

Иногда происходит пеннинговское возбуждение с последующей диссоциацией: Ar^m + O₂ → Ar + O₂* → Ar + O• + O•.

При наличии паров воды или гидроксидов в остатках флюса также протекают следующие процессы:



Инертные (благородные) газы, такие как аргон и гелий, химически неактивны в основном состоянии благодаря полностью заполненной внешней электронной оболочке. В плазме они играют роль идеального «курьера»: легко возбуждаются до метастабильных состояний: e⁻ (быстрый электрон из СВЧ-плазмы) + Ar → Ar^m + e⁻ (медленный), несут запас энергии 11–20 эВ, но сами не вступают в реакции с материалами чипа, подложки или припоя. Таким образом, они доставляют энергию именно в те области,

Т 1

Основные метастабильные состояния атомов и молекул в СВЧ-плазме

ГАЗ	СОСТОЯНИЕ	ЭНЕРГИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ, ЭВ	ВРЕМЯ ЖИЗНИ (ВАКУУМ)	ОСНОВНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ
Ar	3P_2 (Ar ^m)	11,55	до 40 с	Пеннинговская диссоциация O ₂
Ar	3P_0	11,72	до 10 с	То же, чуть выше эффективность
He	2 ³ S	19,82	до 7900 с (!)	Очень глубокие зазоры, мощная энергия
He	2 ¹ S	20,61	~0,02 с	Редко, для специальных задач
N ₂	A ³ Σu ⁺	~6,2	1-2 с	Азотная плазма для редукции
O ₂	a ¹ Δ _g	0,98	до 60 минут	Синглетный кислород, слабая активность

где она необходима, и передают ее молекулам O₂, H₂O или остаткам флюса.

В технологических процессах очистки flip-chip-сборок применяют следующие смеси:

- 90–96 % Ar + 4–10 % O₂ – стандартный режим для удаления органических остатков флюса и активации поверхностей;
- 95–98 % Ar + 2–5 % O₂ – мягкий режим для очень чувствительных чипов;
- 90 % Ar + 10 % H₂ – редукционная очистка оксидов меди на подложке;
- 97–99 % Ar + 1–3 % SF₆ – усиленное травление стойких фторсодержащих загрязнений.

Основные метастабильные состояния атомов и молекул в СВЧ-плазме представлены в **Т 1**.

Альтернативные методы очистки от остатков флюса

Несмотря на то, что метод очистки микронэлектронных приборов микроволновой плазмой стал стандартной практикой, существует целый спектр альтернативных методов. Эти подходы направлены либо на предотвращение образования остатков флюса, либо на их удаление с помощью химических, механических или оптических воздействий. Выбор технологии определяется типом сборки, объемом производства и требованиями к надежности. В отличие от плазменной обработки, которая обеспечивает сухую, бесконтактную и равномерную очистку, альтернативы часто дешевле, однако могут уступать в качестве удаления загрязнений и нести дополнительные риски, такие как остаточная влага или механические повреждения.

Наиболее простым и экономичным является профилактический подход, где проблема решается еще на этапе выбора флюса. Безотмывочные и безосадочные флюсы специально разработаны для минимизации остатков после оплавления: они оставляют тонкую, про-

зрачную пленку, которая не проводит электричество и не препятствует растеканию подкристалльной заливки. Эти флюсы содержат слабые активаторы, эффективно удаляющие оксиды во время пайки и разлагающиеся на инертные компоненты. Такой метод хорошо подходит для массового производства потребительской электроники, где экономия на дополнительном этапе обработки повышает общий выход продукции на 20–30 %. Однако в высоконадежных приложениях, таких как автомобильная или аэрокосмическая электроника, даже минимальные загрязнения могут со временем вызвать коррозию, поэтому безотмывочный метод требует тщательного тестирования на совместимость с конкретным андерфиллом и условиями эксплуатации.

Когда профилактики недостаточно, применяют химические методы, основанные на растворении загрязнений. При этом органические растворители, такие как терпены, модифицированные спирты или гликоль-эфиры, эффективно удаляют флюсы на основе канифоли. Сборка погружается в ванну или опрыскивается в автоматизированной линии, где растворитель проникает в зазоры и удаляет остатки флюса, после чего следует ополаскивание и сушка. Данный метод отличается простотой и относительно низкой стоимостью, но его эффективность снижается при очистке зазоров меньше 75 мкм, а экологические риски (горючесть, токсичность) требуют специальной вентиляции и утилизации.

Более экологичной альтернативой является переход на водорастворимые флюсы для пайки, которые смываются деионизированной водой при 50–70 °С с добавлением поверхностно-активных веществ или под давлением струи. Вода растворяет ионные остатки, оставляя поверхность чистой и готовой к заливке андерфиллом. Здесь критически важна качественная вакуумная или инфракрасная сушка: остаточная влага под чипом может привести к разрывам заливки при последующих нагревах.

Т 2

Сравнительный анализ методов очистки электронных компонентов

МЕТОД	ПРОНИКНОВЕНИЕ В ЗАЗОР <80 МКМ	ЭКОЛОГИЧНОСТЬ	СТОИМОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ	РИСК ПОВРЕ- ЖДЕНИЯ ЧИПА	СКОРОСТЬ (ПАРТИЯ)
Безотмывочный	Профилактика	Высокая	Нет	Нет	Очень высокая
Химический	Среднее	Низкая	Низкая	Низкий	Высокая
Применение деионизированной воды (водорастворимые флюсы)	Среднее	Высокая	Средняя	Низкий	Высокая
Ультразвук	Хорошее	Средняя	Средняя	Средний-высокий	Средняя
Центрифугирование	Хорошее	Высокая	Высокая	Низкий	Высокая
Испарения	Хорошее	Низкая	Средняя	Низкий	Средняя
Лазер	Отличное	Высокая	Очень высокая	Средний-высокий	Низкая
СВЧ-плазма 2,45 ГГц	Практически 100 %	Высокая	Высокая	Отсутствует	Высокая

Системы химической очистки хорошо интегрируются в конвейерные линии и подходят для средних объемов производства, но они уступают плазменным технологиям, так как не всегда обеспечивают равномерную обработку и часто требуют дополнительного контроля на наличие остаточных загрязнений.

Для улучшения эффективности очистки узких зазоров применяют механические и комбинированные методы, сочетающие физическое и химическое воздействие. Так, в процессе ультразвуковой очистки волны частотой 20–40 кГц создают микропузырьки, которые схлопываются у поверхности, устраняя остатки флюса. Это обеспечивает удаление до 95 % загрязнений даже в зазорах 50–80 мкм, но при чрезмерной мощности вибрация может повредить хрупкие бампы или сместить чип, поэтому метод не рекомендуется для сверхтонких структур.

Метод центрифугирования предполагает вращение сборки с частотой 1000–3000 об/мин в камере с растворителем, где центробежная сила буквально выталкивает загрязненную жидкость из-под кристалла. Этот подход особенно эффективен для flip-chip-сборок с малым зазором (40–60 мкм), его использование минимизирует пустоты в андерфилле и повышает адгезию на 15–25 %. Метод часто комбинируется с водной мойкой для полной автоматизации процесса.

Также применяется очистка парами специальных растворителей (фреон-подобных смесей): пар конденсируется на холодной сборке, растворяет флюс и стекает, обеспечивая равномерное покрытие детали сложной геометрии. Несмотря на надежность метода для PBGA и CSP, его использование постепенно сокращается из-за токсичности.

Наконец, оптические методы представляют собой бесконтактную альтернативу для точной очистки. Лазерная абляция с использованием импульсов CO₂-лазера (9,3–10,6 мкм) или УФ-лазера (355 нм) с плотностью энергии 0,1–2 Дж/см² позволяет испарять остатки флюса слой за слоем. Процесс полностью сухой, селективный и не оставляет химических следов, что делает его привлекательным для лабораторных задач или высокоточныхборок. Однако лазер дорог в эксплуатации, требует точной калибровки и характеризуется недостаточной скоростью обработки для массового производства, поэтому применяется в основном для прототипов.

Сравнение основных характеристик рассматриваемых методов очистки представлено в Т 2. В столбце «Скорость (партия)» описываются скорости процессов без учета времени, затраченного на вспомогательные операции, такие как загрузка/выгрузка, выход на режим, калибровка, замена расходников, последующие операции сушки.


Заключение: выбор метода и перспективы

Очистка узкого зазора между кристаллом и подложкой после пайки flip-chip-компонентов давно перестала быть второстепенным этапом. От нее напрямую зависят механическая прочность соединений, отсутствие пустот в компаунде, стабильность электрических параметров и долговечность изделия при испытаниях и эксплуатации. За последние два десятилетия технология микроволновой плазменной очистки (2,45 ГГц) превратилась из инновационного метода в общепринятую стандартную практику для всех высокоточных приложений. Преимущество метода в том, что только нейтральные метастабильные атомы и радикалы способны проникать в зазоры 50–100 мкм и удалять органические остатки, восстанавливать оксиды и активировать поверхность без побочных эффектов для материала.

Если изделие относится к потребительской электронике и работает в типичных условиях, вполне достаточно современных безотмывочных флюсов: они дешевле и не требуют отдельного оборудования для очистки. В среднем сегменте успешно применяют водную мойку с центрифугированием: экологично, недорого и дает приемлемый результат при зазорах выше 70 мкм. Однако, как только речь заходит о десятилетиях безотказной работы в условиях с температурами от -55 до +150 °С с вибрациями, влажностью и

радиацией (автомобили, авиация, медицина, серверы, космос), альтернативы микроволновой плазме уже не остается. Ни один другой способ не обеспечивает одновременно проникания в узкие зазоры, отсутствия остаточной влаги, продуктов химических реакций, а также активации поверхности.

Перспективы развития технологии лежат в трех основных направлениях. Во-первых, интеграция модулей плазменной очистки в автоматические линии сборки: уже появляются системы, где сборка сразу после оплавления переходит в плазменную камеру без разгерметизации, что еще больше сокращает время цикла. Во-вторых, переход к полностью безфлюсовым процессам пайки с использованием муравьиной кислоты или плазменной активации в вакууме: такие технологии уже применяются на некоторых заводах TSMC и Intel. В-третьих, комбинированные установки, где воздействие микроволновой плазмы совмещается с вакуумным нанесением андерфилла за один цикл, исключая повторное загрязнение.

Таким образом, при сохранении потребности в максимально надежных электронных узлах микроволновая плазма останется незаменимым инструментом. Она превращает некогда проблемный этап технологического процесса в полностью управляемый и воспроизводимый, гарантируя высокое качество растекания андерфилла. 

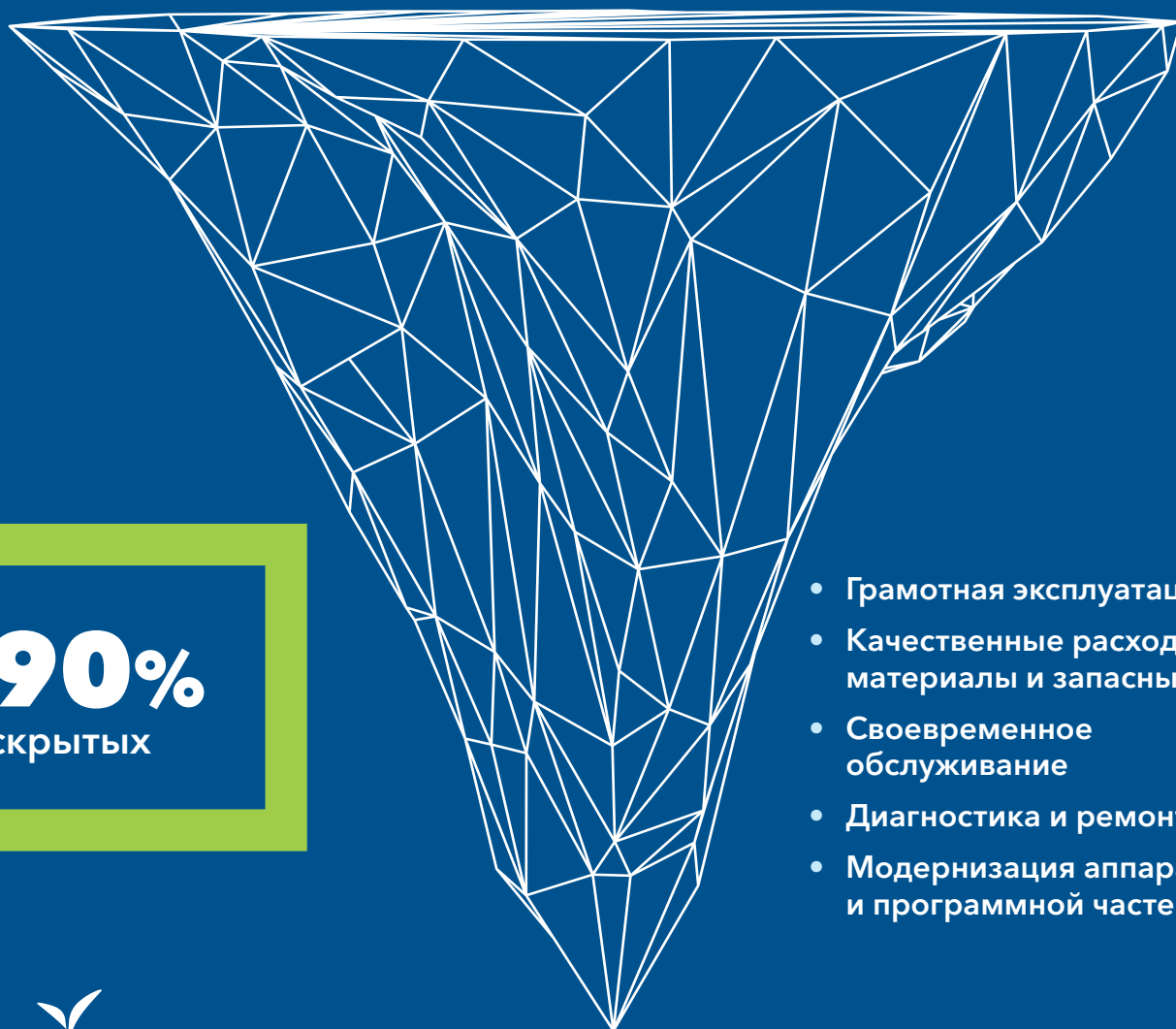
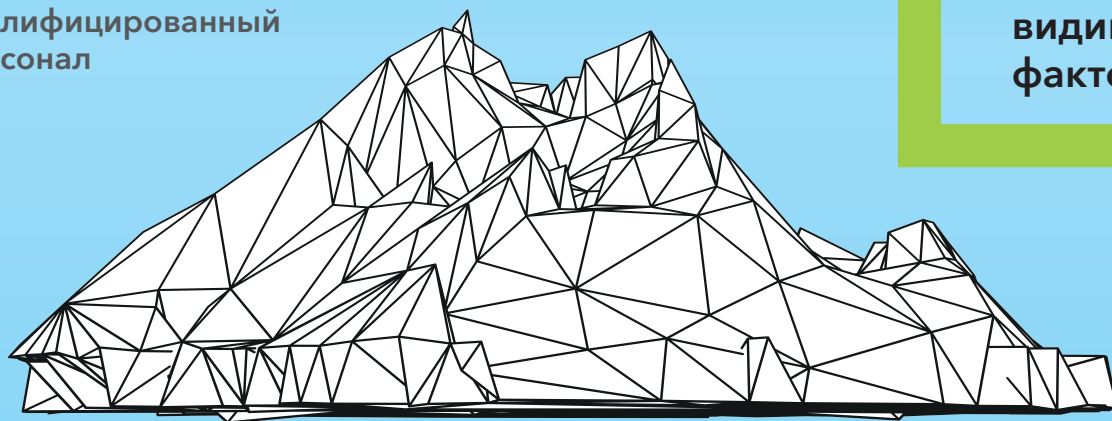


Ostec-Care

Независимость от скрытых проблем

- Качество оборудования и ПО
- Проект и конфигурация производственных процессов
- Квалифицированный персонал

10%
ВИДИМЫХ
ФАКТОРОВ



90%
СКРЫТЫХ

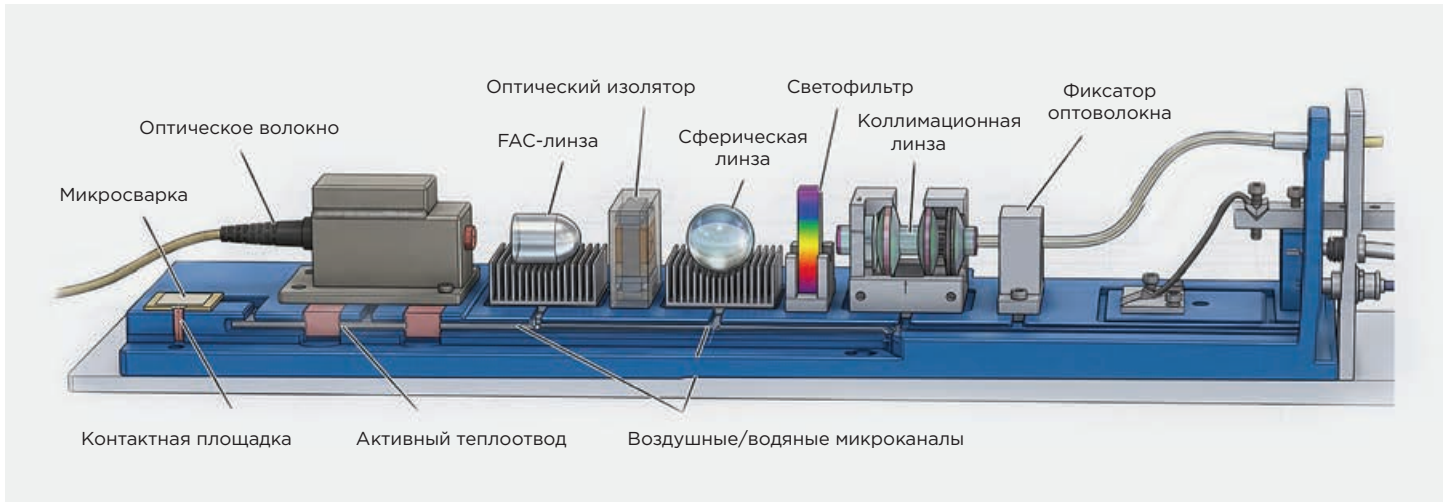
- Грамотная эксплуатация
- Качественные расходные материалы и запасные части
- Своевременное обслуживание
- Диагностика и ремонт
- Модернизация аппаратной и программной частей

Высокоточный монтаж оптических компонентов в лазерных системах

Текст: Артём Артамонов



Высокоточный монтаж оптических компонентов является критическим этапом производства лазерных систем, влияющим на их выходные характеристики. В статье рассматриваются факторы, определяющие сложность такой сборки, требования к автоматическому оборудованию, а также основные методы высокоточного монтажа оптических компонентов.



1 Принципиальная схема изделия, содержащего в своем составе различные оптические компоненты [4]

Современные лазерные системы – от компактных промышленных гравиров до гигантских лазерных установок, использующихся в процессах термоядерного синтеза, – представляют собой сложнейшие оптико-механические комплексы [1]. Эффективность, мощность и качество излучения таких систем напрямую зависит от взаимного расположения их элементов: лазерных диодов, линеек, стеков, линз, зеркал, призм и фильтров (рис 1) [2]. Отклонение в несколько микрон или угловых секунд может привести к катастрофическим потерям энергии, искажению модового состава или полной потере работоспособности устройства [3].

В отличие от монтажа электронных компонентов, где точность позиционирования часто измеряется десятками долями миллиметра, сборка изделий, содержащих в своем составе элементы оптического пути, требует субмикронной точности при их линейном позиционировании и нанорадианной точности по угловой компоненте [3]. В статье рассматриваются факторы, определяющие сложность такой сборки, требования к автоматическому оборудованию, а также основные методы высокоточного монтажа оптических компонентов.

Основные сложности при ручной и автоматизированной сборке лазерных систем

Сборка оптоэлектронных изделий вручную есть своего рода искусство, требующее колоссального опыта и терпения. Однако даже опытные специалисты сталкиваются с рядом фундаментальных трудностей, которые делают автоматизацию этого процесса одновременно необходимой и сложной задачей. Рассмотрим основные причины, подкрепленные конкретными данными из исследований и реальной практики.

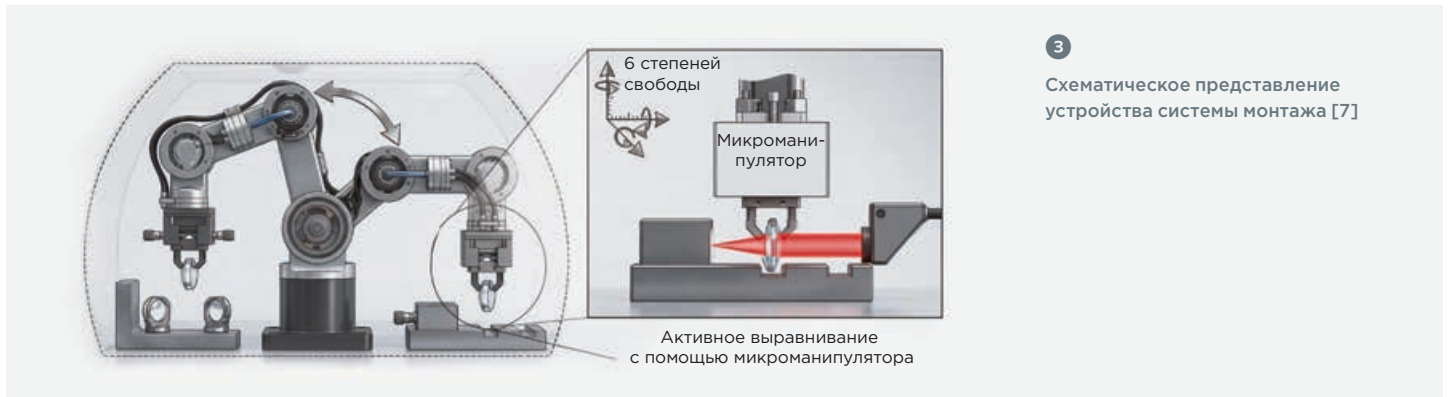
Высокая чувствительность к рассогласованию совмещаемых компонентов

В оптоэлектронном устройстве даже микроскопическое смещение установленных зеркал приводит к катастрофическому падению выходной мощности и ухудшению качества луча. В работе [5] экспериментально показано, что угловое рассогласование между оптической осью и плоскостью зеркала менее чем на 5 миллиградусов (≈ 100 мкрад) уже вызывает значительную потерю мощности (рис 2). Влияние ошибки монтажа наглядно демонстрирует следующий пример: при расстоянии между зеркалами резонатора, равном 53 мм, поворот на 5 миллиградусов вызывает смещение точки падения луча на противоположном зеркале примерно на 4,6 мкм. Это меньше толщины человеческого волоса (50–100 мкм), но для лазера такое отклонение уже критично.

Кроме того, чувствительность по разным осям может существенно различаться из-за геометрии активного элемента. В большинстве случаев лазерные



2 График зависимости мощности исходящего лазерного излучения от смещения зеркала [5]



3
Схематическое представление устройства системы монтажа [7]

диоды имеют соотношение сторон, отличающееся от 1:1, что приводит к тому, что чувствительность к повороту зеркала вокруг одной оси оказывается примерно во столько раз выше, во сколько линейные размеры сторон лазерного элемента отличаются друг от друга [6]. Такая анизотропия требует от системы автоматического монтажа не только высокой абсолютной точности, но и адаптивного управления шагами коррекции.

Влияние предыдущих этапов сборки и механических допусков монтируемых компонентов

Каждая лазерная система уникальна. Положение оптических элементов (линз, кристалла, призмы) после предварительной установки зависит от допусков изготовления самих компонентов и посадочных мест, а также от погрешностей, вносимых непосредственно самим инструментом монтажа, роботизированным или ручным. В работе [3] подчеркивается принципиальная невозможность гарантировать воспроизводимость процесса монтажа оптических компонентов на заданные позиции с учетом необходимости последующей работоспособности устройства. Поэтому пассивная установка «по чертежу», т.е. в заданные позиции без обратной связи по излучению (лазерному лучу) не обеспечивает работоспособности системы.

Сложность и длительность ручной сборки

Ручная сборка и выравнивание компонентов – процесс итеративный и трудоемкий. Ручной поиск оптимального положения зеркала по двум угловым и трем линейным координатам может занимать несколько минут только на этапе активной настройки. При этом оператор должен одновременно наблюдать за показаниями измерителя мощности и вручную подстраивать микрометрические винты, что требует высокой квалификации и концентрации. С учетом того, что подобные системы имеют сложносоставную структуру, состоящую зачастую из нескольких десятков компонентов, подобная ручная сборка становится малопродуктивной. В условиях серийного производства с частой сменой номенклатуры изделий такие затраты времени стано-

вятся экономически невыгодными, особенно в странах с высокой стоимостью труда [7].

Необходимость двухэтапного процесса и прецизионного оборудования для автоматической сборки

Из-за противоречия между требованиями к точности и необходимостью перемещения компонентов на относительно большие расстояния (перемещение от тары к изделию) автоматические системы вынужденно строятся по двухуровневой схеме (рис 3).

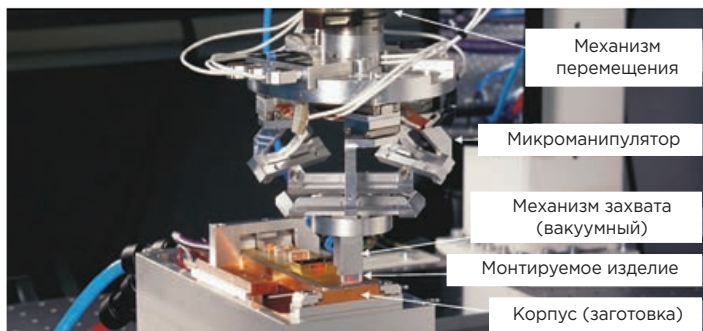
Основу составляют промышленный робот (портального типа или роборука) с умеренной точностью (± 10 мкм), выполняющий грубое позиционирование, и микроманипулятор, осуществляющий финишную коррекцию с субмикронной точностью ($\pm 0,1$ мкм) по всем шести степеням свободы. Такая архитектура усложняет оборудование и требует разработки специализированных алгоритмов управления, объединяющих оба уровня.

Проблемы фиксации после процесса выравнивания

Даже после того, как идеальное положение найдено, его нужно сохранить во время фиксации компонента. В процессе пайки компонентов или их фиксации на термо- или УФ-отверждаемый клей возникающие усадка или термомеханические напряжения могут привести к смещению элемента. Это нивелирует результаты точной юстировки, так как допустимое смещение, как было показано выше, не превышает нескольких микрон [8]. Автоматизация монтажа позволит заранее учесть возникновение подобных эффектов и настроить процесс так, чтобы компенсировать их непосредственно на самом этапе монтажа за счет изменения технологических параметров процесса.

Требования к автоматическим системам монтажа

Автоматическая система монтажа оптических компонентов должна обеспечивать выполнение всего цикла сборочных операций с минимальным участием оператора, начиная с момента размещения компонентов в зоне загрузки и заканчивая выдачей готового из-



4 Пример автоматической установки оптических компонентов [5]

деля. Ключевым критерием автоматизации является способность системы самостоятельно выполнять следующие действия: идентифицировать и захватывать оптический элемент с заданной позиции (например, с установленного оператором столика или кассеты), позиционировать его в рабочей зоне с необходимой точностью, производить юстировку по сигналам обратной связи или визуальным меткам, наносить и активировать фиксирующий материал (например, УФ-клей), а также контролировать результаты сборки [9].

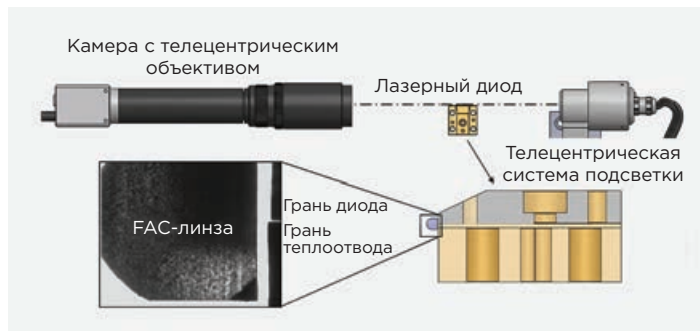
Для преодоления вышеуказанных трудностей автоматизированная сборочная станция должна соответствовать ряду критических требований:

- субмикронное разрешение: перемещение по осям X, Y, Z;
- многоосность (6 степеней свободы): возможность регулировки не только линейных координат, но и углов наклона (поворот вокруг всех трех осей);
- метод захвата: использование вакуумных захватов с керамическими или полимерными наконечниками, исключая царапины, либо пневматических захватов с контролем усилия (в случае невозможности реализации подобных методов захвата возможно использование механического захвата (метод зажима) за торцы монтируемого компонента);
- чистота: исполнение для чистых помещений (класс ISO 5 и выше), устойчивость к истиранию (отсутствие частиц);
- интеграция с измерительными системами: наличие интерфейсов для подключения внешних датчиков (автоколлиматоров, интерферометров, камер машинного зрения).

Выполнение вышеперечисленных требований необходимо для реализации рассматриваемых ниже процессов, применяемых в установках монтажа оптических компонентов.

Методы автоматического монтажа

В зависимости от требуемой точности и типа компонента применяются две основные стратегии автоматизации: пассивный и активный монтаж [7].



5 Пример системы для проведения операции пассивного позиционирования [7]

Пассивный монтаж (или прецизионная механическая сборка) полагается на жесткость оснастки и точность позиционирования механизмов;

Активный монтаж (или юстировка по обратной связи) использует сигнал с фотодетектора, интерферометра или анализатора пучка для корректировки положения элемента в реальном времени до достижения искомого качества излучения, соответствующего заранее заданным параметрам.

Детальное рассмотрение методов

Прежде чем перейти к детальному описанию каждого подхода, важно отметить ключевую особенность современного автоматизированного оборудования. На практике пассивный и активный монтаж редко применяются как взаимоисключающие альтернативы. Напротив, они образуют последовательный двухэтапный процесс.

Такая архитектура обусловлена конструкцией самих автоматических систем. Они, как правило, представляют собой гибридные кинематические платформы, совмещающие в себе функции грубого и точного позиционирования (рис 4). Базовый механизм (линейные направляющие, шарико-винтовые пары или промышленный робот) обеспечивает большой ход, но имеет относительно невысокую точность и дискретность перемещения (порядка десятков микрометров). На эту подвижную платформу жестко устанавливается финишный микроманипулятор – часто на основе пьезоэлектрических приводов или сверхточных моторизованных трансляторов, – который обеспечивает субмикронную точность (до 0,1 мкм и выше).

Таким образом, сначала выполняется этап грубого пассивного монтажа, который вводит компонент в поле допусков микроманипулятора, а затем микроманипулятор выполняет активную юстировку, корректируя положение по сигналам обратной связи.

Пассивное позиционирование

На этом этапе решается задача максимально точной механической установки компонента в заданное положение без обратной связи по качеству луча, фактически реализуется классический процесс монтажа кристал-



6
Схема модуля для проведения процесса активного выравнивания [7]

лов. Для большей точности зачастую дополнительно применяют машинное зрение, реализованное на основе телецентрических камер, с помощью которых определяют положение компонента относительно реперных точек на корпусе (например, грани корпуса) (рис 5).

Цель данной операции – добиться точности, достаточной для того, чтобы отраженный или прошедший луч попал в апертуру измерительных датчиков (автоколлиматора, фотоприемника), которые будут использоваться на втором этапе выравнивания.

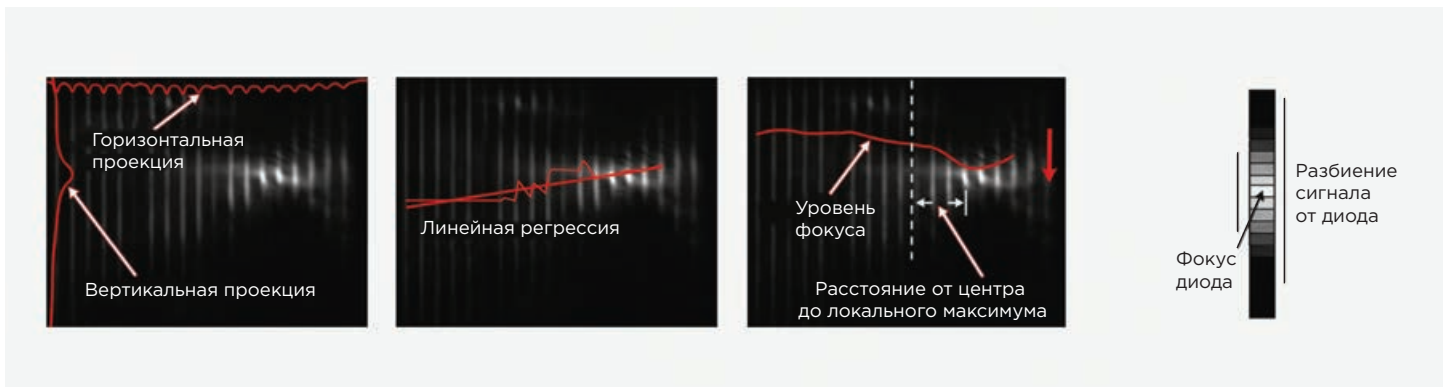
Активное позиционирование

Это финальный и наиболее точный этап, который происходит при включенном лазере (рис 6). Система анализирует реальные параметры излучаемого луча и корректирует положение линзы для достижения эталонных характеристик.

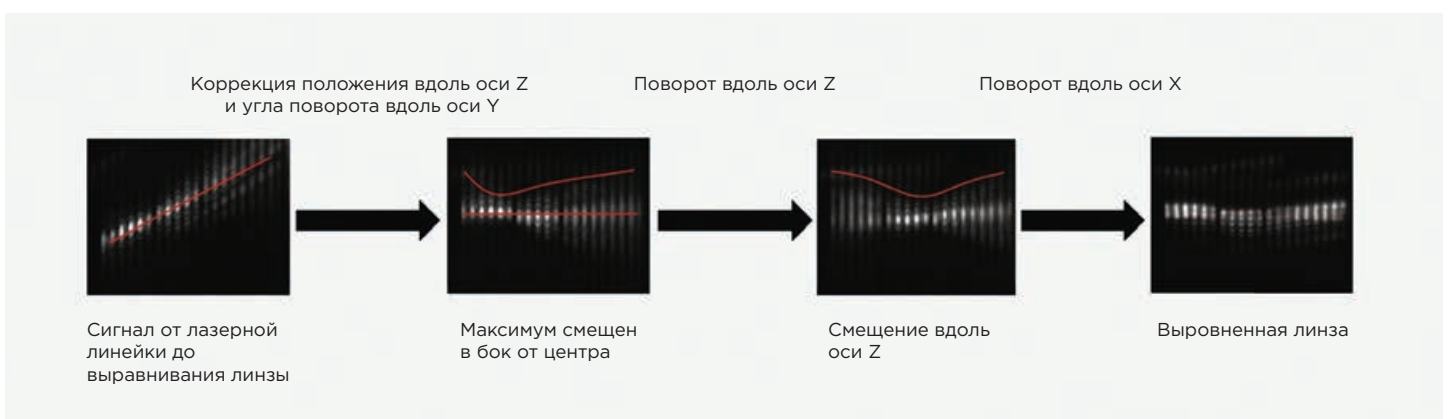
Алгоритм управляет микроперемещениями линзы, осуществляя постоянный анализ изменения пространственного распределения интенсивности излучения (рис 7). Основной задачей является поиск положения, при котором параметры излучения становятся оптимальными (например, луч максимально сфокусирован, симметричен и сфокусирован).

В этом и заключается процесс активного выравнивания, т.е. поиска экстремума (максимума качества). Для поиска глобального максимума мощности используется одна из двух стратегий: итерационная или метод построения регрессионной модели.

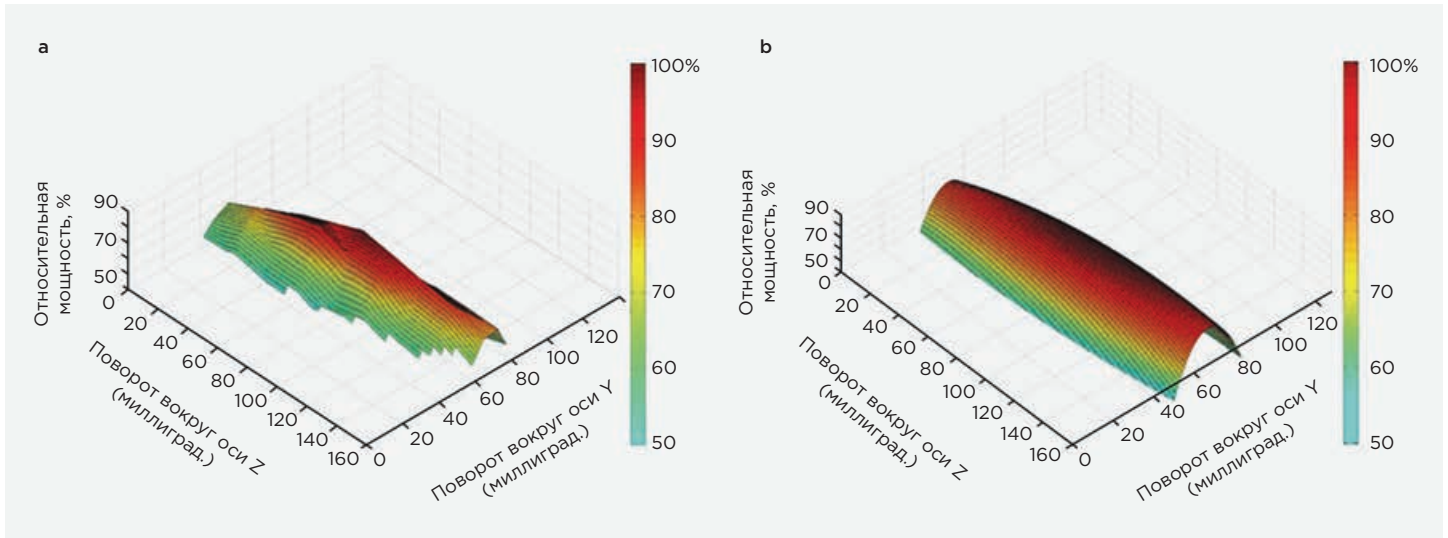
Итерационная стратегия заключается в том, что микроманипулятор перемещает компонент по заранее заданной последовательности шагов. На каждом из них корректируется смещение по одной (или двум) степеням свободы и оптимизируется положение компонента согласно заранее выявленным количественным зависимостям между наблюдаемыми изменениями про-



7
Влияние смещения оптического компонента на качество подающего на камеру излучения [7]



8
Алгоритм активного позиционирования [7]



9 Сравнение между измерением и моделью. Поведение реального резонатора (а) и модель поведения резонатора (б) [5]

филей излучения и корректирующим перемещением (рис 8).

Так, последовательно будут выполняться следующие операции коррекции:

- поперечного смещения (Δy) – выравнивание по вертикальной оси;
- продольного смещения (Δz) – позиционирование по глубине;
- угловых смещений ($\Delta\Phi_x, \Delta\Phi_y, \Delta\Phi_z$) – устранение наклонов.

Построение регрессионной модели – более совершенный метод, соответствующий концепции самооптимизации. Система собирает данные о мощности в нескольких точках сетки, после чего строит математическую модель влияния изменения положения на конечные свойства излучения. На основе этой модели система рассчитывает координаты теоретического максимума и перемещает зеркало напрямую в эту точку (рис 9).

Далее процесс повторяется: в окрестностях найденного максимума собираются новые данные, модель уточняется и положение максимума корректируется. Процесс продолжается до тех пор, пока изменение положения максимума между циклами не становится пренебрежимо малым.

Таким образом, пассивное позиционирование отвечает за скорость и правильную начальную установку (чтобы «попасть в зону поиска»), а активное позиционирование – за итоговую высокую точность и эффективность работы оптической системы, используя в качестве критерия качества само лазерное излучение. Подобный комплексный подход позволяет сократить временные затраты на процесс выравнивания с 5–10 минут в условиях ручной сборки до 1–2 минут при переходе на автоматические методы.

Реальный пример процесса: автоматизированный монтаж фас-линз

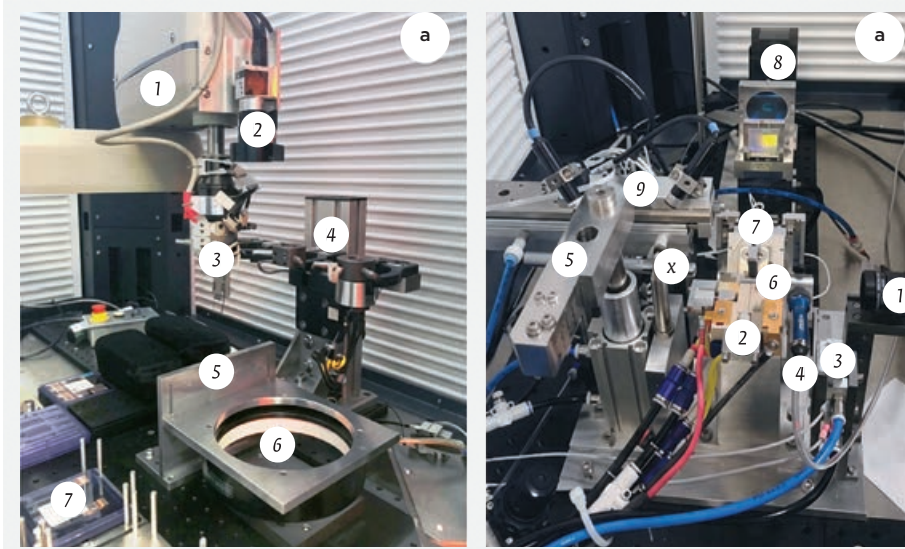
Рассмотрим практическую реализацию высокоточного автоматизированного монтажа на примере системы установки ФАС (fast-axis collimation) линз для производства мощных полупроводниковых лазерных модулей [10]. Данный пример демонстрирует, как описанные выше принципы двухэтапного монтажа находят применение в промышленном оборудовании, предназначенном для производства изделий мелкими и средними сериями.

Вид изделия

Объектом сборки является лазерный модуль мощностью ~0,3 кВт, смонтированный на изолированном микроканальном охладителе. Основная задача – установка и крепление ФАС-линзы (цилиндрической микролинзы) перед торцом лазерной линейки для коллимации излучения по быстрой оси, исходная расходимость которого составляет ~45 градусов (рис 10).



10 Вид собираемого изделия с установленной линзой и без нее [11]



1 1

Модули автоматической системы монтажа оптических компонентов [10]

Критические требования включают точное соблюдение фокусного расстояния в 150 мкм между линзой и излучающей областью. При этом суммарная погрешность всех предшествующих операций (пайка кристалла, пайка подложки, смещение скоса охладителя) должна быть скомпенсирована на этапе установки линзы.

Автоматизированная система и оборудование

Система автоматической установки FAC-линз представляет собой сложный роботизированный комплекс с 20 независимыми осями управления. Базовое перемещение выполняет 4-осный SCARA-робот с точностью позиционирования ± 17 мкм, а финишную коррекцию обеспечивает прецизионный 6-осевой манипулятор. Оптическая система обладает разрешением по углу, равным 0,032 мрад/пиксель (рис 1 1).

Для контроля процессов используются CMOS-камеры со специализированной красной LED-подсветкой, обеспечивающей необходимую контрастность для надежной работы алгоритмов автоматического распознавания. Система дозирования

включает автоматический дозатор УФ-отверждаемого эпоксидного клея с калибровкой положения иглы и верификацией размера капли. Активная юстировка выполняется при импульсном питании лазера (скважность 0,1%), что исключает необходимость водяного охлаждения на этапе сборки.

Технологический процесс

Полностью автоматизированный процесс установки одной линзы занимает менее 5 минут, включая УФ-отверждение.

На подготовительном этапе оператор загружает лотки с заготовками, пустые лотки для годных и бракованных изделий, а также Gel-Pak с FAC-линзами. Устанавливается картридж с эпоксидным клеем и проводится калибровка положения дозирующей иглы.

Процесс начинается с того, что SCARA-робот захватывает заготовку и помещает ее на рабочий стол, где она вакуумным или пневматическим методом фиксируется в рабочем положении.

Далее происходит автоматическая смена инструмента захвата для продолжения работы с устанавливаемой FAC-линзой. Линза извлекается из Gel-Pak. Положение в таре определяется при помощи машинного зрения, а красная LED-подсветка позволяет получить более четкое положения граней и ребер линзы на изображении.

Линза предварительно переносится в зону дозирования, где на нее наносятся капли УФ-отверждаемого эпоксидного клея с контролем размера и формы капли через камеру (рис 1 2).

Далее прецизионный 6-осевой манипулятор переносит линзу с нанесенным клеем в предварительно запрограммированную позицию перед лазерным диодом (процесс пассивного позиционирования) (рис 1 3). При включении импульсного источника питания лазер начинает излучать короткие импульсы, а излучение по быстрой оси проецируется на CMOS-камеру.



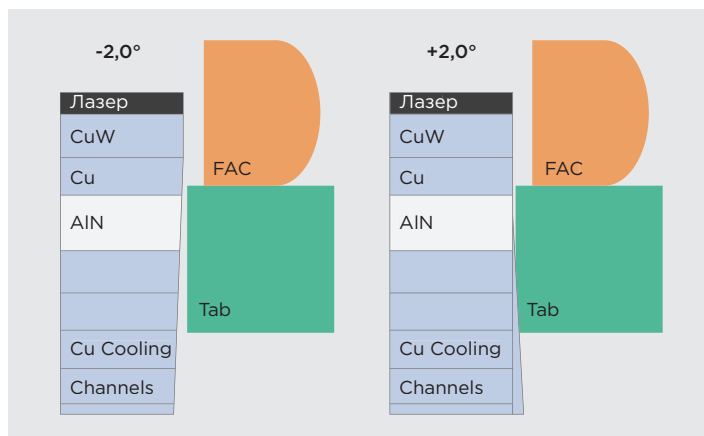
Вакуумный инструмент захвата

Компонент с нанесенным клеем

Монтажная поверхность изделия

1 2

Процесс нанесения клея на линзу [10]



1 3

Схема положения линзы относительно лазерного диода [10]

Запускается процесс активного позиционирования, в ходе которого установка согласно вышеописанным методам перемещает линзу, добиваясь совмещения оптической оси пучка излучения с заданной целевой точкой на камере. Одновременно происходит равномерное распределение клея по передней поверхности охладителя, заполняющее установленный клеевой зазор.

После достижения оптимального положения УФ-светодиоды подводятся к зоне монтажа для проведения процесса экспонирования клея. По завершении полимеризации все механизмы возвращаются в исходное положение, а робот помещает готовое изделие в соответствующий выходной лоток на основе результатов автоматической инспекции.

В процессе сборки автоматически регистрируются критические параметры: положение центра пучка (точность наведения), степени проявления смайл-эффекта (разброс положений эмиттеров), углы наклона и параметры фокусировки вдоль лазерной линейки [12]. Все эти данные передаются в SQL-базу для статистического анализа и контроля стабильности процесса.

Вывод

Высокоточный монтаж оптических компонентов является критическим этапом производства лазерных систем, определяющим их выходные характеристики. Как показано в анализе, основные сложности связаны с жесткими допусками (единицы микрометров на типовых базах), вариативностью параметров отдельных компонентов, длительностью ручных операций и проблемами фиксации.

Автоматизация данного процесса требует создания гибридных систем, сочетающих средства грубого позиционирования (роботы) и прецизионные микроманипуляторы с субмикронным разрешением. Ключевым элементом становится применение самооптимизирующихся алгоритмов активной юстировки, которые

используют обратную связь по выходной мощности или параметрам качества луча для поиска глобального оптимума.

Перспективы дальнейшего развития связаны с совершенствованием измерительных методик, интеграцией более сложных моделей поведения оптических систем и расширением класса компонентов, доступных для автоматизированной сборки. Внедрение описанных принципов позволит сделать производство лазерной техники более гибким, экономичным и качественным, что особенно важно в условиях высокотехнологичных производств с частой сменой номенклатуры.

Использованные материалы

1. Pinkerton A. J. Lasers in additive manufacturing // Optics & Laser Technology, 2016. Т. 78. PP. 25–32.
2. Borrelli N. F. Microoptics technology: fabrication and applications of lens arrays and devices // CRC Press, 2017.
3. Wang H. et al. Assembly modeling and error analysis of large laser optics // Procedia CIRP, 2016. V. 44. PP. 412–417.
4. Böttger G. et al. Fully automated hybrid diode laser assembly using high precision active alignment // Components and packaging for laser systems II. SPIE, 2016. V. 9730. PP. 78–83.
5. Brecher C. et al. Self-optimizing approach for automated laser resonator alignment // Optics and Lasers in Engineering, 2012. V. 50. No. 2. PP. 287–292.
6. Bonora S. et al. Advanced optics expand the applications of high power diode lasers // SPIE Newsroom, 2006.
7. Brecher C. et al. Automated alignment of optical components for high-power diode lasers // High-Power Diode Laser Technology and Applications X. SPIE, 2012. V. 8241. PP. 87–97.
8. Jacques P. et al. Micro lens array assembly for optical organic substrate // 2019 IEEE 69th Electronic Components and Technology Conference (ECTC). IEEE, 2019. PP. 1074–1080.
9. Gengenbach U. K. Automatic assembly of micro-optical components // Microrobotics: Components and Applications. SPIE, 1996. V. 2906. PP. 141–150.
10. Charache G. W. et al. Automated UV-epoxy-based micro-optic assembly for kilowatt-class laser-diode arrays and modules // IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology. 2019. V. 9. No. 10. PP. 2127–2135.
11. Liu X. et al. Packaging process of high power semiconductor lasers // Packaging of high power semiconductor lasers, 2014. PP. 185–226.
12. Zhang Q. et al. Spectral analysis of beam combining systems based on laser array with smile effect // Optics Communications, 2024. V. 550. P. 130018.

КАЧЕСТВО

**77 %
ПРОИЗВОДСТВ
ОТМЫВАЮТ
ВСЛЕПУЮ.
А ВЫ?**

Текст: Денис Поцелуев

”

В течение многих лет мы пишем статьи, проводим семинары, снимаем видео, печатаем рекомендации прямо на канистрах. А цифры неумолимы: только 23 % клиентов контролируют растворы отмывочных жидкостей. Остальные 77 % работают вслепую. И продолжают звонить нам, когда что-то пошло не так. Мы решили прямо спросить – почему? Почему предприятия игнорируют то, что влияет на качество, экономику и стабильность их производства?

T 1

Методы и погрешность измерения состояния растворов отмывочных жидкостей на водной основе

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ	СВЕЖИЙ РАСТВОР	ЗАГРЯЗНЕННЫЙ РАСТВОР, 1 % ФЛЮСА	ЗАГРЯЗНЕННЫЙ РАСТВОР, 3 % ФЛЮСА	ПРИМЕНИМОСТЬ К ЖИДКОСТЯМ НА ВОДНОЙ ОСНОВЕ	ПРИМЕНИМОСТЬ К ЖИДКОСТЯМ НА ОСНОВЕ РАСТВОРИТЕЛЕЙ
Специализированные тестовые наборы	±1 %	±2 %	±3 %	Да	Нет
Рефрактометр	±2 %	±15 %	±40 %	Да	Нет
Акустический датчик	±2 %	±3 %	±3 %	Да	Нет
Кондуктометрия	Не применимо	±10 %	±25 %	да	Да
Предметное стекло	Не применимо	Индикативно	Индикативно	Да	Да
Гравиметрический метод	Не применимо	Индикативно	Индикативно	Да	Да
Контроль pH	Индикативно	Индикативно	Индикативно	да	Да

Поговорив с нашими клиентами и коллегами из техподдержки, мы выяснили причины, по которым предприятия чаще всего не используют специальные наборы для контроля состояния растворов:

- «Пока моет – не трогай» – классика жанра. Работает до первого брака.
- «У нас есть рефрактометр» – да, но он вас обманывает (об этом ниже).
- «Дорого» – набор стоит как половина канистры? Посчитаем вместе.
- «А что, надо контролировать?» – в XXI веке такое ещё встречается.

Давайте поработаем с типичными возражениями, развеем мифы, а заодно освежим в памяти проблематику контроля состояния растворов.

Для начала – аксиома: осуществлять регулярный контроль состояния раствора необходимо с первого дня его работы. Сэкономим время читателя, предоставив ему возможность «нырнуть» в библиотеку знаний компании Остек-Интегра¹ и найти подтверждение этой аксиомы в публикациях и видеоматериалах. Но если кратко, то процесс отмывки печатных узлов включает минимум три ключевые переменные – концентрация раствора, температура, время, при отсутствии контроля над которыми в среднесрочной перспективе результаты отмывки будут ухудшаться в арифметической прогрессии. Хотя на самом деле факторов, влияющих на качественный результат, гораздо больше: истощаемость раствора, качество воды, состав и количество загрязнений, тип оборудо-

вания, плотность монтажа, наличие низкопрофильных компонентов, вплоть до покрытия печатной платы и паяльной маски. И именно поэтому мы рекомендуем начать с самого простого – с контроля состояния раствора и процесса. И тогда фраза из первого пункта будет звучать иначе – «Пока моет при контроле состояния раствора – вероятность проблем и дефектов в процессе отмывки снижается». Поэтому, выбирая жидкость для отмывки печатных узлов, важно сразу думать о том, каким способом будет осуществляться контроль состояния раствора.

На сегодняшний день известно порядка 5–7 методов измерения и контроля состояния растворов отмывочных жидкостей как на водной, так и на спиртовой основе (T 1). На практике на действующих производствах используют не более 2–3 методов (T 2).

Миф – «У нас есть рефрактометр – всё под контролем». Обладатели рефрактометров уверенно говорят: «Концентрация под контролем». И они правы... но только для свежих растворов.

А вот – реальность:

✓ Свежий раствор: погрешность ±2 %

⚠ 1 % загрязнений флюсом: погрешность ±15 %

✗ 3 % загрязнений: погрешность до 40 % в большую сторону

Что это значит? Рефрактометр показывает 10 % концентрации, а на самом деле – 22 %. Вы думаете, что в растворе мало концентрата и добавляете ещё... и получаете перерасход. Раствор истощён, но прибор этого не видит. Или наоборот – можете сильно разбавить водой допустимый уровень концентрата, сократив время жизни раствора и ухудшив качество отмывки.



¹ <https://ostec-materials.ru/knowledge-base>

Т 2

Сравнительный анализ распространенных методов контроля состояния растворов отмывочных жидкостей

МЕТОД	ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ	СТАБИЛЬНОСТЬ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ	ВРЕМЕННЫЕ ЗАТРАТЫ	ПРОСТОТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	ОЦЕНКА рН	СТОИМОСТЬ
Специальные тестовые наборы	++	++	++	++	++	+
Рефрактометр	++*	—	++	++	—	++
Акустический датчик потока	++	++	++	++**	—	—

* для чистых растворов

** для получения точных показаний необходимо тщательно откалибровать прибор, добившись термостатирования раствора и ламинарности потока

++ отлично/низко, + хорошо/средне, — плохо/высоко

Кстати, о рН. Рефрактометр его не измеряет. А ведь именно рН показывает степень истощения раствора и его способность отмыть флюсы. Без контроля рН вы узнаете о проблеме, только когда на платах появится белый налёт или брак пойдёт в серию.

Если мы говорим о жидкостях на водной основе, то наиболее достоверным способом оценки состояния раствора являются специализированные тестовые наборы. Они позволяют точно измерять как концентрацию, так и состояние рабочего раствора (уровень рН). Метод основан на химической реакции реактива и раствора отмывочной жидкости. Его преимущество состоит в том, что уровень загрязнённости раствора не влияет на точность измерений. Как правило, наборы разрабатываются по типу жидкости – рН нейтральные и щелочные. Поэтому один набор можно

использовать для оценки нескольких видов жидкостей с одинаковым рН.

Отмывочные жидкости на основе модифицированных спиртов имеют принципиально иную специфику эксплуатации и контроля по сравнению с жидкостями на водной основе, так как они применяются в концентрированном виде без разбавления водой. Соответственно, такие жидкости не требуют контроля концентрации, а основной контролируемый параметр – степень насыщения раствора загрязнениями. Для таких жидкостей применимы следующие методы контроля:

- контроль состояния отмывочной жидкости при помощи предметного стекла;
- гравиметрический метод;
- контроль объема отмытых изделий: ведение журнала учета количества и типа отмытых печатных узлов для определения срока замены раствора;
- регулярный контроль качества отмытки контрольных образцов: как визуальный, так и с помощью специализированных наборов².

При выборе поставщика отмывочной жидкости следует обращать внимание на наличие в его ассортименте наборов и методов для достоверного контроля состояния раствора. Это важный атрибут комплексного подхода к повышению эффективности процесса отмытки и производственного процесса в целом.

Возражение «Дорого!». Любимый аргумент: «Набор стоит почти как половина канистры – лучше куплю



1

Измеритель параметров полупроводниковых приборов Л2-156

² Гидронол КС – Тестовый набор для обнаружения канифольных остатков флюса на поверхности печатной платы

Гидронол КФ – Тестовый набор для обнаружения остатков активаторов флюса на поверхности печатных узлов

ТЗ

Экономический эффект от внедрения наборов для контроля состояния растворов Гидронол

ПОКАЗАТЕЛЬ	ОТСУТСТВИЕ КОНТРОЛЯ	С НАБОРОМ ГИДРОНОЛ	ЭФФЕКТ
Срок жизни раствора Гидронол, дни (условный показатель)	30–40	45–60	Увеличение срока жизни раствора более чем в 1,5 раза
Расход концентрата, л/месяц	120	80	Снижение затрат на приобретение концентрата на 30 %
Количество замен раствора (оценочно, в год)	12	6	Снижение затрат на приобретение концентрата примерно в два раза
Время простоя на замену, часы	24	12	Повышение производительности
Брак по отмывке, %	2–5 %	0,5–1 %	Уменьшение дефектов, связанных с отмывкой, более чем в 2 раза

ещё одну». Хорошо, давайте посчитаем. Не на словах, а в цифрах на примере набора Гидронол К14³ (рис 1).

Что включено в стоимость набора:

- 12 измерений (два флакона по 100 мл);
- при контроле 1-2 раза в неделю – это 1,5–3 месяца работы;
- дальше покупаете только реактивы – в десятки раз дешевле набора

Что вы получаете – годовая арифметика:

- стоимость контроля на весь год <2,5 % от расходов на жидкость;
- экономия на перерасходе концентрата: 30–40 %;
- снижение брака: с 3–5 до 0,5–1 %;
- увеличение срока жизни раствора: в 1,5–2 раза.

Вопрос: 2,5 % вложений для экономии 30 %+ и исключения брака – это дорого?

И чтобы не выглядеть теоретиками, приведем несколько примеров реальных производственных практик, а в ТЗ представим данные о влиянии внедрения специализированных наборов для контроля состояния растворов на себестоимость процесса отмывки.

Так что же делать? Ответ прост и однозначен – перестать работать вслепую. Выбираете отмывочную

жидкость? Первый вопрос поставщику: «Как я буду контролировать раствор? Какие наборы и методы у вас есть?» Если ответ туманный – это красный флаг. Уже работаете с жидкостью, но не контролируете? Начните сегодня. Не завтра, не с понедельника, не «когда

Пример 1.

Производство автомобильной электроники

Предприятие: производство блоков управления двигателем

Объем производства: 500 плат в смену

Используемая жидкость: Гидронол В20

Проблема: высокий расход отмывочной жидкости и нестабильное качество отмывки

Решение:

внедрение ежедневного контроля с помощью набора Гидронол К14
оптимизация концентрации с 25 до 20 %
корректировка программы отмывки
обучение персонала

Результаты:

увеличение срока жизни раствора на 90 %
снижение расхода концентрата на 40 %
исключение брака по отмывке с 3 до 0,2 %

³ Гидронол К14 – тестовый набор для оценки состояния щелочных отмывочных жидкостей.

Гидронол К07 – тестовый набор для оценки состояния рН-нейтральных отмывочных жидкостей.

Гидронол К01 – набор для оценки концентрации раствора методом титрования.

Пример 2.**Производство телекоммуникационного оборудования****Предприятие:** сборка модулей связи**Объем производства:** 200 плат в смену**Используемая жидкость:** Гидронол У50**Проблема:** белый налет на платах после отмывки**Анализ проблемы:**

измерение концентрации показало занижение до 12 % (норма 15–30 %)

рН раствора составлял 6,2 (норма 9–11)

проводимость воды для ополаскивания

90 мкСм/см (норма 1–40 мкСм/см)

Решение:

корректировка концентрации до 20 %

установка системы подготовки воды

внедрение контроля рН раствора

и проводимости воды

оптимизация режима ополаскивания

Результаты:

полное исключение белого налета


повышение качества отмывки

снижение количества плат, отправляемых

на повторную отмывку ручным способом с 8 до 0,2 %

бюджет появится». Сегодня. Потому что каждый день без контроля – это лотерея. И ставка в ней – качество вашей продукции.

Мы не устали и продолжим нашу просветительскую миссию. Потому что видели слишком много историй, когда «пока моет» превращалось в «почему не моет» и «как теперь объяснить заказчику». Переходите от экономии на контроле к экономии благодаря контролю.

И через год мы снова посчитаем процент клиентов, использующих наборы для оценки состояния растворов. Давайте вместе сделаем так, чтобы цифра 23 % выглядела стыдно. 

Использованные материалы

1. Ефремов А. Отмывка печатных узлов. Часть II. Рекомендации по выбору процесса отмывки // Компоненты и технологии. 2004. № 7. С. 26–31.
2. Ковенский В. Состояние раствора отмывочной жидкости как фактор, способствующий повышению качества отмывки // Поверхностный монтаж. 2009. № 6. С. 22–25.
3. Поцелуев Д. Доверяй, но проверяй: как правильно контролировать состояние отмывочных жидкостей на водной основе // Вектор высоких технологий. 2015. № 3 (16). С. 26–33.
4. Ковенский В., Поцелуев Д. Zestron ушел... Гидронол продолжит! // Вектор высоких технологий. 2023. № 1 (57). С. 2–8.
5. ОСТ 4.074.012-81 Методы контроля химических веществ в промывочных жидкостях.





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 $+20^{\circ}\text{C}$, 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

Зачем нужны разные приборы

для измерения
и тестирования
характеристик
полупроводниковых
компонентов

Текст: Андрей Насонов



Разумеется, речь не о том, что полупроводниковые приборы бывают разные по типу и назначению, мощности и быстродействию. Это – очевидно, поэтому речь пойдет совсем о другом. Чтобы абстрагироваться от многообразия полупроводниковых приборов, рассмотрим на примере какого-либо транзистора или диода, в каких случаях подходы к измерению их характеристик могут быть принципиально разными.

Определяющей тут является серийность изделий. Причем серийность – это не о количестве. Это, скорее, о том, какое количество изделий определенной категории качества производится. И категория качества – это не абстрактное понятие, а вполне конкретные характеристики, приведенные в стандартах, например, в ГОСТ Р 58857—2020. По сути, один и тот же кристалл стоит на два порядка дороже, если, например, это 2Т3117А ОСМ по сравнению с КТ3117А. И эта разница абсолютно обоснована – и не потому, что корпус разный. Соответственно, обоснована разница и в трудоемкости их тестирования. Получается, что если изделие категории качества ОТК, то нужен автоматизированный тестер, обеспечивающий контроль по принципу «годен/не годен» по ограниченному количеству параметров, а для изделий более высоких категорий качества нужны средства измерения, обеспечивающие контроль всех характеристик полупроводникового прибора.

Автоматизированные тестеры или, точнее говоря, тестеры, предназначенные для работы в составе автоматических линий, удовольствие весьма дорогое. Тут полностью выполняется правило: чем более массовое производство необходимо, тем дороже будет стоить технологическое оборудование, даже если изготавливаются дешевые компоненты. Автоматизация и быстроедействие – это дорого. И нужно учитывать, что это приборы, предназначенные для решения определенной задачи, иначе говоря, для конкретных измерений конкретного компонента. На рис 1 приведен пример такого устройства.

Чтобы выполнить измерение другого компонента, необходимо будет серьезно переконфигурировать тестер, причем не только программно, но и аппаратно. Кроме того, на различных этапах жизненного цикла полупроводникового прибора предъявляются различные требования к средствам измерения. Именно в привязке к этим этапам имеет смысл рассмотреть вопрос.

Первый этап – это, разумеется, НИОКР. При разработке трудоемкость измерений не принципиальна, а вот возможность измерить всё мыслимое и не мыслимое – это главное. Автоматизация тут не нужна, чтобы ни разрабатывалось, но возможность сохранения результатов весьма желательна.

На этом этапе необходим максимально универсальный измеритель параметров полупроводниковых приборов, способный работать при токах от 1 нА до 20 А и напряжениях от 0 до 2000 В. Таким прибором является характериограф Л2-156 (рис 2).

С этим прибором связана определенная история. В 80-х годах прошлого века в СССР выпускался прибор Л2-56 (рис 3).

В те времена выпускали много различных измерительных приборов и весьма неплохих. Потом, в определенный исторический момент, отечественная промышленность практически прекратила производство средств измерения. И советские измерительные при-



1

Тестер компонентов С600МХ



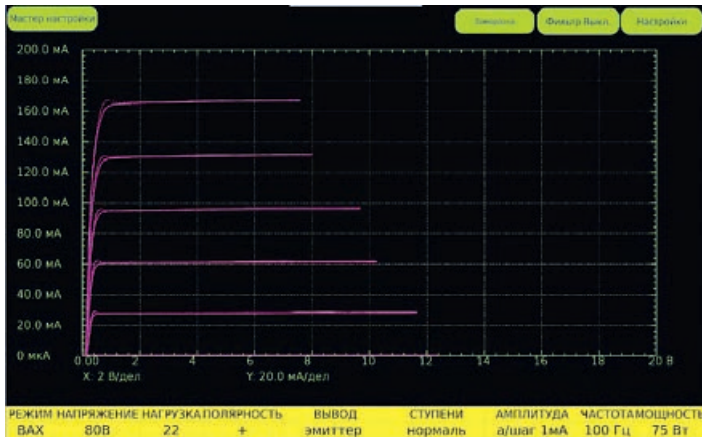
2

Измеритель параметров полупроводниковых приборов Л2-156



3

Измеритель параметров полупроводниковых приборов Л2-56

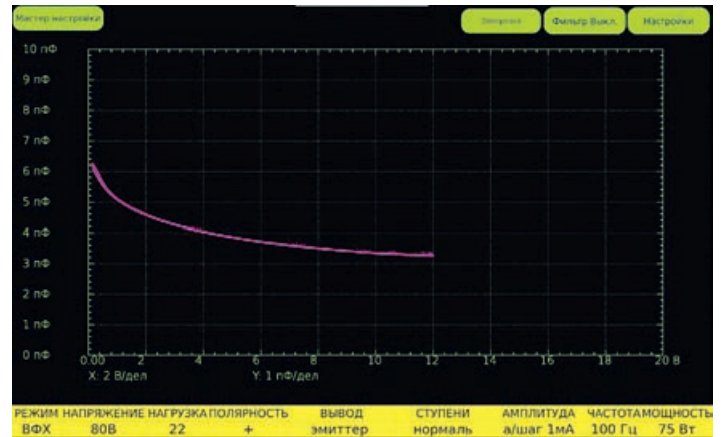


4

ВАХ биполярного транзистора на экране характериографа Л2-156

боры на предприятиях были практически все заменены на импортные. Все, кроме Л2-56 – ему не нашлось достойной замены. Речь идет о совокупности метрологических характеристик и потребительских свойств. Надо сказать, что с задачей не справились не только китайские приборы под марками Л2-100 и Прогресс 3000, но и весьма неплохие и недешевые, такие как, например, keysight b1500a. Keysight b1500a – хороший прибор для научных исследований, но он не предназначен для применения в серийном производстве. Поэтому продолжается эксплуатация приборов Л2-56. Но поддерживать работоспособность столь возрастных и в принципе морально устаревших приборов весьма затруднительно.

Для решения этой проблемы был разработан характериограф Л2-156. Этот прибор не является копией Л2-56. В нем использованы совершенно другие, более современные схемные решения, что позволило создать прибор, отвечающий современным требованиям как по точности, так и по возможности совместной работы с цифровыми информационными системами. При этом в процессе разработки были проанализированы причины успеха Л2-56 и неуспеха приборов типа Л2-100 и keysight b1500a, и сделанные выводы учтены в схемных решениях и конструкции. В частности, органы управления Л2-156 полностью идентичны Л2-56, но более надежны механически, что дает возможность оператору легко освоить новый прибор. Устройство подключения объекта измерения тоже идентично, а это позволяет предприятиям использовать специализированные адаптеры, которые были разработаны за долгие годы эксплуатации Л2-56. Вместо электронно-лучевой трубки в качестве индикатора используется цветной сенсорный дисплей HDMI высокого разрешения. Это существенно повышает точность измерения прибора, так как точность отсчета зависит от разрешающей способности дисплея, а она на порядок выше, чем у ЭЛТ. Экран более информативен и имеет функцию управления за счет сенсорных возможностей (рис 4). К прибору может быть подключен дополнительный внешний дисплей HDMI, а также



5

ВФХ диода на экране характериографа Л2-156

обеспечена связь с внешним компьютером. На лицевой панели имеется разъем USB, позволяющий оперативно сохранять информацию на флеш-накопителе.

На этапе разработки полупроводникового прибора важно обеспечить работу прибора совместно с зондовой станцией, чтобы иметь возможность проводить измерения характеристик на пластине. С точки зрения подключения зондовая станция – это просто адаптер. Но адаптер с длинными связями. И учитывая, что при зондовых измерениях возникают вопросы, связанные с влиянием внешних помех, может потребоваться применение экранированной камеры. И в таком варианте необходимо, чтобы сам измерительный прибор не являлся источником помех. Характериограф Л2-156 разработан именно с учетом этих требований. В его составе нет импульсных источников питания и других источников помех.

У Л2-156 появилась функция получения ВФХ полупроводниковых приборов, которой не было в Л2-56 (рис 5). Имеется возможность измерения емкости р-п-перехода при изменении обратного напряжения на нем от 0 до 400 В. Измерение емкости производится на частоте 1 МГц, что соответствует стандартам, например, в ГОСТ 18986.4-73 оговорено, что она не должна быть менее 0,1 МГц. Эта функция весьма полезна при использовании прибора на входном контроле. Емкости переходов часто оговорены в ТУ, и их несоответствие однозначно указывает, что внутри компонента не тот кристалл.

Следующий этап – производство. Тут возможны принципиально различные варианты. Дело в том, что определенные типы приборов предназначены для массового производства, и для его обеспечения необходимы высокоавтоматизированные средства без излишней детализации по параметрам. И в тоже время некоторые полупроводниковые приборы изначально разрабатываются для производства в относительно небольших количествах. Как правило, эти изделия имеют повышенные требования по качеству, точности и надежности. Сто-



6

Окно с электронным техническим описанием на экране характериографа Л2-156

имость таких приборов может быть на порядки выше массовых изделий. Понятно, что для них допустима большая стоимость тестирования, которая в основном определяется не ценой оборудования, а трудоемкостью процесса. Тут ничего не поделаешь, ведь отличие цены изделий с более высокой категорией качества в основном обусловлено именно затратами на тестирования и испытания. Л2-156 для этого полностью подходит, и здесь возможен определенный уровень автоматизации благодаря связи с компьютером. Да и процесс документирования результатов может быть полностью автоматизирован.

За этапом производства следует этап эксплуатации изделия. Применительно к полупроводниковым компонентам, которые сами по себе, строго говоря, не законченное изделие, а комплектация: на предприятии, производящем изделия электронной техники, куда они поступают, следует рассматривать их тестирование при входном контроле как следующий этап их жизненного

цикла. Тут применение прибора Л2-156 практически безальтернативно. На входной контроль попадают различные полупроводниковые приборы: от мощных диодов до туннельных диодов, от маломощных транзисторов до мощных MOSFET. Благодаря своей универсальности характериограф Л2-156 позволяет проводить исследования практически любых ПП-приборов. При использовании на входном контроле может оказаться весьма полезной функция электронного технического описания, подсказывающая оператору, какие режимы установить для конкретного прибора. Необходимо только ввести тип тестируемого прибора, обозначить, какую характеристику необходимо отобразить, и на экран будет выведено изображение нужного положения органов управления прибора для выбранного компонента (рис 6).

При использовании характериографа Л2-156 на входном контроле легко организовать документирования результатов и подготовку материалов для претензионной работы. \

Наличие в составе прибора Л2-156 достаточно мощных вычислительных средств и возможность подключения внешнего компьютера открывают большие возможности для построения программно-аппаратных комплексов как с целью организации сложных программ исследования характеристик, так и для построения структур системы качества предприятия.



Ёмкость рынка доверенной электронной компонентной базы

для критической информационной инфраструктуры России

Текст: Михаил Цветников,
Давид Францышин

”

Критическая информационная инфраструктура (КИИ) – это совокупность систем и объектов, обеспечивающих надежное функционирование государства. В частности, КИИ включает в себя информационные системы, сети передачи данных и автоматизированные системы управления, функционирующие в сферах здравоохранения, науки, транспорта, энергетики, банковской и иной финансовой деятельности, топливно-энергетического комплекса, атомной энергетики, обороны страны. Обеспечение устойчивости КИИ требует использования доверенной электронной компонентной базы (ЭКБ) – компонентов, спроектированных и произведенных под контролем Российской Федерации.

Глобальная геополитическая ситуация последних лет существенно изменила приоритеты в развитии национальной микроэлектроники как стратегического ресурса государства. Экономические санкции, торговые ограничения и ограничение доступа к передовым технологиям привели к необходимости переосмысления подходов к обеспечению электронной компонентной базой критической инфраструктуры России.

Как отмечал в своей статье В. В. Шпак, «условием развития электронной промышленности в рамках консолидации макроэкономических зон является создание собственных суверенных, в том числе экспортноориентированных, решений. [...] Мы не сможем построить суверенную отрасль, базируясь на иностранных стандартах и регламентах. Собственные открытые стандарты и архитектуры могут дать дополнительный импульс для прогрессивного движения отрасли и сформировать спрос в смежных отраслях и странах» [1].

Технологическая суверенность стала признаваться не просто желаемым преимуществом, а императивом национальной безопасности. В этом контексте развитие отечественной микроэлектроники для объектов КИИ представляет собой одну из наиболее острых и актуальных задач государственной экономической политики.

В настоящем исследовании рассматриваются три взаимосвязанные проблемы:

- разработка воспроизводимой и прозрачной методики расчета спроса на доверенную ЭКБ для КИИ;
- предоставление объемных ориентиров в натуральных единицах для планирования инвестиций;
- создание информационной базы для диалога между государством, производителями и потребителями о реалистичности целей по локализации и импортозамещению электроники.

Выбор натуральных единиц расчета – количества кристаллов, числа пластин различного диаметра – обеспечивает инвариантность результатов, которые не зависят от волатильности валют и цен, а также гарантирует полную прозрачность методики. Исследование предоставляет перечень объектов КИИ, типовые наборы компонентов для каждого класса оборудования, коэффициенты обновления, параметры производства и сценарное разложение с вариацией параметров.

Методология исследования

Доверенность в контексте ЭКБ для систем КИИ определяется следующими ключевыми критериями:

1. Качество и надежность компонентов означают соответствие их фактических характеристик установленным электрическим параметрам, отсутствие преждевременных отказов, предсказуемое поведение в условиях эксплуатации и совместимость с остальными компонентами.
2. Технологическая безопасность производства охватывает физическую безопасность помещений, информационную безопасность, кадровую безопас-

ность и прослеживаемость каждого выпущенного компонента. Это подразумевает отсутствие криптографических «люков» и независимую верификацию для критических компонентов.

3. Российское происхождение означает разработку проекта микросхемы в России, производство кристаллов на российских фабриках и сборку в России, хотя сырье может закупаться на международном рынке. Стандарты и сертификация требуют соответствия установленным нормам и прохождения независимого тестирования и аудита производственного процесса. По технологиям полупроводникового производства, недоступным в РФ в настоящее время, российское происхождение в некоторой степени может быть обеспечено за счет прослеживаемой и верифицированной разработки микросхем российскими компаниями, а также за счет выполнения отдельных этапов технологического процесса на российских фабриках (как минимум, корпусировки микросхем).

В понятие КИИ включаются как технические системы с определенными характеристиками, так и социально значимые объекты, от которых зависит функционирование критически важных для страны процессов. Перечень критических отраслей и секторов, включаемых в КИИ и проанализированных в настоящем исследовании, охватывает ряд областей [2], описание которых приведено ниже.

Здравоохранение: включает учреждения первичной медико-санитарной помощи, региональные и федеральные центры специализированной помощи, органы управления здравоохранением, системы санитарно-эпидемиологического надзора. Критичность этого сектора очевидна: сбой информационных систем в больнице может иметь прямое влияние на жизнь и здоровье людей. В исследовании определялось количество федеральных и региональных медицинских центров, больниц, поликлиник, аптек и их потребность в радиоэлектронной аппаратуре (РЭА); а также количество и состав систем медицинского учета и диспетчеризации. Для каждого типа учреждения определены основные информационные системы (электронная история болезни, лабораторный учет, аптечные системы управления запасами, системы видеонаблюдения, системы жизнеобеспечения оборудования).

На примере сферы здравоохранения можно продемонстрировать примененный в исследовании алгоритм определения количества объектов:

1. Исследовались открытые данные о количестве лечебных и аптечных организаций в РФ, а также уровень их оснащенности электронной аппаратурой:
 - › количество больниц в России: 5,2 тыс. учреждений, в среднем каждое насчитывает 64 рабочих места врачей [3];
 - › количество поликлиник: 21,6 тыс. учреждений с 14 автоматизированными рабочими местами врачей в среднем [4].



Данные для расчета количества объектов КИИ в сфере здравоохранения

НАИМЕНОВАНИЕ ТИПОВОГО ОБЪЕКТА (СИСТЕМЫ) КИИ	ПОДСИСТЕМА	ОБЪЕКТ УЧЕТА	КОЛИЧЕСТВО ОБЪЕКТОВ
Медицина и фармацевтика			
Медицинская информационная система медицинских организаций; Государственная информационная система обязательного медицинского страхования и территориальных фондов обязательного медицинского страхования; Прочие системы	Медицинские учреждения	АРМ-1	381 120
		АРМ-2	190 560
		АРМ-3	63 520
Система фармацевтических организаций	Аптеки	АРМ-2	81 700

Таким образом, общее количество автоматизированных рабочих мест (АРМ) составило: $5\ 200 \cdot 64 + 21\ 600 \cdot 14 = 635\ 200$ устройств.

- Распределение общего количества АРМ по типам (первому, второму и третьему) в лечебных учреждениях принято для целей исследования как 60%/30%/10%. Исходя из этого, рассчитано количество АРМ соответствующих типов: 381 тыс. АРМ первого типа, 190 тыс. АРМ второго типа, 63 тыс. высокопроизводительных АРМ третьего типа.
- Количество аптек – 81,7 тыс. аптечных пунктов с одним АРМ второго типа [5].

В результате за основу расчета количества объектов КИИ в сфере здравоохранения приняты данные, представленные в **Т 1**.

Кроме того, учтено необходимое количество серверов и систем хранения данных (СХД) для функционирования единой государственной информационной системы медицинских учреждений.

Энергетика охватывает электроэнергетические системы (генерирующие, передающие и распределяющие компании), газораспределительные и нефтепроводные системы, системы теплоснабжения. Сбой энергетической инфраструктуры влечет каскадные последствия: без электричества не работают больницы, школы, промышленность, жилые дома. В рамках анализа определялось количество генерирующих станций ТЭС/ТЭЦ, гидроэлектростанций, распределительных подстанций, систем учета и контроля. Для каждого типа объекта определены типовые системы управления (АСУТП различных типов сложности).

Транспорт включает гражданскую авиацию, железнодорожный, речной и морской транспорт, а также автомобильные дорожные магистрали и системы управления дорожным движением. Отказ систем управления транспортом может привести к масштабным авариям и человеческим жертвам. В рамках исследования определялось количество аэропортов, авиакомпаний, систем управления воздушным движением, железнодорожных вокзалов и диспетчерских

центров, портов, грузовых терминалов и т.д. Для оценки потребности в доверенной РЭА в сфере автотранспорта определялось количество систем управления дорожным движением, светофоров, систем дорожного мониторинга.

Наука представлена крупными научными и исследовательскими центрами, организациями, имеющими стратегическое значение для развития страны. Компьютерные системы используются в фундаментальных исследованиях, разработках новых технологий, обработке больших данных.

Инфраструктура связи (электросвязь и почтовые системы) необходима для координации всех остальных критических систем и для взаимодействия государства с обществом. Современная система связи – это не столько голосовые каналы, сколько интегрированная информационная инфраструктура. В исследовании определялось количество базовых станций, ретрансляторов, региональных центров коммутации, систем фиксированной связи, систем учета и биллинга.

Несмотря на тот факт, что в настоящее время ФСТЭК не относит к элементам КИИ сим-карты, используемые в потребительских устройствах, по мнению авторов исследования, этот сегмент полностью отвечает критериям КИИ. Так, сбои в функционировании сотовой связи, вызванные использованием сим-карт, не отвечающим критериям доверенности, безусловно окажут негативное влияние на жизнь и здоровье граждан, нормальное функционирование государства. Масштаб такого влияния трудно переоценить. По этой причине в периметр исследования также включались потребляемые сим-карты.

Финансовая система включает кредитные организации (банки), центральный банк, системы расчетов и платежей, страховые компании, биржи. Сбой в финансовой системе парализует экономику в целом.

Руководствуясь той же логикой, по которой в исследование включены сим-карты, авторы включили в фокус микросхемы для банковских карт. Сбои в системе проведе-

Т 2

Усредненный состав АСУТП в зависимости от их масштаба

КОМПОНЕНТЫ В СОСТАВЕ АСУТП	ТИПЫ АСУТП В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СЛОЖНОСТИ И КОЛИЧЕСТВО СООТВЕТСТВУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ			
	АСУТП-1	АСУТП-2	АСУТП-3	АСУТП-4
Координирующая ЭВМ / сервер	1	2	2	10
Датчики (количество обрабатываемых переменных)	50	200	1 000	10 000
Модули ввода/вывода	0	2	10	500
ЦАП/АЦП	0	16	500	1 000
ПЛК / Микро ЭВМ	2	10	10	500
Интерфейсные микросхемы	0	18	510	1 500
Исполнительные устройства	25	100	500	5 000

ния платежей с использованием банковских карт повлекут значительные негативные последствия.

Для определения количества объектов использовались открытые данные Росстата, органов власти, таможенные данные и экспертные оценки.

В состав КИИ также включаются системы ядерной безопасности (атомные электростанции, хранилища), космической деятельности, органы государственной власти различных уровней, учреждения обороны и безопасности, органы регистрации прав на недвижимое имущество. Однако объекты из «закрытых» сфер не рассматривались в рамках настоящего исследования ввиду недоступности надежной информации о количестве и параметрах потребляемой РЭА.

Технологический ландшафт разделен на следующие четыре уровня, соответствующих текущим и прогнозируемым возможностям российской микроэлектроники, а также технологиям, недоступным в РФ в ближней и среднесрочной перспективе.

Первый уровень (уровень 1) – топология 90 нм и выше на пластинах 200, 150 и 100 мм – российские фабрики имеют опыт массового производства по таким технологиям, и компоненты полностью соответствуют требованиям большинства систем КИИ.

Перспективный уровень (уровень 1П) – переходные технологии (60–45 нм, пластины 300 мм) – это перспективная локализация до 2030 года. Россия не имеет серийного производства по этому техпроцессу, однако ряд проектов находится на различных стадиях разработки. Освоение этого уровня рассматривается как критическая задача на период 2025–2030 годов и требует инвестиций в новые производства на уровне 250–500 млрд рублей.

Второй уровень (уровень 2) – передовые технологии (≤28 нм, пластины 300 мм) – остается импортом. Готовые компоненты или пластины с кристаллами этого уровня будут закупаться за рубежом в ближайшие 10–20 лет.

Отдельную категорию (*уровень А^{III}В^V*) представляют полупроводниковые приборы на основе нитрида галлия (GaN), арсенида галлия (GaAs) и других материалов группы А^{III}В^V. Эти материалы используются для СВЧ-приборов, оптоэлектроники. Россия имеет исторический опыт производства таких приборов, и дальнейшее развитие этого направления рассматривается как стратегическое.

Используемая радиоэлектронная аппаратура подразделяется на несколько типов. АРМ и персональные компьютеры используются сотрудниками органов власти, медицинских учреждений и научных центров. Серверы и СХД работают 24/7 с избыточностью питания и охлаждения. Кроме того, АРМ, серверы, СХД входят в состав автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУТП). В свою очередь, АСУТП дифференцируются по количеству и сложности входящих в них компонентов.

В Т 2 представлены компоненты, которые входят в усредненный состав АСУТП в зависимости от масштаба систем.

Смарт-карты обеспечивают идентификацию и криптографические функции. Базовые станции и ретрансляторы сотовой связи дифференцируются по поколениям технологии.

Для каждого класса РЭА определен типовой состав электронных компонентов с привязкой к технологическому уровню (уровни 1, 1П, 2 и А^{III}В^V). Например, в Т 3 представлены компоненты, входящие в состав типового АРМ облегченного типа.

Требуемое количество пластин рассчитывается на основе площади кристалла, количества кристаллов на пластине с учетом полезной площади и дисконтируется с учетом процента выхода годных микросхем (для целей исследования ПВГ принят на уровне 80%). Оценка требуемого количества кристаллов смещена в консервативную область – фактически требуемый объем можеткратно превышать расчетную величину, однако авторы исследования



Компоненты типового АРМ облегченного типа

ЭКБ	УРОВЕНЬ ПРОИЗВОДСТВА	ДИАМЕТР ПЛАСТИНЫ	КОЛ-ВО КРИСТАЛЛОВ	ПЛОЩАДЬ КРИСТАЛЛА
Микропроцессоры CPU, GPU (ТП<28 нм)	2	300	1	100
Прочая логика (ТП <45 нм)	2	300	2	10
Прочая логика (ТП 60–45 нм)	1п	300	2	15
Прочая логика (ТП >90 нм)	1	200	2	25
Оперативная память (DRAM, SRAM)	2	300	2	70
Энергонезависимая память (NAND Flash, EEPROM)	2	300	4	60
Прочие аналоговые ИС и радиомодули	1	200	4	10
Микросхемы управления питанием	1	200	4	10
Прочие ИС и дискретные ПП	1	200	3	10

стремились избежать завышенных значений потребности, полученных по итогам анализа.

Результаты исследования

Общее количество микросхем первого уровня, ежегодно потребляемых объектами КИИ, составляет 161 млн шт., или 44 тыс. пластин. Наибольший вклад в структуру потребления внесли сферы связи (66,6 млн шт. или 18,2 тыс. пластин), банковский сектор (62,1 млн шт. или 15,3 тыс. пластин) и защищенная полиграфия (12,5 млн шт. или 2,7 тыс. пластин). Это связано главным образом с потребностью в смарт-картах: банковских картах, SIM-картах и микросхемах для идентификационных документов.

Количество зарегистрированных SIM-карт в РФ составляет порядка 275 млн шт. [6], при этом ежегодное потребление консервативно оценивается в 60 млн шт., что составляет 37% от общего объема потребления ЭКБ. Количество ежегодно эмитируемых банковских карт также составляет не менее 60 млн штук и 37% от общего объема ЭКБ [7]. Суммарно потребность в смарт-картах составляет более 133 млн шт. в год, или 82%.

Все прочие сферы КИИ суммарно потребляют около 27 млн микросхем (18%), что составляет 16 тыс. пластин (15%). Структура потребления в требуемом количестве пластин по отраслям показывает, что энергетика требует 1,4 тыс. пластин первого уровня (42% потребности в ЭКБ для АСУТП), тяжелая промышленность требует 1,2 тыс. пластин, транспорт требует 2,8 тыс. пластин, здравоохранение требует 1,9 тыс. пластин, топливно-энергетический комплекс требует около 300 пластин в год.

По типам применяемых в различных сферах устройств структура следующая: смарт-карты потребляют 29 тыс. пластин первого уровня (65%), АСУТП потребляют 3,3 тыс. пластин (8%), серверы и системы

хранения данных потребляют 8 пластин (18%), базовые станции и ретрансляторы потребляют 2,8 тыс. пластин (6%), автоматизированные рабочие места потребляют 1,3 тыс. пластин (3%).

Наибольший объем потребления компонентов для АСУТП приходится на энергетику – 1,4 тыс. пластин в год. Современная электросетевая подстанция оснащена системой управления и контроля, которая обеспечивает мониторинг параметров сети, защиту от перегрузок, синхронизацию с соседними подстанциями, ведение журналов и отчетность, дистанционное управление. За счет большого количества подстанций в стране формируется значительный спрос на микроконтроллеры и интерфейсные компоненты.

Анализ структуры спроса по типам РЭА выявляет дифференцированную стратегию локализации. Преимущественная локализация возможна для АСУТП первого и второго типов, счетчиков и АРМ, которые основаны на компонентах первого уровня и могут быть локализованы на существующих мощностях. Частичная перспективная локализация возможна для сложных АСУТП, серверов и СХД, где локализация сборки и некоторых компонентов может быть реализована на горизонте 2030–2035 годов, а другие компоненты остаются импортными. Специальная локализация возможна для инфраструктуры связи и криптографии, требующей отдельных инвестиций. Долгосрочный импорт сохранится для компонентов второго уровня, которые останутся импортными как минимум до 2040 года.

Сценарии и анализ чувствительности

В исследовании приведен сценарный анализ изменения количества кристаллов на пластине и интенсивности обновления оборудования. Базовый сценарий (М) предполагает коэффициент обновления РЭА на уровне 14%.


Сценарий низкого спроса (S) предусматривает увеличение количества кристаллов на пластине на 10% и коэффициент обновления 10%, что дает потребность в 36 тыс. пластин – на 18% меньше показателя базового сценария. Сценарий высокого спроса (L) предполагает снижение количества кристаллов на пластине на 10% и коэффициент обновления 18%, что дает потребность в 54 тыс. пластин – на 22% больше показателя базового сценария.

Совокупная годовая мощность всех российских полупроводниковых фабрик на 2025 год составляет около 100 тыс. пластин в эквиваленте 200 мм в год. В базовом сценарии совокупный спрос составляет 44 тыс. пластин с компонентами первого уровня, что примерно соответствует мощности одной фабрики. Спрос на компоненты уровня 1П составляет 2,5 тыс. пластин и требует создания новых мощностей со значительными инвестициями. Базовый сценарий показывает, что текущие мощности могут покрыть совокупный спрос при условии полной их переориентации на КИИ, однако, учитывая текущую загрузку фабрик государственными заказами, это маловероятно.

Важно подчеркнуть, что расчеты являются консервативной оценкой вследствие исключения оборонно-промышленного комплекса, ракетно-космической отрасли и атомной промышленности. Учет данных секторов в совокупности может удвоить оценку предполагаемого спроса на компоненты всех уровней. Таким образом, максимальный спрос на ЭКБ первого уровня может достигать 100 тыс. пластин ежегодно.

Резюмируя итоги исследования, можно утверждать, что емкость рынка доверенной ЭКБ первого уровня составляет 36–54 тыс. пластин (в эквиваленте 200 мм) в год, а при учете закрытых отраслей КИИ этот показатель может превышать 100 тыс. пластин. Компоненты такого уровня могут производиться на существующих фабриках или на новых производствах по освоенным технологиям до 90 нм. Инвестиции в расширение мощностей экономически обоснованы. Гарантированный государственный спрос позволит спланировать и реализовать расширение производств с окупаемостью 7–10 лет.

Емкость рынка перспективного уровня (65–45 мм) составляет около 3–5 тыс. пластин 300 мм ежегодно, что не обеспечивает загрузку современной фабрики в коммерческих условиях, но может быть обусловлено стратегической необходимостью. Сохраняется долгосрочная зависимость от импорта сложных компонентов второго уровня с потребностью 108 тыс. пластин.

Настоящее исследование предоставляет количественное обоснование для принятия решений в отношении развития производственного и технологического потенциала страны и может быть использовано для координации усилий государства, производителей, инвесторов и заказчиков критической инфраструктуры при выработке стратегии укрепления технологического суверенитета и локализации производства доверенной электронной компонентной базы. 

Использованные материалы

1. Шпак В. В. Векторы развития отечественной электроники в глобальном контексте // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, технология, бизнес. 2025. № 1. С. 14–18.
2. Перечень нормативных актов, утверждающих перечни объектов КИИ:
3. Перечень типовых отраслевых объектов критической информационной инфраструктуры, функционирующих в сфере науки (утв. Министерством науки и высшего образования Российской Федерации 1 октября 2024 года);
4. Перечень типовых отраслевых объектов критической информационной инфраструктуры, функционирующих в сфере здравоохранения (утв. Министерством здравоохранения Российской Федерации от 1 июля 2024 года);
5. Перечень типовых отраслевых объектов критической информационной инфраструктуры, функционирующих в сфере транспорта (утв. Министерством транспорта Российской Федерации 26 апреля 2024 года);
6. Перечень типовых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, функционирующих в области горнодобывающей промышленности (в части руд и камней) (утв. Министерством промышленности и торговли Российской Федерации 24 января 2024 года);
7. Перечень типовых отраслевых объектов критической информационной инфраструктуры, функционирующих в сфере связи (утв. Министерством цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации) (по состоянию на 8 февраля 2024 года);
8. Перечень типовых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, функционирующих в области химической промышленности (утв. Министерством промышленности и торговли Российской Федерации) (по состоянию на 12 января 2024 года).
9. Камаев Д. Росстат вновь зафиксировал сокращение стационарного коечного фонда // Vademecum: [электронный ресурс]. 2024. URL: [https://vademec.ru/news/2024/01/10/rosstat-vnov-zafiksiroval-sokrashchenie-statsionarnogo-kochnogo-fonda/] (дата обращения: 30.01.2024).
10. Догужева В. Число поликлиник в России сократилось за год на 1,3 тыс // Медвестник: [электронный ресурс]. 2022. URL: [https://medvestnik.ru/content/news/Chislo-poliklinik-v-Rossii-sokratilos-za-god-na-1-3-tys.html].
11. Ким И. В России за год открылось 7211 новых аптек // Фармзнание: [электронный ресурс]. 2025. URL: [https://pharmznanie.ru/news/v-rossii-za-god-otkrylos-7211-novykh-aptek].
12. Гаврилюк А. Количество активных сим-карт в России беспрецедентно сократилось // Forbes: [электронный ресурс]. 2025. URL: [https://www.forbes.ru/tehnologii/543715-kolicestvo-aktivnyh-sim-kart-v-rossii-besprecedentno-sokratilos].
13. Хмелев Д. Сколько в России банковских карт // Banki.ru: [электронный ресурс]. 2024. URL: [https://www.banki.ru/dialog/articles/1759/].

Три кита анализа ОТКАЗОВ: Thermo, EMMI, OBIRCH

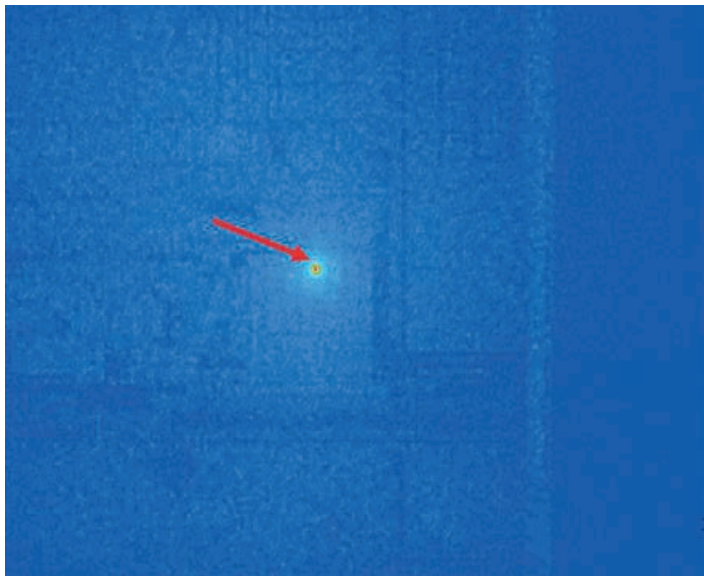
Текст: Сергей Максимов

”

В мире микроэлектроники поиск причины отказа чипа размером с ноготь – это задача, сравнимая с поиском иголки в стоге сена. Когда электрические тесты указывают лишь на аномалию (например, высокий ток утечки или обрыв цепи), на первый план выходят три ключевых физических метода анализа: термография (Thermo), эмиссионная микроскопия (EMMI) и метод детектирования изменения сопротивления, индуцированного лазерным излучением (OBIRCH).

Основная задача – быстро и точно перейти от симптоматики к точным координатам физического дефекта. Это особенно критично, поскольку современные полупроводниковые технологии стремятся к постоянному уменьшению топологических норм. Структуры чипа становятся настолько малыми, что невидимы для обычных оптических микроскопов, а дефект – будь то

микротрещина в металлизации или короткое замыкание в оксидном слое – может иметь размер в единицы нанометров, катастрофически влияя на работу всего устройства. Применение данных методов в анализе отказов позволяет выявлять дефекты не только на поверхности, но на приповерхностных слоях, проникая на сотни микрометров в глубь полупроводниковых структур.



1

Свечение дефекта на поверхности ИС

Методы Thermo, EMMI и OBIRCH эффективно дополняют друг друга, образуя универсальный диагностический инструмент для анализа отказов и локализации дефектов:

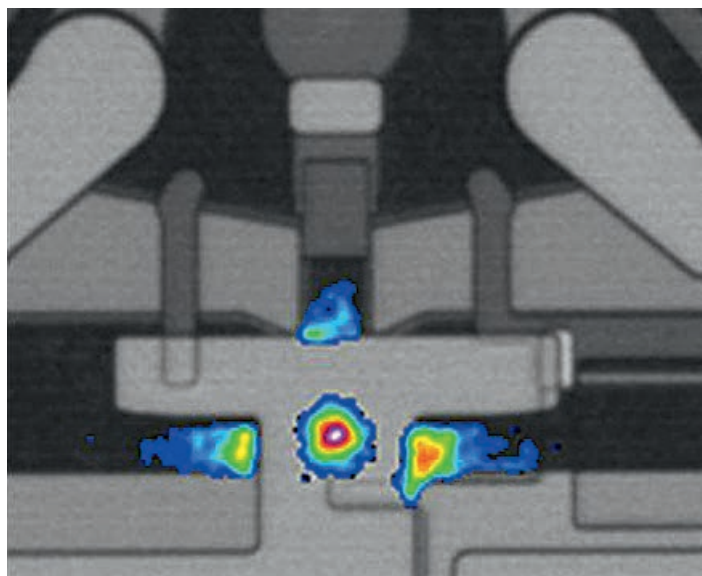
- Thermo: для быстрого скрининга и грубой локализации «горячих точек».
- EMMI: для точечного поиска источников фотонной эмиссии от дефектов, связанных с токами утечки и пробоями.
- OBIRCH: активный метод для локализации «тёмных», резистивных дефектов, которые не светятся и не нагреваются явным образом.

Комбинированное применение этих методов позволяет инженеру-аналитику максимально эффективно отследить путь от электрической аномалии до локализации физического дефекта, получая обратную связь для совершенствования технологических процессов и повышения надёжности микросистемных устройств. Каждый из методов реализован в виде самостоятельного оборудования и, несмотря на общую задачу – анализ отказов и локализацию дефектов с высокой точностью, основан на разных физических принципах.

Принцип действия Thermo

Метод Thermo основан на детектировании теплового излучения, возникающего из-за диссипации мощности в месте дефекта (рис 1). Любое нештатное сопротивление, будь то короткое замыкание или повышенное сопротивление перехода, приводит к локальному разогреву. Этот нагрев фиксируется высокочувствительной инфракрасной камерой, работающей в спектральных диапазонах 3–5 мкм или 8–12 мкм (рис 2).

На практике процедура выглядит проще, чем теория регистрации тепловых излучений, обработки сигналов и их интерпретации:



2

Наложение эталона ИС на локализованный дефект

- На устройство подаётся напряжение, достаточное для проявления дефекта, но недостаточное для его катастрофического разрушения.
- Чип сканируется ИК-камерой через специальную инфракрасную оптику.
- На тепловой карте (термограмме) области с аномальным нагревом отображаются ярким цветовым градиентом на фоне более холодной подложки.

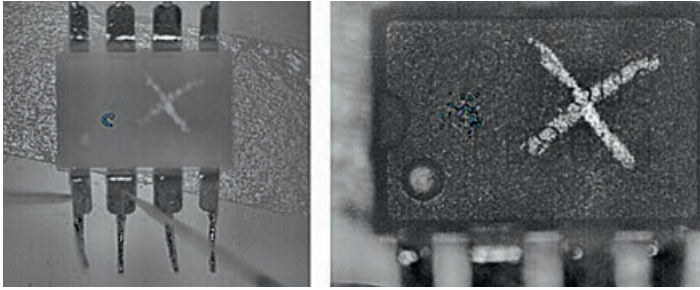
Применение этого метода позволяет выявить короткие замыкания в металлизации, пробой р-п-переходов, а также дефекты, вызывающие лавинообразный саморазогрев (рис 3, 4).

Метод Thermo применяется для:

- диагностики микросистемных устройств: локализация горячих точек, короткое замыкание, утечка тока;
- исследование тепловых свойств материалов: локальная теплопроводность, контактные сопротивления;
- анализ устройств в динамике: переходные и высокочастотные тепловые процессы в транзисторах и силовой электронике;
- контроль технологических процессов: выявление дефектов пайки, термических аномалий в сборках;

Преимущества метода Thermo

Исключительно высокая чувствительность – главное достоинство метода. Способность обнаруживать дефекты с тепловыделением в единицы и даже доли микроватт (мкВт), чувствительность по температуре достигает десятков микрокельвинов (мкК) после накопления сигнала. Это позволяет находить предельно малые токи утечки, недоступные для других методов.



3
Локализация «горячих точек» без декапсуляции

Возможность 3D-локализации. Благодаря анализу фазового сдвига, возможно не только точно определить местоположение дефекта по осям X и Y, но и оценить глубину его залегания (ось Z).

Устойчивость к внешним факторам. Метод «съедает» постоянные шумы и дрейфы температуры окружающей среды, а также нечувствителен к паразитным отражениям. Это позволяет проводить измерения без специального экранирования.

Отсутствие пробоподготовки. ЛІТ не требует нанесения на поверхность кристалла каких-либо чувствительных слоев (как, например, жидкие кристаллы или флуоресцентные красители). Анализ проводится непосредственно по собственному ИК-излучению прибора.

Ограничения метода Thermo

Ограниченное пространственное разрешение. Разрешение стандартных микроскопных ИК-установок ограничено дифракционным пределом, который для используемого средневолнового ИК-диапазона (3-5 мкм) составляет около 5 мкм.

Необходимость в импульсном источнике питания. Необходимо подавать на дефект четко синхронизированное импульсное питание с контролируемой частотой и скважностью. Для некоторых типов дефектов или режимов работы это может быть сложно реализовать.

Чувствительность только к «теплым» дефектам. Обнаруживает только те неисправности, которые вы-

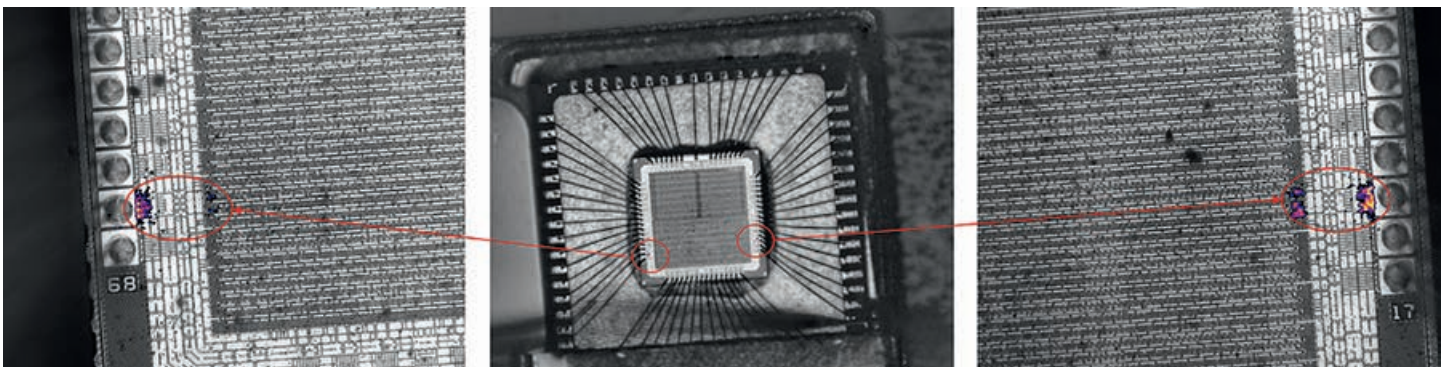


5
Рабочая станция Nanometric Thermo TemOn-10

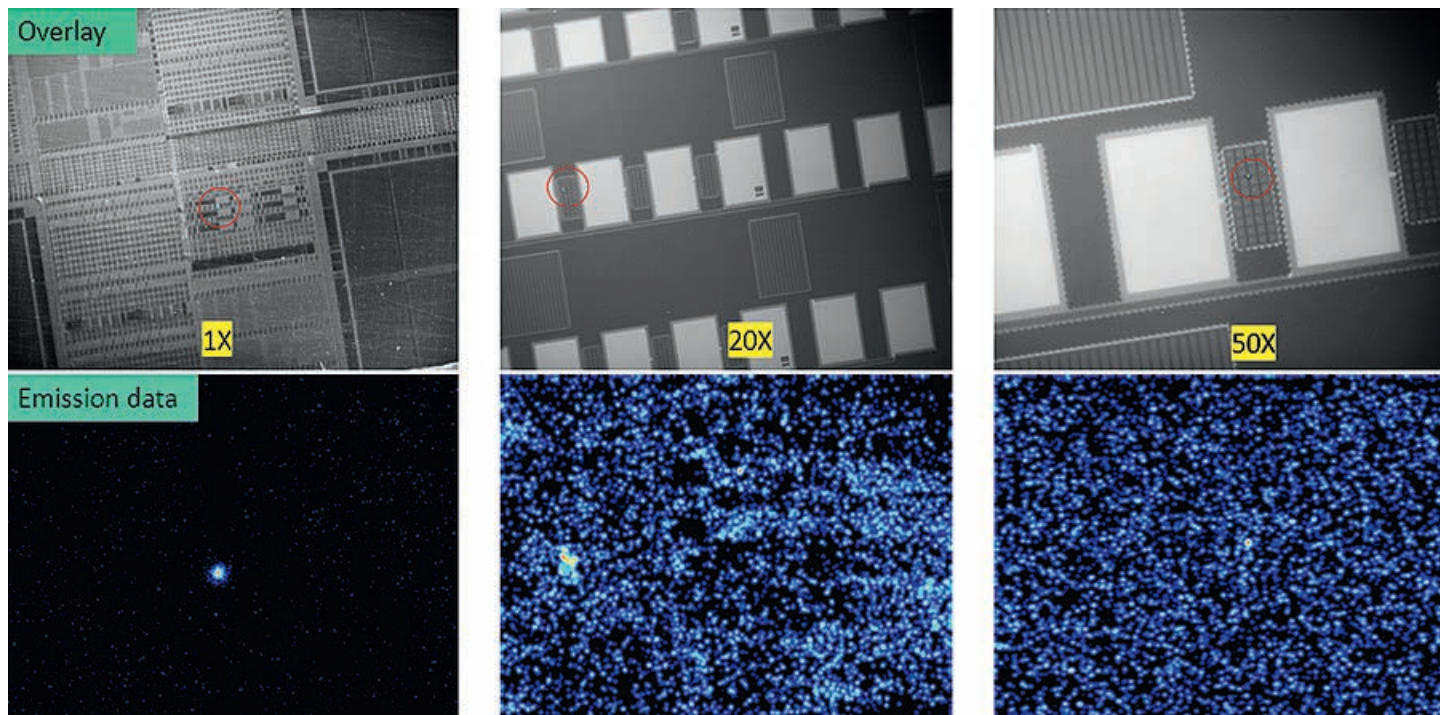
деляют тепло (диссипируют мощность). «Холодные» дефекты, такие как чистые обрывы металла (разрыв цепи без утечки и нагрева), этим методом не выявляются.

Ограничения по частоте. Выбор частоты модуляции влияет на результат. Низкие частоты дают лучший сигнал (выше амплитуда нагрева), но ухудшают пространственное разрешение из-за большего теплового расплывания. Высокие частоты улучшают разрешение, но снижают соотношение сигнал/шум.

Время измерения. Для достижения рекордной чувствительности (единицы мкК) требуется длительное время накопления сигнала, которое может составлять десятки минут



4
Локализация «горячих точек» на микросборке



6

Совмещенное изображения эмиссии и эталонного изображения

Принцип действия EMMI

Метод EMMI основан на детектировании слабых потоков фотонов, которые спонтанно излучаются при определённых электрических процессах в полупроводнике. Применение метода направлено на обнаружение и локализацию дефектов: токи утечки через затвор, пробой диэлектрика, прямое смещение p-n-переходов, проколы в оксидных слоях и других, которые приводят к электронно-дырочной рекомбинации. Высокочувствительные датчики с очень низким уровнем шума улавливают мельчайшие частицы света, возникающие в процессе этой рекомбинации. (рис 6).

Основные физические механизмы излучения:

- Инжекционная люминесценция – при прямом смещении p-n-перехода инжектированные носители рекомбинируют с излучением фотонов (с энергией, близкой к ширине запрещённой зоны кремния ~ 1.1 эВ, ИК-диапазон).
- Люминесценция при пробое – в условиях обратного смещения перехода или пробоя (туннелирование, лавинный пробой) разогретые («горячие») носители теряют энергию, излучая фотоны в широком спектре (видимый и ближний ИК-диапазон).
- Излучение, вызванное токами утечки.

В отличие от Thermo, где устройство также находится под напряжением, при использовании метода EMMI устройство помещают в абсолютно тёмный бокс. Детектирование излучения обеспечивает сверх-

чувствительная камера с длительной выдержкой, которая накапливает фотоны, испускаемые чипом.

Преимущество метода EMMI

Высочайшая чувствительность к токам утечки – главное преимущество метода. Способность обнаруживать дефекты, вызывающие токи утечки вплоть до пикоамперного (пА) диапазона. Это делает метод незаменимым для диагностики современных низкопотребляющих микросхем.

Наглядность и точность. Дает прямое визуальное подтверждение дефекта в виде светящейся точки. Пространственное разрешение составляет единицы микрометров, что позволяет точно привязать место дефекта к элементам топологии.

Пассивность и неразрушающий характер. Не требует внешнего воздействия на образец, кроме подачи рабочего напряжения. Просто «наблюдает» за свечением, не вмешиваясь в работу схемы и не рискуя дополнительно ее повредить.

Широкая область применения. Эффективен для поиска множества типов дефектов, включая:

- токи утечки и пробоя p-n-переходов (Junction Leakage/Breakdown);
- дефекты подзатворного диэлектрика (Gate Oxide Defects);
- последствия электростатического разряда (ESD Failure);
- эффект «защелкивания» (Latch-up);
- дефекты, вызванные горячими носителями (Hot Carriers Effect).



7
Внутренняя компоновка фотоэмиссионного микроскопа Nanometric PhotOn-10 (EMMI)



8
OBRICH в работе



9
Рабочая станция Nanometric LasOn-10 (OBRICH)

Ограничения метода EMMI

Обнаруживает только «светящиеся» дефекты – это фундаментальное ограничение. Дефекты, которые не сопровождаются излучением фотонов, такие как чистые обрывы металлических проводников (металл просто не светится) или увеличение переходного сопротивления в контактах, останутся невидимыми для EMMI.

Экранирование металлом (проблема Frontside). Активные области кремния, где происходит свечение, часто расположены под несколькими слоями металлизации. Металл непрозрачен для видимого и ближнего ИК-света, поэтому он может полностью заблокировать сигнал от дефекта. В таких случаях приходится проводить анализ с обратной стороны кристалла (Backside EMMI), что требует сложной пробоподготовки (шлифовка и полировка подложки).

Размер пятна. В некоторых случаях, особенно для глубоких дефектов или при анализе с обратной стороны, наблюдаемое пятно свечения может быть больше реального размера дефекта из-за рассеяния света в кремнии.

Необходимость пробоподготовки. Для стандартного анализа с лицевой стороны требуется вскрытие корпуса микросхемы для обеспечения доступа к кристаллу. Для обратной стороны требуется дополнительная обработка.

Принцип действия OBRICH

В отличие от Thermo и EMMI, OBRICH является активным методом, основанным на эффекте локального теплового воздействия на электрическое сопротивление. Сфокусированный луч лазера (чаще всего с длиной волны 1340 нм для лучшего проникновения через кремний) сканирует поверхность чипа. Когда луч попадает на область с дефектом, происходит его

локальный нагрев. Это приводит к двум основным эффектам, изменяющим сопротивление:

- Терморезистивный эффект: сопротивление металлических дорожек увеличивается с ростом температуры.
- Эффект Зеебека: в месте контакта разнородных материалов (например, алюминий–кремний) возникает термо-ЭДС, вызывающая дополнительный ток.

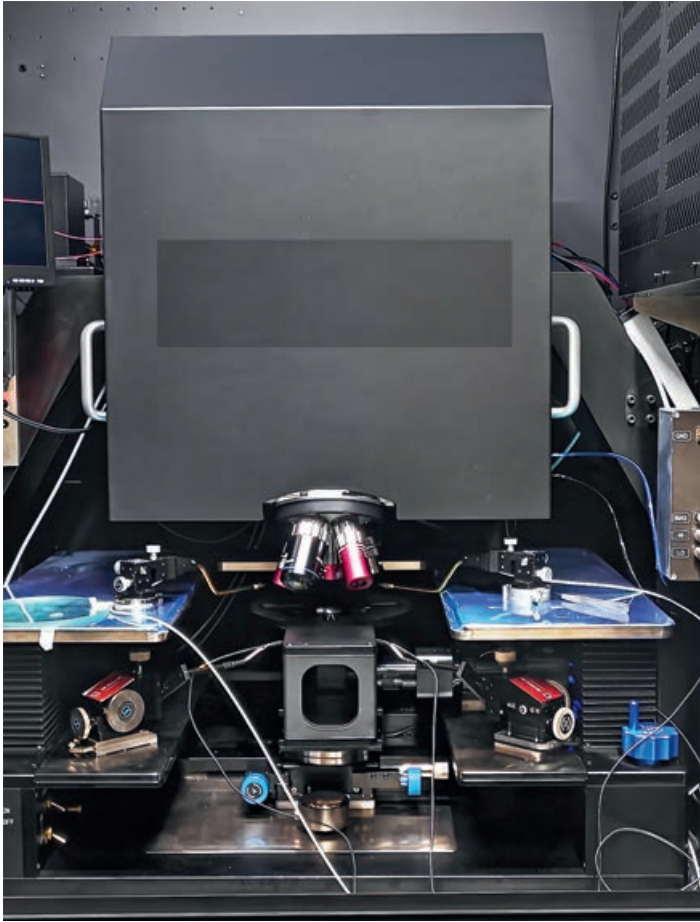
Принцип работы реализован следующим образом:

- На устройство подаётся фиксированное низкое напряжение или ток.
- Лазерный луч сканирует поверхность чипа пиксель за пикселем.
- Система постоянно отслеживает изменение напряжения или тока питания устройства.
- Когда луч попадает на критическую область, связанную с дефектом (например, на суженную перемычку над трещиной), локальный нагрев вызывает скачок сопротивления. Это фиксируется как всплеск сигнала.
- Координаты лазерного луча в этот момент и есть точное местоположение дефекта.

Преимущество метода OBRICH

Высокая чувствительность к различным дефектам. Обладает исключительной чувствительностью к токам утечки и позволяет обнаруживать не только основной путь утечки, но и дополнительные, потенциальные пути обхода или слабые места. Эффективен для широкого спектра дефектов, включая:

- проблемы металлизации (короткие замыкания, пустоты (voids), высокая резистивность);
- дефекты контактов и переходных отверстий (via);



10

Компоновка прибора внутри шкафа Nanometric LasOn-10 (OBIRCH)

- пробой подзатворного диэлектрика;
- локализацию путей протекания тока.

Способность дополнять эмиссионную микроскопию (EMMI). Особенно полезен там, где EMMI малоэффективен, например из-за толстых слоев металла, блокирующих фотоны, или из-за дефектов, которые не сопровождаются свечением (например, проблемы металлизации).

Скорость анализа. Это быстрый метод, что делает его привлекательным для первичной локализации дефектов в условиях высокой загрузки лаборатории. Даже если его разрешения недостаточно, он позволяет быстро отсеять очевидные дефекты, экономя время для более трудоемких методов.

Выявление скрытых дефектов надежности. Может указывать на наличие дефектов (например, структурных нарушений) еще до того, как они проявят себя в виде электрического отказа при стандартном тестировании. Это делает метод перспективным инструментом для контроля надежности (рис 9, 10).

Ограничения метода OBIRCH

Чувствительность только к дефектам с аномальным тепловыделением. Обнаруживает только те неисправности, которые вызывают изменение сопротивления

при нагреве. «Холодные» дефекты, не меняющие сопротивление или не находящиеся под напряжением, останутся невидимыми.

Чувствительность к помехам от фотогенерации носителей. Хотя для OBIRCH используется лазер с длиной волны, не генерирующей электронно-дырочные пары в кремнии, в некоторых случаях (например, при использовании лазеров с меньшей длиной волны или в определенных материалах) может возникать паразитный фототок, который маскирует полезный сигнал от изменения сопротивления.

Рассмотрев три ключевых метода локальной диагностики полупроводниковых приборов – Lock-in термография (THERMO/LIT), фотонная эмиссионная микроскопия (EMMI) и лазерная стимуляция изменения сопротивления (OBIRCH) – можно с уверенностью утверждать, что они образуют методологический фундамент современного анализа отказов интегральных схем. Совокупность методов справедливо называют «Тремя китами», на которых держится успешная локализация дефектов в микроэлектронике. Каждый из методов обладает уникальным физическим принципом действия и, соответственно, занимает свою нишу в диагностическом процессе.

В практической работе инженера-диагноста эти методы не конкурируют, а гармонично дополняют друг друга. EMMI и OBIRCH часто используют в паре: один ищет «светящиеся» утечки, другой – «несветящиеся» резистивные аномалии. THERMO, в свою очередь, выступает в роли высокочувствительного инструмента первичной разбраковки, способного обнаружить микродефекты там, где другие методы бессильны. Возможность 3D-локализации делает Lock-in термографию незаменимым инструментом для анализа современных многослойных структур. □

Таким образом, владение и комплексное применение методов THERMO, EMMI и OBIRCH является обязательным условием для эффективного анализа отказов в современной микроэлектронике. Вместе они образуют мощный аналитический комплекс, позволяющий с высокой точностью, чувствительностью и достоверностью выявлять коренные причины неисправностей полупроводниковых приборов, обеспечивая контроль качества, надежность и возможность противодействия контрафактной продукции.

Путь к повышению конкуренто- способности с Остек-СМТ

Текст: Евгений Сеслюков

Наши реалии

Развитие сетевых технологий, необходимость импортозамещения, повышение требований к безопасности, переход на цифровую экономику и потребность в автоматизации производств указывают на то, что спрос на продукцию в области радиоэлектроники и телекоммуникаций будет стабильно расти в ближайшие годы. Для удовлетворения этого спроса предприятиям необходимо быстро нарастить производственные возможности, т. к. на российском рынке наблюдается возрастающая активность со стороны азиатских конкурентов. Производство в Юго-восточной Азии отличается низкой себестоимостью и высоким уровнем технологического развития. Они не только быстро занимают освобожденные западными компаниями ниши рынка, но и активно осваивают сегменты рынка российских предприятий, предлагая продукцию востребованного качества и стоимости. И даже там, где есть требования по ограничению исполь-

зования зарубежных изделий, отечественные производители конкурируют с псевдолокализованной азиатской продукцией, которая формально соответствует стандартам локализации, но фактически является импортной продукцией.

Поэтому «промедление смерти подобно» и следует повышать свою конкурентоспособность, чтобы полноценно воспользоваться новыми возможностями и укрепить свои позиции на динамично развивающемся рынке. Однако сделать это непросто в текущих экономических реалиях.

Кредитно-денежная политика ЦБ РФ снижает привлекательность реального сектора экономики для инвесторов, и вместо вложений в производственный сектор они предпочитают вкладывать деньги в финансовые активы, поскольку там ниже риск и выше ожидаемая доходность. Государственная поддержка российских предприятий в этих условиях предоставляется, однако

она распространяется преимущественно на устойчивых игроков рынка, которые смогут быстрее вернуть вложенные бюджетные средства и внести наибольший вклад в экономику государства.

В условиях дефицита инвестиций обновление производственного оборудования требует взвешенного анализа и обоснования, ведь высокая стоимость кредитов и низкое доверие инвесторов затрудняют получение средств на развитие. Необходимо снижать риски неоправданных вложений, инвестировать только в то, что гарантированно позволит выпускать в требуемые сроки востребованную продукцию с конкурентным уровнем себестоимости. Иначе сложно гарантировать приемлемые сроки возврата вложенного капитала инвесторов или кредиторов, чьи требования ужесточились. Государственная поддержка доступна лишь тем, кто сумеет убедительно продемонстрировать перспективность проекта и готовность рационально распоряжаться средствами.

Все это заставляет компании задумываться над необходимостью преобразований подходов к организации производственной деятельности. Теперь недостаточно полагаться исключительно на применяемые методы и технологии. Нужно уметь грамотно сравнивать организацию своего производства с новейшими разработками и технологиями и находить доступные возможности для инновационного роста.

Внедрение этих изменений требует от операционных руководителей больших усилий и предполагает наличие специальных знаний и управленческого опыта, необходимых для правильной интерпретации ситуации и выбора оптимальных путей развития. При этом на производстве они ежедневно сталкиваются со многими вызовами. Оперативное управление производственным циклом само по себе сложный процесс, требующий значительных административных ресурсов. В таких условиях нередко руководители пытаются решить проблемы своими силами, прибегая к интуитивным решениям или советам коллег, но этот подход редко приносит заметные результаты. Ограниченная осведомленность об инновациях и перспективах развития отрасли создаёт замкнутый круг: руководители повторяют прошлые ошибки, двигаясь по привычному кругу знакомых решений, которые давно перестали приносить требуемые результаты.

Чтобы преодолеть эти ограничения и ускорить процесс принятия взвешенных решений, целесообразно использовать внешнюю экспертную оценку. Специалисты, привлекаемые извне, владеют уникальной возможностью сравнить разные производственные подходы в отрасли, изучить передовой опыт других отраслей и перенести лучшие практики на предприятие заказчика. Это позволяет компаниям взглянуть на свои процессы шире, рассмотреть альтернативные пути развития и реализовать проекты, направленные на существенное улучшение операционной эффективности и повышение конкурентоспособности.



Независимая консультация профессионалов способна выявить скрытые резервные производственные возможности, подсказать пути улучшения организационной структуры, определить конкретные меры по оптимизации производственных процессов и предложить целесообразные варианты модернизации. Использование стороннего опыта дает возможность сэкономить время и ресурсы на принятие решений. Внешние эксперты предоставляют свежий взгляд на проблему, свободны от корпоративной предвзятости и обладают широким спектром успешных кейсов, применённых ранее в аналогичных ситуациях. Использование услуг внешних консультантов является эффективным способом переломить ситуацию, открывая перед предприятием новые горизонты и возможности, о которых внутренняя команда может даже не подозревать.


Технологический консалтинг Остек-СМТ

Остек-СМТ – как авторитетный в России центр компетенций в отрасли – не может оставаться равнодушным к потребностям наших партнёров. Мы понимаем, что поставка технологии производства — это далеко не всё, что требуется для успешного развития бизнеса. Наши партнеры должны получать широкий комплекс инструментов обеспечения эффективности производственной деятельности. Мы должны помогать предприятиям отрасли получать максимальную отдачу от внедряемых технологий и зачастую это связано не только с технологичностью оборудования.

Поэтому, понимая специфику работы в отрасли, Остек-СМТ предлагает услугу по проведению технологической оценки. Наш подход позволит руководству предприятий увидеть ограничения текущего производства, определить приоритеты изменений и составить четкий план дальнейшего развития. Это повышает шансы на успех и снижает вероятность ошибок, обеспечивая уверенный рост конкурентоспособности в долгосрочной перспективе.



Мы постоянно подчеркиваем, что повышение производительности не ограничивается покупкой самого современного оборудования. Часто решающим фактором успеха является грамотная организация рабочих процессов. Необходимо целенаправленно снижать потери производственного времени, устраняя ожидания старта производства, ненужные переделки, излишние переналадки и неэффективные перемещения. Система контроля качества продукции должна оперативно реагировать на возникающие отклонения, предотвращая появление дефектов до попадания изделий в конечный продукт, и не допускать завышенных затрат на обеспечение качества. Производственные операции должны выполняться персоналом, который регулярно повышает квалификацию, осваивает современные технологии и приемы работы. Эти меры непосредственно влияют на возможность произвести востребованную продукцию с требуемой рентабельностью.

В процессе оценки наши специалисты внимательно изучают ваш производственный цикл, сравнивают его с лучшими отечественными и международными практиками. Особое внимание уделяется факторам, замедляющим производственные темпы и негативно сказывающимся на качестве продукции. Также проводится оценка зрелости процессов управления производством, персоналом, качеством, оборудованием и внутренней логистикой. Такой комплексный подход выявляет не только ограничения, но и их системные причины. По результатам формируется перечень конкретных предложений по оптимизации производственных процессов, улучшению технологических методов и обновлению оборудования. Каждый пункт мы стремимся подкрепить экономическим расчетом, наглядно показывающим выгоды предлагаемых мер. 

Обладая уникальными знаниями и богатым опытом, мы выступаем надёжными партнёрами для предприятий, заинтересованных в постоянном развитии и достижении значимых результатов в динамично изменяющихся условиях отечественного производства электроники. Цель нашей работы – помочь нашим партнерам извлекать максимальный эффект от каждого этапа технологического процесса.



Адресное хранение компонентов:

превращая хаос в порядок и эффективность

Текст: Александр Антонов

В современном мире электронная промышленность требует исключительной точности и эффективности на каждом этапе производства. Успех компаний, которые занимаются сборкой электроники, напрямую зависит от безупречного управления производственным потоком, где логистика компонентов играет ключевую роль. К сожалению, реальность такова, что довольно типична ситуация, когда предприятия сталкиваются с хаосом на складе, когда товары размещаются бессистемно, а сотрудники тратят драгоценное время на поиск нужных компонентов. Старые подходы на базе стеллажного способа хранения часто оборачиваются проблемами: простой линии при переналадке, ошибки при комплектации и учете, зависимость от человеческого фактора, неподходящие условия хранения (влажность, температура), большие занимаемые площади и затрудненный учет компонентов, требующий регулярных инвентаризаций.

К счастью, существует множество решений и способов устранить или минимизировать вышеперечисленные негативные эффекты в производстве. В основе таких решений лежит концепция адресного интеллектуального хранения компонентов – метода организации размещения комплектующих, при котором каждому месту хранения присваивается уникальный номер. Давайте разберемся, какие есть подходы и в чем основная суть таких решений.

Самое простое решение – использование специализированного программного обеспечения, способного организовать так называемое динамическое хранение компонентов на обычных стеллажах (рис 1). Для этого на каждую позицию хранения, как и на размещаемую упаковку с компонентами, наклеивается уникальный идентификатор, который при помощи мобильного терминала с функцией чтения штрихкодов позволяет точно привязать размещаемые компоненты к фиксированным координатам хранения. Это дает возможность не только размещать различные компоненты в одной и той же координате для эффективного использования пространства, точно отслеживать в софте местонахождение хранимых компонентов, но и верифицировать компоненты при их извлечении.

Другой способ заключается в использовании интеллектуальных стеллажей хранения, оснащенных датчиками наличия и функцией Pick-To-Light, т.е. светодиодной подсветкой на каждой позиции хранения. Конструктив таких стеллажей у разных производителей может отличаться, но основной принцип работы в целом схож. Стеллажи в мобильном исполнении позволяют перемещать их по производству и, например, организовывать оперативное хранение компонентов в непосредственной близости от автоматов установки компонентов (рис 2). Благодаря быстростъёмным перегородкам можно хранить комплектацию в различной



1

Пример организации адресного динамического хранения на обычном стеллаже

упаковке, например катушках, поддонах и коробках. При выгрузке компонентов встроенные светодиоды подсвечивают необходимые позиции извлечения. А при размещении компонентов на полках встроенные датчики в каждой позиции фиксируют факт размещения компонентов.

Для хранения и обращения с влагочувствительными компонентами производители предлагают интеллектуальные шкафы сухого хранения, которые благодаря герметичному корпусу и встроенным осушителям позволяют поддерживать внутри низкий уровень влажности, необходимый для длительного хранения влагочувствительных компонентов со вскрытой упаковкой (рис 3). В остальном



3

Пример интеллектуального шкафа сухого хранения



2


Пример использования мобильного интеллектуального стеллажа хранения с функцией Pick-To-Light

работа с такими шкафами производится точно так же, как и с обычными интеллектуальными стеллажами хранения.

Еще один способ организации адресного интеллектуального хранения компонентов – использование полностью автоматизированных систем хранения, которые дают возможность без участия человека производить загрузку-выгрузку компонентов и даже их перемещение по цеху предприятия в полностью автоматическом режиме.

Немаловажным является также использование гибкого программного обеспечения для организации хранения и учета всех комплектующих. Сами производители систем хранения в ряде случаев предлагают интересный программный функционал, позволяющий не только вести учет и организовывать прослеживаемость по обращению как с обычными, так и с влагочувствительными компонентами, планировать сборку и анализировать дефицит, учитывать альтернативные компоненты, но и обеспечивать возможность программной интеграции с системами MES/ERP предприятия благодаря использованию открытого программного интерфейса API.

Таким образом, внедрение тех или иных решений для организации интеллектуального адресного хранения в компании положительным образом сказывается на повышении эффективности работы как самого склада, так и всего производства в целом, и позволяет:

- Рационально использовать складские площади.
- Получать точную и актуальную информацию о наличии компонентов и их местонахождении.
- Снижать количество ошибок комплектования за счет функций подсветки и верификации при извлечении, а также автоматизации извлечения.
- Сокращать время комплектования для переналадки и пополнения, а также возврата компонентов на склад.
- Обеспечивать оптимальные условия хранения и прослеживаемость для всех компонентов, включая влагочувствительные. 

Как полная автоматизация постепенно меняет

«правила игры» при сборке электроники?

Текст: Александр Антонов

Сегодня никого не удивляет тот факт, что автоматизированные сборочные линии монтажа электроники все еще требуют непосредственного участия человека и значительного ручного труда на разных этапах производства. Например, если рассмотреть автоматизированную линию поверхностного монтажа, то в большинстве случаев ни одна из сборочных единиц не обходится без участия оператора. В частности, это касается этапов переналадки и пополнения компонентов и материалов. Процесс автоматической трафаретной печати требует участия оператора на этапах пополнения пасты и замены рамы трафарета. А для процесса автоматической установки компонентов ручные операции зарядки, расстановки питателей и пополнение в них компонентов могут составлять более 30 % от общей рабочей нагрузки операторов, при этом часто накладываясь на другие задачи, что приводит к задержкам,

ошибкам и остановкам производства. Понятно, что у производителей, желающих поднять свой уровень качества и эффективности работы, возникает закономерный вопрос: существуют ли какие-то современные технологии, которые способны решить эти проблемы и трансформировать производство электроники?

Конечно, производители сборочного оборудования не стоят на месте и разрабатывают новые подходы и реализуют их в предлагаемых автоматизированных решениях.

Например, новая сборочная платформа NXTR от японской компании FUJI уже сейчас прокладывает путь к будущему так называемых «Умных фабрик» (Smart Factories). Полностью автоматическая платформа NXTR за счет уникальной конструкции позволяет исключить участие персонала в процессе переналадки и пополнения компонентов на сборочной линии (рис 1).



1 Новая сборочная платформа FUJI NXTR-A с функцией автоматической расстановки питателей

Для решения проблемы трудоемкой работы с питателями автомат NXTR-A оснащен специальной системой автоматической смены питателей Smart Loader, способной в полностью автоматическом режиме без участия оператора производить перемещение и загрузку/выгрузку необходимых питателей из зон буферного хранения на базы сборочных модулей автомата. Таким образом, переналадка автомата и пополнение его компонентами производится полностью автоматически в соответствии с производственным расписанием и по превентивному сигналу об окончании компонентов. Своевременный подвоз новых питателей к буферным зонам хранения при этом также выполняется полностью автоматически благодаря программно-аппаратной интеграции с роботизированными тележками AGV (Automated Guided Vehicle), перемещающими кассеты с питателями (рис 2).

Все это значительно сокращает объем ручной работы на линии, освобождая операторов от повторяющихся трудоемких задач, и способствует повышению эффективности работы всего производства, помогает избежать простоев сборочной линии, вызванной нехваткой компонентов и ошибок при пополнении компонентов.

Помимо этого, автомат NXTR поддерживает концепцию модульности, унаследованную от серии NXT, что подразумевает съемную конструкцию установочных головок и станций смены вакуумных захватов, а также возможность оперативного извлечения и замены всего сборочного модуля целиком. Это не только дает широкие возможности для переконфигурирования линии под разные задачи сборки, но и облегчает проведение технического обслуживания модуля и его элементов в автономном режиме, способствует минимизации остановок сборочного процесса.



2 Оперативный автоматический подвоз новых питателей при помощи роботизированной тележки AGV

Сегодня хорошо заметно, что производители оборудования движутся в направлении полной автоматизации сборочных процессов без участия персонала и разрабатывают оборудование принципиально нового класса – конвейерные устройства, принтеры, автоматы и прочее – способного решать такие задачи (рис 3).

На примере процесса установки компонентов и модели автомата NXTR видно, что новые функции автопереналадки и автопополнения существенно снижают рабочую нагрузку на операторов, минимизируя незапланированные остановки и появление ошибок, связанных с переналадкой и пополнением компонентов. Такой подход к процессу сборки соответствует концепции автоматической «Умной фабрики» с минимальным участием операторов и минимальными остановками машины, делая процесс сборки электроники более эффективным, надежным и менее зависимым от ручного труда. □



3 Автоматическая загрузка рамы с трафаретом в принтер

Программные инструменты планирования сборки

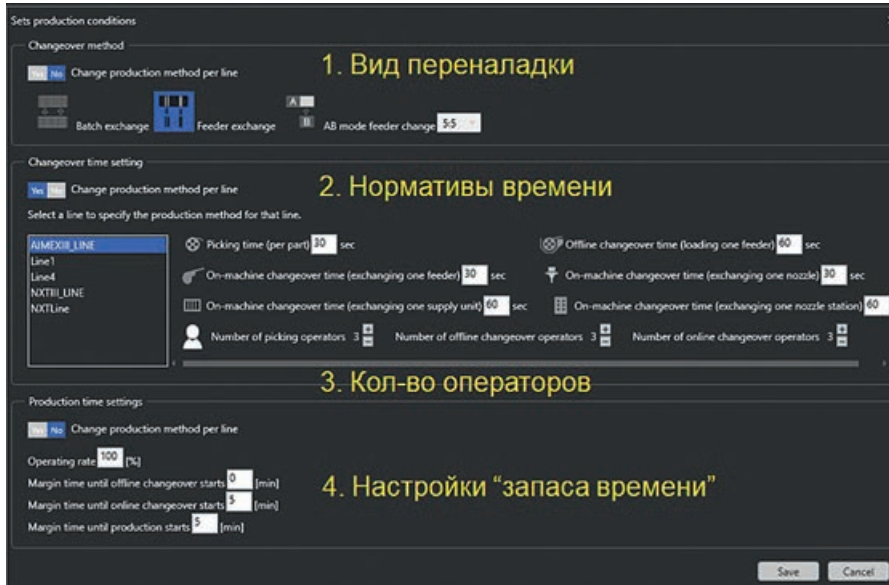
Текст: Александр Антонов

Электронная промышленность постоянно развивается, и сегодня мы находимся в самом разгаре 4-й промышленной революции, известной как Индустрия 4.0. Для этой эпохи характерны взаимосвязанность, автоматизация, использование данных в реальном времени и построение интеллектуальных производств. И сейчас это все становится еще более актуальным из-за непрерывного усложнения собираемой продукции, перехода к многономенклатурному мелкосерийному и крупносерийному производству и возрастающих требований к самому процессу сборки.

Один из важных этапов для любого производства – этап планирования сборочных процессов. При этом традиционное планирование, часто выполняемое вручную, довольно трудоемко и подвержено ошибкам, ведет к сложностям запуска, дефектам продукции, срывам сроков и нерациональному использованию запасов материалов и деталей. Возникает острая необходимость в интегрированных и интеллектуальных программных решениях, способных оптимизировать весь производ-

ственный цикл: от планирования процесса сборки до его анализа. Какие же решения появляются для осуществления эффективного планирования на современных производствах?

Если рассматривать процесс сборки продукции по технологии поверхностного монтажа (SMT), то можно отметить, что очень многое завязано на процессе автоматической установки компонентов, эффективность выполнения которого напрямую влияет на работу всего производства. Поэтому неудивительно, что здесь сами производители оборудования для автоматической установки компонентов предлагают готовые программные решения не только для подготовки сборочных программ, но и для планирования сборки различных изделий. Например, японская компания FUJI разработала уникальную интегрированную производственную систему NEXIM, включающую набор различных программных инструментов для этапов подготовки программ и планирования (Plan), непосредственного запуска и выполнения процесса сборки (Do) и мониторинга и анализа процесса сборки (See).



1

Пример одной из вкладок для настройки параметров планирования

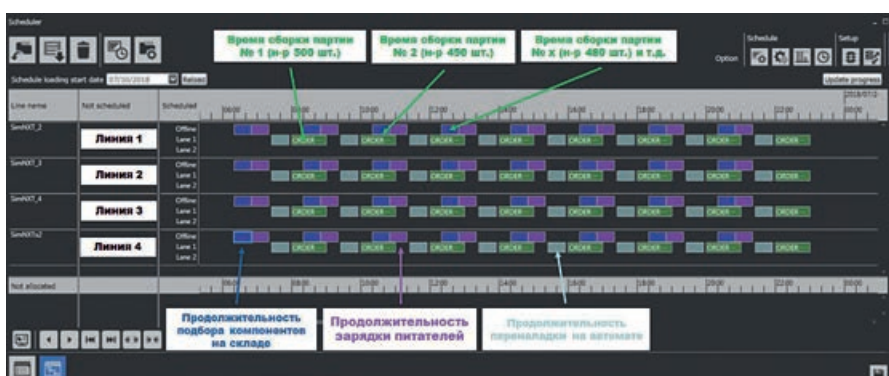
Если рассматривать встроенный инструмент планирования (Scheduler), то можно отметить, что планирование базируется на созданных сборочных программах для автоматов, включающих всю необходимую информацию (о дублировании катушек и питателей, использовании альтернативных компонентов), конфигурации оборудования, актуального остатка компонентов на складе, количестве человек, участвующих в переналадке, нормах указанного времени на выполнение операций, производственном календаре и режиме работы производства и пр. (рис 1).

Таким образом, встроенный инструмент планирования, имея все необходимые данные и настройки, задаваемые пользователем (н-р план производства в штуках, дедлайны, количество операторов и т. д.), может помочь оценить достаточность комплектации, возможность сборки в указанные сроки, последовательность сборки и осуществление оптимальной переналадки между изделиями, распределение нагрузки между сборочными линиями и подготовить план, выгрузить необходимые отчеты. Пример результата планирования сборки разнотипных изделий для четырех сборочных линий показан на рис 2.

Результат планирования можно отображать как в виде таблицы с подробной информацией, так и в виде временных диаграмм Ганта. Такой способ отображения позволяет наглядно показать длительность всех запла-

нированных операций: сколько времени займет подготовка компонентов и питателей, подготовка самого автомата к сборке с учетом времени на расстановку питателей и захватов, сколько времени займет сам процесс сборки нужной партии продукции. Для каждого из этапов возможна подготовка и выгрузка необходимых инструкций, а в случае программной интеграции, например, с автоматизированным складом, во время переналадки возможна подача команды на автоматическую выгрузку необходимой зарезервированной комплектации. Непосредственно в процессе сборки программные инструменты мониторинга считывают данные в реальном времени и отображают текущий статус выполнения запланированных операций, а также возможные отклонения от плана.

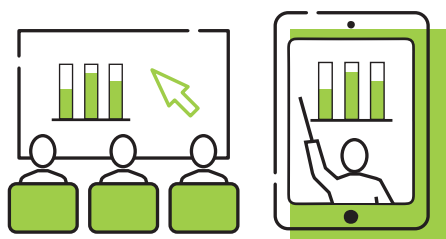
Использование подобных программных решений позволяет минимизировать неоправданные простои и возможные ошибки, снизить общую трудоемкость, оптимизировать и автоматизировать сложные процессы планирования и мониторинга. Именно поэтому сейчас их использование приобретает все большую популярность у производителей электроники, позволяя создавать более предсказуемые, эффективные и автономные умные производства. ▢



2

Пример результата планирования сборки для нескольких линий в ПО FUJI NEXIM

АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОСТЕК-СМТ



СЕМИНАРЫ
ОНЛАЙН И ОФЛАЙН



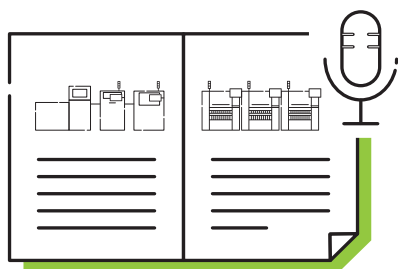
ПРОФИЛЬНЫЕ КАНАЛЫ
В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ



РЕПОРТАЖИ И КЕЙСЫ
С ПРОИЗВОДСТВ



ВИДЕООБЗОРЫ
РЕШЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ



ЭКСПЕРТНЫЕ
СТАТЬИ И ИНТЕРВЬЮ

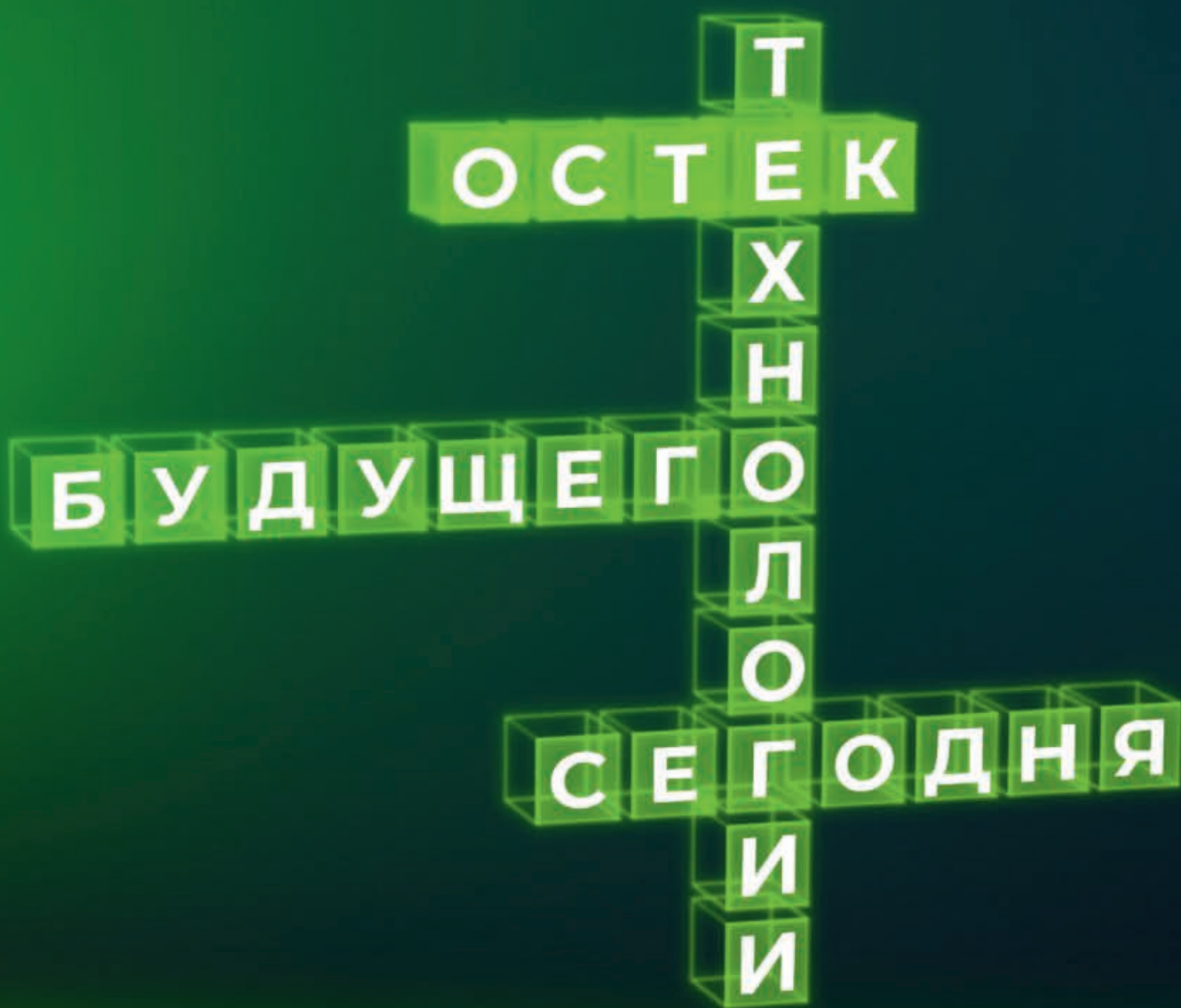


ВИДЕОПРЕЗЕНТАЦИИ
И ЗАПИСИ ВЕБИНАРОВ



РЕШАЕМ ЗАДАЧИ ЛЮБОЙ СЛОЖНОСТИ

Вместе с вами мы готовы к нетривиальным вызовам и уверены, что достигнем положительного результата в самой сложной работе. Опираясь на десятилетия знаний и опыта, мы ежедневно формируем будущее технологий. Каждый совместный проект – это наш с вами вклад в общий прогресс. Но прежде всего – это вклад в успех и эффективность вашего производства.



35 лет
создаем
будущее

ostec-group.ru

 **ostec**
группа компаний