

03 (53) сентябрь 2021

ВЕКТОР

ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Научно-практический журнал

30 ЛЕТ

СОДЕЙСТВУЕМ
РАЗВИТИЮ

ПЕРСПЕКТИВЫ

Антон Большаков

16

КАДРОВАЯ
ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ
ЭЛЕКТРОННОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ.
РЕЗУЛЬТАТЫ ОТРАСЛЕВОГО
ОПРОСА

ТЕХНОЛОГИИ

Владимир Иванов

20

МОНТАЖ КРИСТАЛЛОВ ПО
ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕРИНГА ДЛЯ
ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕМЕНТОВ И
МОДУЛЕЙ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

ТЕХПОДДЕРЖКА

Владимир Команов
Иван Погорельцев

42

ЕСЛИ ВЫ НЕ НАШЛИ РЕШЕНИЯ,
ЭТО НЕ ЗНАЧИТ, ЧТО ЕГО НЕТ!
СЕРВИСНАЯ СЛУЖБА «ОСТЕК-ЭК»



РОССИЙСКИЙ ФОРУМ
МИКРОЭЛЕКТРОНИКА 2021



С ТРИ КОРОБА НЕ ОБЕЩАЕМ, НО БОЛЬШОЙ СКЛАД МАТЕРИАЛОВ ЕСТЬ

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

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

>50 тонн

материалов
всегда в наличии

>100

типов материалов
в складской программе

>50 м³

для хранения материалов
при специальных
температурных условиях



Уважаемые читатели!

Перед вами специальный выпуск научно-практического журнала «Вектор высоких технологий», подготовленный к Форуму «Микроэлектроника 2021».

В этом году особое внимание форума будет уделено развитию цифровой экономики в России, формированию нормативно-правовой базы, разработке ЭКБ, развитию производственных мощностей и выпуску готовой продукции. Уверен, что такое представительное мероприятие послужит для всестороннего обмена мнениями и поиска оптимальных решений участниками отраслевого сообщества по перечисленным, а также многим другим вопросам. Нас ждет большое количество интересных докладов в научном и деловом разделах форума, официальные переговоры и неформальные встречи.

И, надеюсь, это общение поспособствует активному развитию внутриотраслевых и межотраслевых кооперационных связей. Так, согласно отраслевому опросу*, проведённому нами весной 2021 года, только 6,7 % частных компаний и 9,4 % государственных отметили, что их уровень кооперации повысился. 21,7 % и 19,2 % показали, что уровень их кооперационных связей понизился, и 35,0 % и 39,7 % – что уровень не изменился.

Именно в развитии сотрудничества между предприятиями отрасли и заложен потенциал ее развития.

Успеха нам на этом пути!

С уважением,

Антон Большаков

* Отраслевой опрос «Отечественная продукция: по заказу государства или по законам рынка».

Инициатор: ГК Остек | Подготовка и проведение: ГК Остек, ООО «Трейсмаркет», компания HYVE. 2021 год.

В НОМЕРЕ

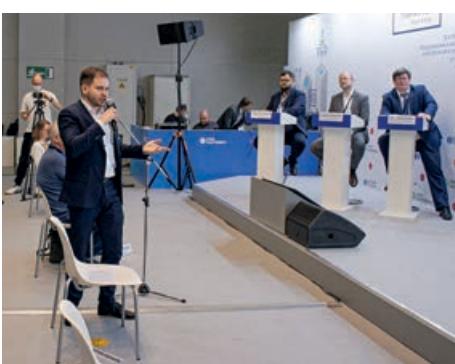
НОВОСТИ

- 4 ОСТЕК-ИНТЕГРА ВПЕРВЫЕ ПРИНЯЛА УЧАСТИЕ ВО ВСЕРОССИЙСКОМ ФОРУМЕ INNOMED 2021**
- 5 СПЕЦИАЛИСТЫ ОСТЕК-АРТТУЛ СОВМЕСТНО С ПУШКИНСКИМ МУЗЕЕМ ИЗУЧАЮТ «ЗОЛОТО ТРОИ»**
- 5 КОМПАНИЯ ZESTRON ПРЕДСТАВИТ ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОДУКТЫ И ТЕХНОЛОГИИ НА ВЫСТАВКЕ PRODUCTRONICA 2021**
- 6 АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОСТЕК-СМТ ТЕПЕРЬ В YOUTUBE!**
- 6 ОСТЕК-ИНТЕГРА ПРИГЛАШАЕТ НА ВЕБИНАР**
- 7 КАТАЛОГИ ОСТЕК-АРТТУЛ 2021**
- 8 НОВЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРТНЕР ОСТЕК-ЭК ДЛЯ МОНТАЖА КРИСТАЛЛОВ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕРИНГ В ПРОИЗВОДСТВЕ СИЛОВЫХ МОДУЛЕЙ**
- 9 ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ МАРКИРОВКИ НА РАЗЛИЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ И РЕЗКИ ТРАФАРЕТОВ**

ДИСКУССИЯ

«ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ПРОДУКЦИЯ: ПО ЗАКАЗУ ГОСУДАРСТВА ИЛИ ПО ЗАКОНАМ РЫНКА?». ЧАСТЬ 2

Автор: Антон Большаков



дискуссия стр. 10

ПЕРСПЕКТИВЫ

КАДРОВАЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. РЕЗУЛЬТАТЫ ОТРАСЛЕВОГО ОПРОСА

Автор: Антон Большаков

ТЕХНОЛОГИИ

ОПТИМИЗАЦИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЛИ КАК ДОБИТЬСЯ НЕПРЕВЗОЙДЕННОЙ ПОВТОРЯЕМОСТИ ПРОЦЕССА И УВЕЛИЧЕНИЯ ВЫХОД ГОДНЫХ

Автор: Дмитрий Суханов

МОНТАЖ КРИСТАЛЛОВ ПО ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕРИНГА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕМЕНТОВ И МОДУЛЕЙ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Авторы: Владимир Иванов, Франческо Уголини



технологии стр. 24

АВТОРЫ НОМЕРА



КАЧЕСТВО стр. 56



ТЕХПОДДЕРЖКА стр. 80

КАЧЕСТВО

ГИБРИДНЫЕ СИСТЕМЫ ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Автор: Сергей Максимов

ЩЕКОТЛИВАЯ КАВИТАЦИЯ: ОБЗОР УЛЬТРАЗВУКОВОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕЦИЗИОННОЙ ОЧИСТКИ UCM SMARTLINE

Автор: Денис Поцелуев

УСКОРЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ НА ВЛАЖНОСТЬ: КОМУ И ДЛЯ ЧЕГО?

Автор: Любовь Минина

ОПТИМИЗАЦИЯ

3D-ПЕЧАТЬ АЛЮМИНИЕВЫМ СПЛАВОМ В РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ: ОПЫТ ОПТИМИЗАЦИИ, ПЕРЕПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА

Автор: Антон Нисан

ТЕХПОДДЕРЖКА

ЕСЛИ ВЫ НЕ НАШЛИ РЕШЕНИЯ, ЭТО НЕ ЗНАЧИТ, ЧТО ЕГО НЕТ! СЕРВИСНАЯ СЛУЖБА «ОСТЕК-ЭК»

Авторы: Владимир Команов, Иван Погорельцев

ЦИФРОВЫЕ КОММУНИКАЦИИ – ВОЗМОЖНОСТИ ИЛИ ОГРАНИЧЕНИЯ?

Автор: Наталья Мосолова

■ Антон Большаков

Директор по маркетингу
ООО Предприятие Остек
marketing@ostec-group.ru

■ Дмитрий Суханов

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

■ Владимир Иванов

ведущий специалист группы пресейл-
инженеров Технического управления
ООО «Остек-ЭК»
micro@ostec-group.ru

■ Сергей Максимов

Ведущий специалист группы
технической микроскопии Направления
неразрушающего контроля и научно-
исследовательского оборудования
ООО «Остек-АртТул»
info@arttool.ru

■ Денис Поцелуев

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

■ Любовь Минина

Специалист Коммерческого управления
ООО «Остек-Тест»
test@ostec-group.ru

■ Антон Нисан

Начальник отдела технической
поддержки и разработки Направления
цифровых производственных
технологий
ООО «Остек-СМТ»
3D@ostec-group.ru

■ Владимир Команов

Инженер
ООО «Остек-ЭК»
micro@ostec-group.ru

■ Иван Погорельцев

Заместитель технического директора
ООО «Остек-ЭК»
micro@ostec-group.ru

■ Наталья Мосолова

Ведущий специалист Управления по
развитию
ООО «Остек-СМТ»
smt@ostec-group.ru

ОСТЕК-ИНТЕГРА ВПЕРВЫЕ ПРИНЯЛА УЧАСТИЕ ВО ВСЕРОССИЙСКОМ ФОРУМЕ INNOMED

26-27 августа 2021 года компания Остек-Интегра впервые приняла участие во Всероссийском форуме в сфере медицинской промышленности и здравоохранения InnoMed (Пенза).

Ежегодно участниками Форума становятся представители Минздрава России, Минпромторга РФ, Росздравнадзора, федеральные институты развития, в нем участвуют руководители федеральных центров в сфере травматологии, ортопедии и нейрохирургии, а также промышленные предприятия.

На выставке проектов и достижений, проходившей в рамках Форума, Остек-Интегра представила комплексные решения для прецизионной очистки медицинских изделий и компонентов – оборудование и жидкости Ecoclean SBS Group и Borer Chemie AG.

Совместно со своими партнерами Остек-Интегра создает и внедряет на российских предприятиях квалифицированные и повторяемые процессы очистки медицинских изделий: от предварительной и межоперационной очистки имплантатов, инструментов до финишной очистки, стерилизации и упаковки готовых изделий.

В пленарной части Форума директор по продажам и маркетинг-



гу ООО «Остек-Интегра» Денис Поцелуев выступил с докладом «Комплексные решения в области очистки изделий травматологии и ортопедии в процессе производства. Современное оборудование и технологии», который вызвал оживленную дискуссию среди коллег и специалистов.

«Весной этого года приняли решение участвовать в InnoMed 2021. Провели мониторинг по тематическим направлениям, увидели этот интересный форум, посмотрели историю, участников. Тема нам показалась привлекательной, и мы решили участвовать с нашим стендом и стать партнером форума, сразу заявив о себе, – рассказал Д. Поцелуев. – Кроме того, что мероприятие само по себе насыщенное, я с удивлением увидел новые компании, с которыми мы

потенциально можем сотрудничать. Причем и среди участников, и среди посетителей форума. Уже в первый день мы установили порядка 5-7 интересных контактов, и некоторые уже готовы приезжать к нам проводить испытания на нашем оборудовании. Это для нас своего рода открытие – мы сделали вывод, что мероприятие высокоэффективное, и в будущем готовы рассматривать участие в нем. Казалось бы, Пенза – это небольшой город, полмиллиона населения. Но раньше мне не доводилось видеть в таких городах подобных узкоспециализированных, но с большим общественным резонансом, масштабных мероприятий. У меня сложилось впечатление, что на пензенском форуме – высокая концентрация потенциальных клиентов и партнеров. Это приятно удивило».

СПЕЦИАЛИСТЫ ОСТЕК-АРТТУЛ СОВМЕСТНО С ПУШКИНСКИМ МУЗЕЕМ ИЗУЧАЮТ «ЗОЛОТО ТРОИ»

Весь июль 2021 года в Пушкинском музее шла кропотливая работа по изучению золота Шлимана. Исследование проводилось силами сотрудников лаборатории реставрации Пушкинского музея и специалистов направления научно-исследовательского и лабораторного оборудования ООО «Остек-АртТул».

Для решения поставленных задач в павильоне музея «Древняя Троя

и раскопки Г. Шлимана», по соседству с выставочными артефактами, специалисты Остек-АртТул оборудовали рабочее место визуального контроля, оснащенное промышленным антистатическим столом и цифровым микроскопом высокого разрешения Hirox.

Исследовательские работы проводились в рабочее время, что вызывало неподдельный интерес посетителей, а также представителей средств массовой информации.

По результатам работ будет подготовлен видеорепортаж, а также маркетинговые материалы (в соавторстве специалистов музея и Остек-АртТул), которые затем

<https://www.mk.ru/culture/2021/07/01/zoloto-troi-izuchat-pod-unikalnym-mikroskopom.html>



будут опубликованы на сайте Пушкинского музея.

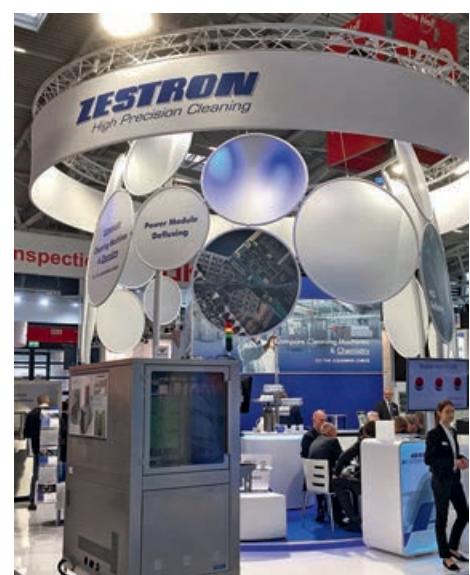
Пушкинский музей вслед за Эрмитажем планирует переоснащение своей лаборатории микроскопами Hirox, Coxem и Vision Engineering для осуществления работ по реставрации драгоценных металлов, монет и картин.

КОМПАНИЯ ZESTRON ПРЕДСТАВИТ ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОДУКТЫ И ТЕХНОЛОГИИ НА ВЫСТАВКЕ PRODUCTRONICA 2021

Компания ZESTRON на предстоящей осенью в Германии выставке Productronica представит экспозицию современных технологических установок для отмычки печатных узлов – посетителям будут продемонстрированы инновационные и проверенные технологии.

В зале A2 на стенде 359 технологии ZESTRON и эксперты производителей оборудования ответят на все вопросы посетителей по технологии отмычки, расскажут о совместимости отмывочных жидкостей с оборудованием и платами.

Помимо систем отмычки и отмывочных жидкостей особое внимание будет уделено вопросам контроля технологического процесса отмычки. Посетителям будет предоставлена информация об инновационных методах контроля и средствах измерения, которые помогают обеспечить надежность электронных сборок и оптимизировать производственные процессы.



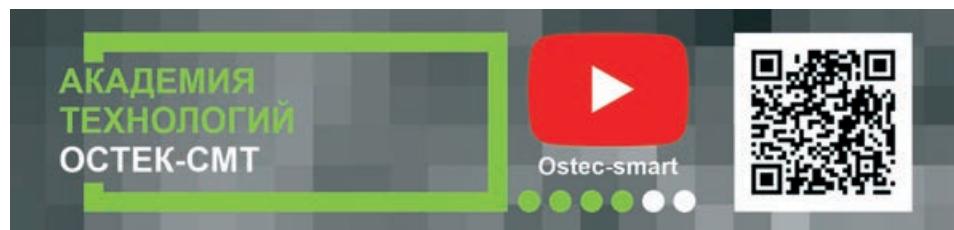
www.zestron.com

АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОСТЕК-СМТ ТЕПЕРЬ В YOUTUBE!

Академия технологий Остек-СМТ объявляет о запуске канала Ostec-Smart на платформе YouTube и приглашает партнеров и клиентов подписаться на него.

Академия технологий – уникальный обучающий проект, созданный экспертами Остек-СМТ для руководителей производств, главных технологов, инженеров и специалистов российских промышленных предприятий, в первую очередь – для сборочно-монтажных производств РЭА.

Следуя мировым тенденциям, Остек-СМТ стремится не только повышать эффективность и лояльность своих сотрудников, но и активно содействовать развитию



специалистов заказчиков. Мы видим пользу обучения сотрудников новым знаниям в области высоких технологий и понимаем важность этой составляющей для наших клиентов.

Наша цель – сформировать полноценную базу знаний, включающую разные срезы: от тенденций и технологических решений до вопросов эксплуатации систем. Это опыт, которым мы готовы поделиться с заказчиком с целью его развития и обучения новым производственным технологиям.

Уже сейчас вы можете посмотреть плейлист «Решения для РЭА», где топ-менеджеры компаний рассказывают о цифровом сборочно-монтажном производстве, решениях собственной разработки – Умная линия и Умное рабочее место, а также о современных решениях для сборки РЭА.

Наш канал будет постоянно наполняться новыми плейлистами и материалами. Подписывайтесь, смотрите видео, ставьте лайки, пишите комментарии.

ОСТЕК-ИНТЕГРА ПРИГЛАШАЕТ НА ВЕБИНАР

18 ноября 2021 года Остек-Интегра приглашает принять участие в вебинаре «Микроэлектроника: современные технологические материалы для сборки и герметизации микросхем».

В ходе вебинара специалисты расскажут о современных технологических материалах для сборки микросхем от мировых лидеров микроэлектронной отрасли, об ассортименте и логистических возможностях компании «Остек-Интегра».

Будут подробно рассмотрены:

- Материалы для монтажа кристаллов:
 - > диэлектрические клеи;
 - > электропроводящие клеи;
 - > клеи с высокой теплопроводностью;
 - > преформы припоя;
 - > паяльные пасты.
- Материалы для герметизации:
 - > заливка пространства под кристаллом flip-chip (underfill);
 - > бескорпусная герметизация dam and fill;
 - > компаунды для герметизации литьём под давлением;
 - > преформы припоя для монтажа крышки.

- Оптические компаунды для герметизации кристаллов светодиодов.
- Материалы для микросварки:
 - > проволока из Au и Al;
 - > лента из Au и Al;
 - > проволока из Cu, Cu-Pd, Ag.

Участие в вебинаре бесплатное.
Продолжительность: 30-45 мин.

Регистрируйтесь на вебинар

<https://events.webinar.ru/27458241/8972228>



КАТАЛОГИ

ОСТЕК-АРТТУЛ 2021

ООО «Остек-АртТул» представляет серию каталогов оборудования, предлагающих широкий спектр решений для реализации комплексных проектов оснащения предприятий.

Информационные материалы содержат обзор продуктов и услуг, отвечающих задачам комплексного оснащения производств и научно-исследовательских предприятий высокотехнологичными решениями.

Комплексное оснащение рабочих мест

Разделы: антистатическое оснащение, общепромышленная и антистатическая мебель, паяльное оборудование, системы дымоудаления и фильтрации, вакуумно-упаковочное оборудование, компрессорное оборудование, ручной инструмент, системы дозирования и др.

Научно-исследовательское и лабораторное оборудование

Разделы: визуальный контроль, научно-исследовательское и лабораторное оборудование, анализ химического и фазового состава, подготовка образцов, механические испытания, твердомеры и нанотвердомеры, виброзащита, сварочные электронно-лучевые установки и др.

Метрологические решения

Разделы: высокопрецизионные измерительные системы, измерительно-инспекционные машины, видеоизмерительные системы, координатно-измерительные машины, длиномеры, лазерные 3D-сканеры, бесконтактные измерения, метрология поверхности и др.

Автоматизированные системы хранения

Разделы: хранение тяжёлых грузов, системы лифтового типа, системы



карусельного типа, хранение инструмента и оснастки, хранение на стеллажах, хранение паллет, монорельсовые системы перемещения груза, беспилотные транспортные системы, ПО LogISt и др.

Также представлены специализированные каталоги:

- Техническая микроскопия 2021
- Рентгеновское аналитическое оборудование 2021
- Координатно-измерительные машины Innovalia Metrology 2021
- Антистатические системы. Оборудование и материалы Wolfgang Warmbier 2020-2021

Скачивание каталогов в формате PDF:

<https://www.arttool.ru/knowledge-base/catalogues-and-brochures/>



Заказать печатные версии можно любым удобным для вас способом:

- по телефону:
+7 (495) 788-44-44
(многоканальный)
- по e-mail: info@arttool.ru

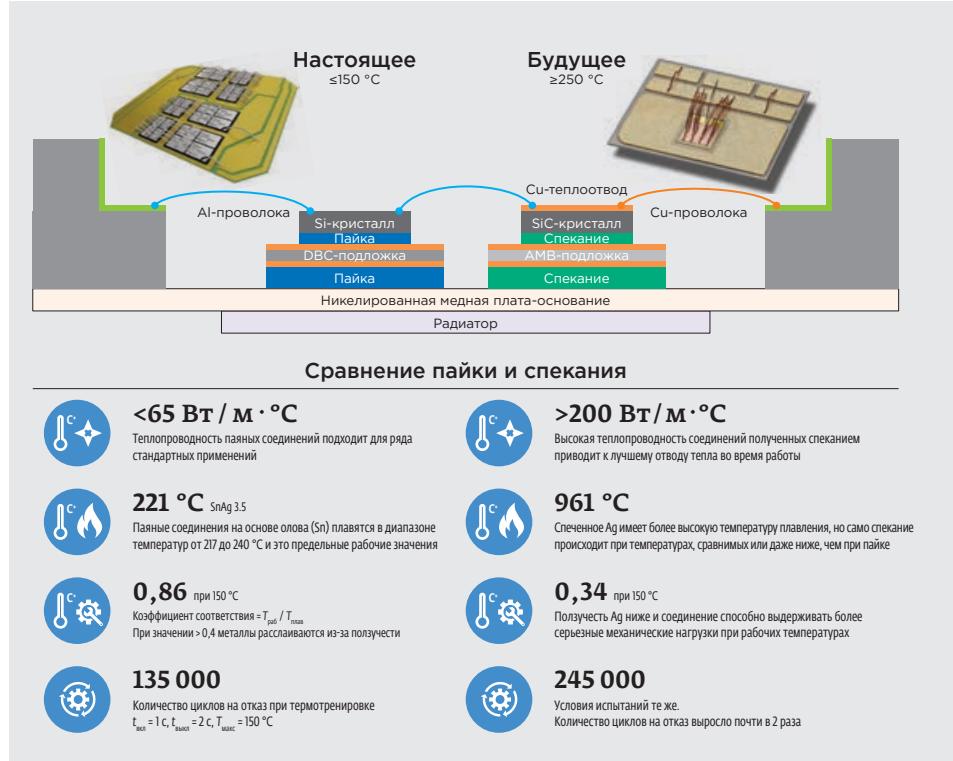


НОВЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРТНЕР ОСТЕК-ЭК ДЛЯ МОНТАЖА КРИСТАЛЛОВ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕРИНГ В ПРОИЗВОДСТВЕ СИЛОВЫХ МОДУЛЕЙ

Новым технологическим партнером «Остек-Эк» для решения различных задач, связанных с синтерингом (англ. sintering – спекание), стала компания AMX Automatrix srl. (Италия), которая предлагает широкий выбор моделей прессов для спекания:

- R&D и создание прототипов;
- серийное производство;
- массовое производство с возможностью встраивания в конвейерную линию с высокой производительностью.

Современный рынок силовой электроники стремится к уменьшению габаритов устройств при увеличении их мощности для применения на транспорте и в энергетике. В настоящее время силовые элементы собирают, используя материалы с широкой запрещенной зоной (WBG –



Wide Band Gap), такие как, например, карбид кремния (SiC).

Эксплуатационные характеристики мощных полупроводниковых устройств напрямую зависят от того, насколько хорошо реализован отвод тепла от силовых кристаллов. Материал соединения кристаллов с изолирующей подложкой должен обладать высокой теплопроводностью и хорошими

термомеханическими характеристиками, а сам процесс монтажа кристаллов должен быть высокотехнологичным и обеспечивать повторяемость и стабильность процесса при производстве.

Серебро (Ag) используют для монтажа кристаллов с 90-х гг. прошлого века, а высокая надежность Ag-соединений и их хорошие электромеханические свойства были известны еще раньше. Для монтажа кристаллов на подложку с помощью серебряного сверхтонкого порошка применяют технологию синтеринг, которая позволяет значительно повысить надежность силовых модулей при воздействии высоких температур.

Более подробную информацию можно получить у специалистов «Остек-Эк» по e-mail: micro@ostec-group.ru.



ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ МАРКИРОВКИ НА РАЗЛИЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ И РЕЗКИ ТРАФАРЕТОВ

Компания «Остек-ЭТК» активно развивает базу поставщиков современного высокотехнологичного оборудования. В 2020 году компания получила сертификат партнера от российского представителя американской компании SharpLase, но рабочие отношения существовали между компаниями и раньше. Остек-ЭТК вносит лазерные установки SharpLase в ряд проектов по оснащению кабельно-жгутовых производств, в том числе и на предприятиях оборонно-промышленного комплекса. Оборудование используется на предприятиях Роскосмоса, «Вертолеты России», станкостроительных и ювелирных.

Компания SharpLase предлагает широкую линейку промышленных лазерных установок для маркировки на различных поверхностях и резки трафаретов.

Комплексы используют для маркировки и гравировки промышленной, сувенирной и ювелирной продукции, гравировки клише, штампов, приборных панелей, глубокой 3D-гравировки, для нанесения изображений, логотипов, фирменной символики, гравировки на окружностях и эллипсах, удаления покрытий, фигурной резки, нанесения штрихкодов и серийных номеров.

В оптоволоконных лазерах в качестве активной среды используется кварцевое стекло, легированное активирующим элементом. Компания SharpLase использует лазеры компании IPG Photonics. В качестве

Принцип работы оптоволоконного лазера

Лазер (англ. laser, акроним от light amplification by stimulated emission of radiation «усиление света посредством вынужденного излучения») – это устройство, преобразующее энергию накачки (световую, электрическую, тепловую, химическую и др.) в энергию когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного потока излучения. Оптоволоконные лазеры используют долговечные полупроводниковые диодные лазеры для эффективного преобразования электрического тока в световую энергию и поэтому не требуют обслуживания или расходных материалов. Структурно лазер состоит из генератора лазерного излучения и оптической системы.

активатора в лазерах IPG Photonics применяют иттербий (Yb). Вместо обычных зеркал используются так называемые Брэгговские решетки – участки оптоволокна с переменным коэффициентом преломления света. Благодаря этому свойству такие участки работают так же, как и зеркала резонатора.

Оптическая система лазера – это совокупность оптических элементов, используемых для формирования и направления пучка лазерного излучения. Упрощенно оптическую систему лазера можно описать следующим образом: излучение из генератора проходит через коллиматор, который отвечает за параллельность выходного пучка, и попадает на систему из отклоняющих зеркал. После этого луч попадает на собирающую линзу, которая фокусирует излучение в одной точке.

Лазерную гравировку можно разделить на обычную и глубокую. В области лазерной техники обычная лазерная гравировка не превышает глубину 50 микрон, а глубокая лазерная гравировка начинается с 50 мкм и до 1 мм в глубину обрабатываемого материала.

Обычно лазерная гравировка используется для декорирования ювелирных изделий и товаров массового потребления, часто – для гравировки оружия (ножи, мечи,

охотничье оружие и др.). В отличие от традиционной механической, алмазной или ручной гравировки, лазерные граверы делают гравировку гораздо быстрее. Производительность при использовании лазерных граверов гораздо выше.

Лазерная гравировка не требует контроля. В креплении изделий также нет необходимости, т. к. лазерная гравировка проводится бесконтактно. Диаметр лазерного пучка можно уменьшить до фокусного диаметра в несколько десятков микрон, что открывает принципиально новые возможности по сравнению с механической гравировкой. Лазерная маркировка, наносимая с помощью лазерных маркеров, очень гибкая, быстрая, не требуется специальных шаблонов; надежная, так как не используются чернила или другие добавки; устойчива к физическому и химическому воздействию – теплу, растворителям, смазкам и т. д.

Важный фактор – наличие российского сертификата происхождения установок SharpLase. Лазеры производят на российском предприятии, где и выполняется окончательная сборка изделия. Поэтому наличие импортной маркировки не является препятствием для использования лазерных установок SharpLase на спецпредприятиях.

ДИСКУССИЯ

«ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ПРОДУКЦИЯ: по заказу ГОСУДАРСТВА ИЛИ по законам РЫНКА?».

ЧАСТЬ 2

”

Формат дискуссионного баттла, который прошел в рамках выставок ЭкспоЭлектроника/ЭлектронТехЭкспо 2021, – это живая дискуссия отраслевых экспертов без заранее подготовленных презентаций и написанных текстов. Экспертам было предложено обсудить, каким стратегиям развития могут отдать предпочтение участники рынка, и кому принадлежит ведущая роль в формировании спроса на гражданскую продукцию – государству или рынку. В дискуссии были использованы результаты отраслевого опроса, совместно проведённого ГК Остек и компанией HYVE. Модератором баттла выступил Антон Большаков, директор по маркетингу ГК Остек.

Перед началом дискуссии зрители из предложенных тем выбрали три для обсуждения:

Рынки: расчет на государство или самостоятельный поиск?

Импортозамещение: копировать или создавать свое?

Отечественная продукция на экспорт – это возможно?



Голосование, проведённое перед началом дискуссии, показало, что большинство зрителей придерживается позиции, что законы рынка должны формировать спрос на гражданскую продукцию.

**Эксперты, защищающие позицию
«Ведущая роль в формировании спроса на гражданскую продукцию принадлежит государству»:**



Владимир Семёнов,
заместитель директора, ООО «ТЕХНОТЕХ»

Алексей Мохнаткин,
заместитель генерального директора, ЗАО НТЦ «Модуль»

Арсений Брыкин,
генеральный директор, ЦНИИ «Электроника»

**Эксперты, защищающие позицию
«Ведущая роль в формировании спроса на гражданскую продукцию принадлежит рынку»:**



Алексей Волостнов,
партнёр, практика «Стратегическое консультирование НЭО Центр»

Сергей Беляков,
директор по маркетингу, GS Nanotech

Алексей Карфидов,
сооснователь, генеральный конструктор,
«Студия инженерного дизайна Карфидов Лаб»

Эксперты в зале высказывали свое мнение как за первую, так и за вторую позиции:

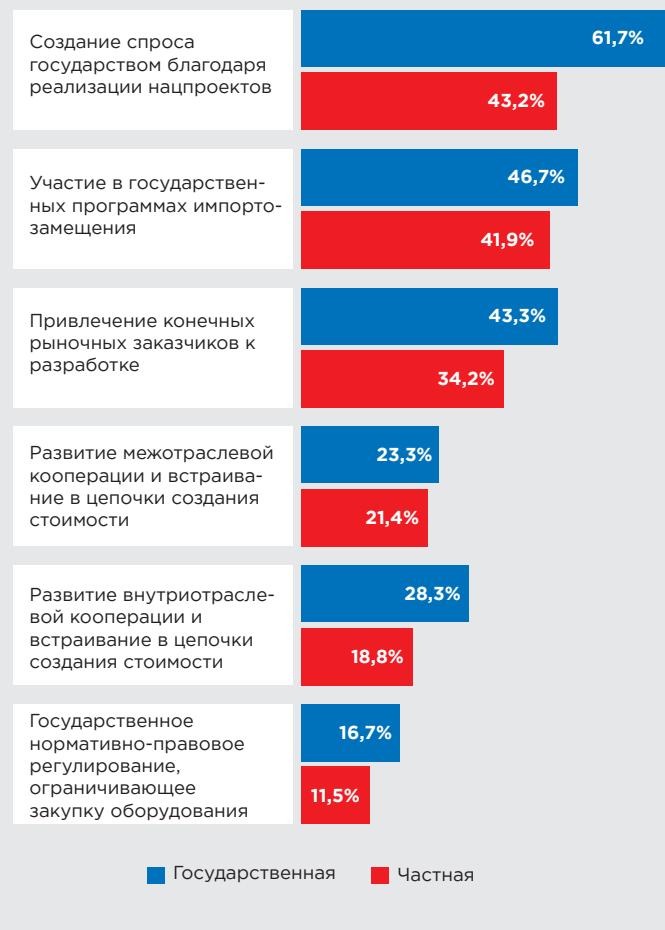


Иван Фефилов,
советник генерального директора, АО «НИИЭТ»



Дмитрий Корначёв,
исполнительный директор, Ассоциация «Консорциум предприятий в сфере автомобильных электронных приборов и телематики»

Драйверы увеличения доли гражданской продукции



1

Что из перечисленного больше всего препятствует расширению выпуска гражданской продукции?

Раунд 2*.

Импортозамещение: копировать или создавать оригинальное?

Антон Большаков: Давайте снова обратимся к результатам опроса (рис. ①). По мнению респондентов, участие в государственных программах импортозамещения, как и формирование спроса государством, играют ведущую роль в увеличении доли гражданской продукции. В связи с этим, уважаемые эксперты, как вы считаете, импортозамещение – это путь копирования или создания своего?

Сергей Беляков: На мой взгляд, в сегодняшней ситуации импортозамещение в России должно строиться на базе копирования. Особенно на массовых рынках. Мы видим, что западная микроэлектроника ушла вперёд, большин-

ство продуктов созданы, и изобретать велосипед и придумывать что-то новое в этих же продуктах, наверное, не имеет смысла. Здесь показателен пример Китая, когда они в конце 80-х начале 90-х чётко брали либо покупали разработки, существующие, например, в США, и копировали, переносили разработки и производство к себе в страну. И за счёт дальнейшей раскрутки этого маховика запускали объёмные продажи уже своей продукции.

Нишевые рынки: у нас есть свои сильные стороны в СВЧ, в силовой электронике. Возможно, здесь можно самостоятельно создавать что-то уникальное, продвигая как в России, так и на экспортных рынках. Но в той продукции, где мы сильно отстали, важно взять все лучшие практики и постепенно начинать их переносить. Опыт нашей компании показывает, что можно начинать с корпусирования микросхем, постепенно перейти к разработке самих проводников и запускать полный цикл этой продукции уже на базе отечественных предприятий.

Поэтому, резюмируя, да, это копирование с созданием новых продуктов в нишевых сегментах. Там, где отставание уже измеряется десятилетиями, а это на сегодня 90 % рынка микроэлектроники, начинать с нуля – бесполезно. Тут сработает только стратегия догоняющих.

Владимир Семёнов: Вопрос, что мы хотим – догнать или идти вперёд? Я отчасти согласен с Сергеем Беляковым: было бы неплохо всё скопировать и быстро всех догнать. Но стоит отметить, что Китай начинал с нуля, а наша страна всё-таки была до определённого периода мировым лидером. И сейчас что-то да осталось. Поэтому необходимо не только копировать, но и развивать собственное. Если мы будем просто каждый год догонять, то от нас каждый год будут убегать.

Мне очень понравилось выражение экс-президента «АВТОВАЗ» Бу Андерссона: «Есть еще одна вещь, которую я люблю в русских людях. Есть вещи, исполнение которых в Европе заняло бы одну неделю. Русские же могут сделать это за один день. Если я даю на исполнение задачи целую неделю, они все равно все сделают за один последний день». Соответственно, примерно в той же самой степени мы будем догонять восточных и западных лидеров. Но в тот день, когда мы их догоним, они опять убегут. Поэтому нужно генерировать свои собственные идеи, новинки, пытаться выходить с ними на рынок.

Алексей Карфидов: Я считаю, что вопрос по своей формулировке имеет два варианта ответа. Первый вариант – честный, прямой, который касается копирования. И второй вариант касается просто создания чего-то нового, уникального, как бы с нуля. Здесь необходимо учитывать огромный спад, который случился с нашей страной после раз渲ла Советского Союза. А технологический спад случился, на самом деле, задолго до этого – ещё в 80-е годы. И говорить: «Давайте мы тут сейчас будем с нуля создавать хорошие и классные вещи» я считаю не очень правильным.

Об этом у нас была целая дискуссия с Аркадием Дворковичем, когда он в Правительстве курировал инновации. Мы приводили пример Китая относительно копирования, которое стало их ментальностью и дало значительный технический скачок. Почему же мы системно не занимаемся копированием в областях, в которых сильно отстали? На это он ответил: «Знаете, Алексей, нам нужны инновации сразу. Мы не хотим заниматься копированием, а хотим, чтобы у нас возникали хорошие классные проекты, которые уже были бы опережающими». И я думаю, в этом есть непоследовательность: не имея хорошего технического задела – знаний, достаточного понимания техники, просто нереально взять и построить с нуля что-то хорошее и классное. Разговоры о создании чего-то уникального на базе пустого или отсутствующего фундамента в большинстве случаев заканчиваются тем, что все равно копируем. Просто говорим, что это наше новое.

Иван Фефилов: Я ожидал: первое, что скажет команда, выступающая на стороне рынка: «Конечно, мы будем создавать что-то новое». Вообще говоря, частный бизнес – это люди, которые предназначены для создания инноваций. Почему определенные компании с господдержкой или госкорпорации сейчас выигрывают в России? В том числе, потому что они стремятся создавать новое.

У Алексея Карфидова я услышал правильные мысли. Конечно, вопрос необходимости копирования дуален. Важно то, что копирование может и должно быть инструментом создания нового. Как правильно отмечено, нам необходимо опираться на доступные технологические заделы как собственные, так и заимствованные.

Нам не нужно пытаться создавать продукты (компоненты) и, соответственно, тратить государственные деньги на проекты, которые в данный момент создать не можем, тем более если они уже существуют и могут быть скопированы или заимствованы. Для собственных проектов важно сформировать технологии, подтянуть знания, воспитать команды. И здесь поможет копирование – как отправная точка, как инструмент освоения навыков или шаблон организации работ.

Нам необходима отвечающая современным вызовам образовательная система, которая везде формируется государством или с участием государства и является элементом государственной поддержки любого бизнеса. Залог успеха – в комплексном программном подходе.

Философия нашей деятельности должна быть следующей: мы должны не только импортозамещать. Нам необходимо создавать новое. Создавать какие-то новые смыслы. Вкладывать те, может быть, последние компетенции, которые у нас есть, и те, которые сумеем, я уверен в этом, родить, в продукты, которые будем продвигать везде – и у себя, и за рубежом.

Характеризуя импортозамещение как процесс, я приведу высказывание нашего воронежского академика Василия Ивановича Борисова: «Импортозамещение – это массаж деревянной ноги».



Сергей Беляков: Спасибо за ваш комментарий. Возможно, не совсем правильно меня поняли с точки зрения создания нового. Безусловно, те же наши компании создают новые продукты, но используют технологии, которые уже существуют довольно много лет. Те же системы-в-корпусе (SiP) – это уникальные продукты GS Nanotech, которых в России никто не делает. И с этой точки зрения – это инновации и новшество. Но технологии, с помощью которых производятся эти уникальные продукты, уже используются 20 лет на ведущих мировых рынках. Поэтому здесь инновацию можно создавать, используя и копируя существующие лучшие практики западных производителей.

Алексей Волостнов: Я такой тезис резкий выскажу. Мне вообще слово «импортозамещение» не нравится. Поэтому что интересно экспорт замещать, интересно идти на больший рынок. Да, конечно, домашний рынок с помощью государства должен быть защищён. Тут вообще, как мне кажется, сомнений ни у кого не может быть. Всё, что государство может защитить, и куда оно тратит деньги как потребитель, оно должно просто закрыть, не ухудшая качество той продукции, которая производится. Если эта задача решена, значит это большое дело. Посмотрите отрасли ТЭКа, Телекома, всё, что связано с госбезопасностью, – конечно, это большой внутренний рынок, он должен быть закрыт, он должен максимально благоприятствовать российским компаниям, если они могут что-то сделать. Но должно ли импортозамещение быть мантрой: «Давайте всё заместим»? Нет, конечно. Мы сейчас далеко уйдём в дискуссию, любая такая игра на глобальном рынке больше, чем российский рынок. Российский рынок с точки зрения микроэлектроники, тоже думаю никто спорить не будет, маленький. И серьёзные инновации делать можно только с размахом во что-то большее.

Дмитрий Корначёв: Хотел уточнить один момент на примере автоэлектроники: мы столкнулись с разным пониманием импортозамещения у компаний с госучастием и у частных компаний. Когда мы говорим об «импортозамещении» с государственными компаниями, то они имеют ввиду проведение НИОКР, причём за государственный счёт. То есть: «Поставьте нам работу, оплатите нам, дайте денег на выпуск



партии» – и тогда на этом импортозамещение закончится. В России появится продукт, который будет официально зарегистрирован в каком-нибудь реестре. То есть в данном случае речь зачастую идет о развитии науки и технологии.

Когда мы говорим с частным бизнесом, они имеют ввиду инициативу, которая будет поддержана государством, но на их производственных мощностях, и они говорят всё-таки о выручке. Я хотел бы поддержать тезис предыдущих ораторов о том, что государством должна быть создана инженерная школа, чтобы проводить импортозамещение. Но важно ещё устранять этот разрыв понимания о том, что есть научная школа, которая решает больше теоретические задачи, задачи развития технологий. И разрыв её с практической составляющей, то есть с прикладным бизнесом, который зачастую не готов развивать фундаментальную технологию, работать с вузом, её дотачивать, доводить до серийного образца. Им проще скопировать что-то и внедрить на рынок, так как таким образом будет намного проще продать. Те, у кого есть бизнес-компетенция, не занимаются наукой, те, у кого есть компетенция в науке, не занимаются бизнесом. Я думаю, для этого и созданы отраслевые консорциумы, чтобы стать таким мостом понимания между тем, чем живёт государство, и задачами бизнеса.

Алексей Карфидов: В дополнение к мнению предыдущего эксперта хочу добавить, что импортозамещение должно быть просто неотъемлемой частью госполитики. Потому что после того провала, который был у нас в стране, есть много деятельности и направлений, которые можно постоянно замещать. При этом, с одной стороны, мы всё время можем создавать что-то новое, но, с другой стороны, мир не стоит на месте, развивается темпами, опережающими ту техническую деятельность, которая сейчас происходит у нас.

И исторически на самом деле всё происходит по кругу. В период, когда я относительно недолгое время работал в Министерстве промышленности и торговли, нашему начальнику департамента судостроения на день рождения подарили табличку, датированную 1915 годом, с интересной цитатой одного из адмиралов того времени: «Поскорей бы стало так, чтобы в нашей стране судовые двигатели стали отечественные». Ирония в том, что история повторилась буквально спустя 100 лет после того, как с 2014 года нам в страну ограничили поставки морской и авиационной техники. Именно с того периода у нас пошли госпрограммы по импортозамещению, украинозамещению и по всяkim иным тематикам. Я считаю, что всё это делать надо не рывками, а постепенно, непрерывно, планово.

Иван Фефилов: Я хочу уточнить и немного углубить мысль коллеги. Какой должна быть «плановость» на самом деле? Это должна быть «плановость» в рамках контракта жизненного цикла, выполняемого как сквозной проект, о которых мы сейчас много говорим. И элементная база внутри этих сквозных проектов должна замещаться не вся подряд, а та, что содержит принципиальные ноу-хау, или та, поставки которой ограничены по тем или иным причинам. То есть та, которую можно назвать специализированной критической элементной базой.

**Согласно зрительскому голосованию по итогам раунда счёт 2-0
в пользу синей команды.**

2

0

Раунд 3.

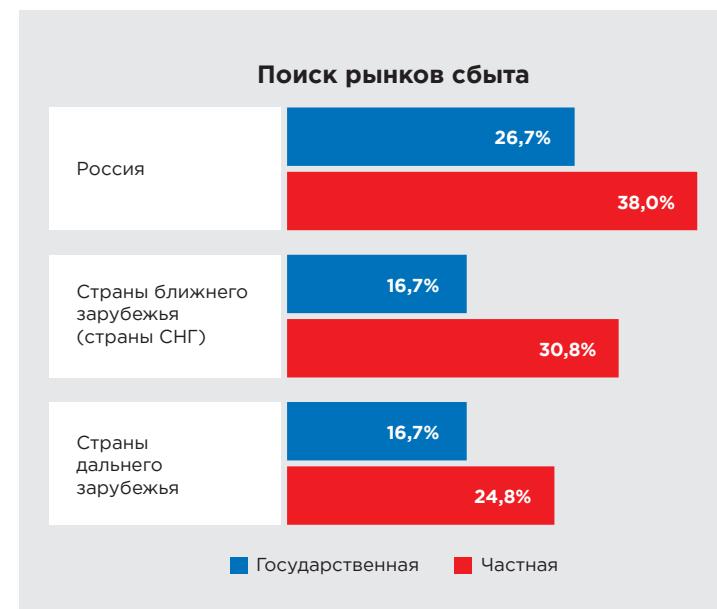
Отечественная продукция: только для внутреннего рынка или может быть востребована за рубежом?

Антон Большаков: Давайте снова обратимся к результатам отраслевого опроса и ответам на вопрос о том, какие географические рынки рассматривают представители отрасли. Мы видим, что частные компании в большей степени ориентированы на зарубежный рынок (рис 2). Причем почти 82 % респондентов считают, что отечественная электроника должна у потребителей ассоциироваться с надёжной (рис 3). Уважаемые эксперты, а каково ваше мнение об экспортном потенциале отечественной продукции?

Алексей Мохнаткин: Я хотел бы попросить 10 секунд и обратить внимание на слайд с вопросом о том, с чем должна ассоциироваться отечественная продукция. Это типичная рыночная маркетинговая ошибка. Мы спрашиваем мнение российских разработчиков и производителей относительно их собственной продукции. Да оно никому не нужно на рынке. На рынке интересует мнение потребителя об этой продукции: что думает российский потребитель российской электроники и что думает иностранный потребитель российской электроники. Я думаю, что верхняя строка ни там, ни там не будет популярна. И думаю, что и вторая строка тоже не будет популярной. А уж третья тем более. Давайте проведём опрос потребителей.

Алексей Волостнов: Нас, конечно, ждут на внешнем рынке. С деньгами ждут. Если с деньгами придёшь – тебя все ждут. Будешь покупать – хорошо. Будешь покупать зарубежное оборудование, технологии, если что-то продадут тебе, задорого – особенно хорошо. С этим ждут. Любой зарубежный рынок – он конкурентен, он ещё и закрыт государством, мерами господдержки, преференциями именно для своих компаний. И отечественных производителей, конечно, никто сильно не ждёт. Это тезис номер один.

Тезис номер два. С учётом того, что сейчас в мире происходит... Давайте назовём это «геополитический фактор борьбы». Есть рынки сбыта, не только применительно к микроэлектронике, но к микроэлектронике в частности, на которых ряд стран, ряд компаний предпочитают, что называется, «хеджировать» свои риски при взаимоотношениях с США, со странами Европы, с Китаем и другими странами, ищут альтернативные решения в сфере безопасности, в сфере медицины, в ещё каких-то сферах. Если какая-то сторона, не только Россия, может такие альтернативные решения предоставить, её может быть не ждут, но готовы обсуждать. Примеры есть. У нас, как у консультантов, есть такие примеры,



2

Работа с какими географическими рынками должна способствовать увеличению доли выпускаемой гражданской продукции?



3

С какими образами, по вашему мнению, должна ассоциироваться электроника, произведенная в России?

когда получается российские решения продвигать на рынке, который хотят как-то отстроить от какой-либо страны. Вопрос сложный. То есть, для того, чтобы конкурировать, нельзя просто с чем-то



прийти и сказать: «У нас надёжное». Это целый комплекс вещей: это и надёжность, и эффективность, и, естественно, цена. Потому что часто ЭКБ – это конкуренция, в том числе по цене, не только по функционалу. Можно ли работать на внешнем рынке? Конечно, можно.

Если брать технологии, всё, что выше 28 нанометров, например, у нас есть определённые заделы и есть стабильные рыночные ниши в рамках того же интернета вещей, в рамках автомобильной промышленности – мы вполне можем эту продукцию поставлять. И есть компании, которые поставляют, разрабатывают, и от этого можно строить планы развития.

Арсений Брыкин: Отвечая на вопрос «Ждут ли нас на рынках?» – никто нас нигде не ждёт. Это первый тезис.

Второе. Еще раз повторю, что конкуренция на международных рынках не продуктовая, а связанная с мерами государственного регулирования для защиты собственных рынков. Можете посмотреть скандал, который сейчас происходит на другом высокотехнологичном рынке, связанном с фарминдустрией, и тот шум, который подняли на нашем российском рынке зарубежные производители фарминдустрии, как только почувствовали меры госрегулирования не в свою пользу. Поэтому никто нас нигде не ждёт. Но это не значит, что нужно опускать руки и не выходить на внешние рынки.

Как было правильно сказано нашими коллегами, действительно, на зарубежных рынках есть определённые ниши и есть разные рынки: есть рынок высокотехнологичных стран, есть рынок стран третьего мира, где есть возможности для точек входа как по линии военно-технического сотрудничества, так и по линии несырьевого экспорта. Этим всем нужно пользоваться, но опять же – без мощного государственного протекционизма, в том числе, политического, на современном этапе вряд ли будет возможным для любой компании, какой бы серьёзной на внутреннем рынке она не была, войти на рынок третьих стран. И это касается также так называемых

«мер нефинансового регулирования», технического регулирования, которые блокируют доступ на внешние рынки любой продукции, хоть российской, хоть какой. Без государства здесь вообще никак.

Алексей Волостнов: Более того, я здесь дополню, что государство в части этих сделок по сути является гарантом того, что контракт будет исполнен. В этом даже никакого сомнения, противоречий не может быть. Большой вопрос стандартов. Без стандартов и отрегулированных под себя стандартов сложно будет защитить внутренний рынок на 100 %.

Алексей Карфидов: Хочу добавить, что вопрос сам по себе такой, что понятно – нас там никто не ждёт, мы никому не нужны. Более того, мы сами в 90-е годы всех успели запустить даже на свой внутренний рынок. После ситуации 2014 года, когда курс доллара подскочил, получилось так, что наши рабочие кадры и наши компании, частные и государственные, при расчётах, которые касаются иностранной валюты, стали гораздо более выгодными для иностранных компаний. У нашей компании есть довольно большое количество иностранных заказчиков, часть из которых – это люди, уехавшие в 80-е, в 90-е, в 2000-е из России в Израиль, в Великобританию, во Францию, в Америку. Благодаря знанию языка им гораздо выгоднее заказывать техническое проектирование тех или иных изделий в России. Понятно, что есть некоторые политические ограничения, но они, опять же, касаются больше компаний с госучастием. Это первый момент.

Второй момент: не только экспаты, а просто иностранные компании, которые умеют считать деньги, понимают, что мы сейчас как китайцы в том плане, что в своё время китайская рабочая сила была дешёвая, и это было хорошо и выгодно. Сейчас получается, что средний рабочий, который живёт где-нибудь на Урале, получает в долларах зарплату настолько конкурентоспособную для иностранных компаний, что на самом деле его участие в процессах и проектировании, изготовлении прочего выходит довольно выгодным. В этом, я считаю, у нас есть скрытая сила, которую мы можем со временем использовать, и которая сейчас уже начинает в той или иной степени довольно успешно раскрываться для частных и государственных компаний.

Алексей Мохнаткин: Я тут выступлю в духе команды, выступающей на стороне формирования спроса на гражданскую продукцию рынком. У нас все три вопроса связаны. К вопросу импортозамещения, импортонезависимости, оригинальности продукта. Я согласен с тем, что сегодняшняя конъюнктура даёт возможности российским компаниям, которые могут быть конкурентоспособными на иностранном рынке,



там играть. Разработчики, обладающие действительно конкурентной компетенцией на мировом рынке, сегодня пользуются спросом. И чем дальше, а ситуация идёт, в общем, в понятном русле, тем больше этих возможностей открывается, и грех ими не воспользоваться.

Поэтому нужно идти за рубеж. Там есть возможности. И, безусловно, открываются рынки. И чем дальше, тем больше. И там достаточно большое количество действительно здравомыслящих потребителей, которые взвешивают цену вопроса и готовы размещать продукт. Второй вопрос, что этот продукт будет принадлежать иностранному заказчику. Но даже со своим разработанным продуктом мы становимся более конкурентоспособными. И у нас такой успешный опыт есть. У нас сейчас активно развиваются именно иностранные контракты и именно иностранное продвижение абсолютно российского проприетарного продукта – это решения в области искусственного интеллекта, программно-аппаратные комплексы.

Арсений Брыкин: Здесь дополню Алексея Мохнаткина. Если речь идёт о компаниях российских разработчиков, то совершенно согласен со всем, что он сказал. Если же речь идёт о том, что у нас из-под носа уводят разработчиков как физических лиц, как человеческий капитал и предоставляют им возможность, даже не эмигрируя, работать на иностранные компании здесь, то никакой это не россий-

ский продукт, никакой это не российский экспорт. Это – задёшево взять тех, кого обучает Российской Федерации, за счёт налогоплательщиков построить им офис – «Huawei», «CISCO», «Intel», масса компаний по этой модели работает – я конкретно против этого. И призываю всех российских разработчиков и производителей очень серьёзно к этому отнестись. А если речь идёт о кооперации компаний российских разработчиков с выходом на зарубежные рынки, то здесь только за, это хорошие точки входа.

Сергей Беляков: О том, стоит ли выходить на экспортные рынки, есть отличные примеры наших софтверных компаний. Очень много компаний, которые успешно продают свои решения по всему миру. Есть даже примеры компаний, продающих 90 % и даже больше своей продукции на зарубежные рынки. Поэтому здесь представителям микроэлектронной индустрии есть куда стремиться. Но ключевым моментом является то, что сначала нужно обосноваться на российском рынке, отработать и создать продукты, которые были бы конкурентоспособными здесь, и уже в дальнейшем выходить с этими решениями на зарубежные рынки.

Алексей Карфидов: Я хочу дополнить мысль Арсения Брыкина. С одной стороны, очень хорошо сказано про опасность утечки мозгов, выращенных в том числе за государственные деньги. Добавлю, отчасти в противовес, что рынок услуг сейчас очень сильно

развивается, и здесь, конечно, главное – отстаивать свою позицию. И в этом плане не превращаться в пример Индии, которая вроде бы хотела встать на путь экспорта своих услуг, а, по сути, стала каким-то скоплением мозгов для иностранных компаний и при этом своего сильного развития, которое хотела, не получила.

Тут, мне кажется, важно сохранить внутренний дух, патриотизм, помнить, что мы в первую очередь ведём всю деятельность для себя. И, скажем так, знания и опыт, которые мы получаем при выполнении этих проектов, мы должны применять при создании своих изделий, своих продуктов, соответственно, с последующим их выводом на иностранные рынки.

Иван Фефилов: Я хотел бы немного поспорить с Сергеем Беляковым. Я не совсем согласен с тезисом о том, что приоритетно, как я понял, мы должны развивать внутренние рынки. Наш рынок электроники очень ограничен. И если мы говорим о гражданике (открытом рынке гражданской продукции), то он крайне ограничен как за счет его общего объема, так и за счет внешних предложений. Поэтому для частных компаний, не обремененных санкционным воздействием, было бы очень здорово задуматься о внешних рынках. Кстати, успех софтверных компаний идет от того, что они в значительной степени ориентированы на внешние рынки. Это первый момент.

И второй момент. Вопрос о том, кому принадлежит ведущая роль в формировании спроса на гражданскую продукцию, наверное, не имеет ответа или ответ где-то посередине. Потому что на самом деле сила частного бизнеса заключается в гибкости и возможности ухода от санкционного давления, что очень важно для работы на внешних рынках. А сила государства состоит в административном ресурсе, преференциях и ограничениях, которые прежде всего регулируют рынки внутренние. Эти подходы нужно синтетически совмещать.

Вопрос из зала: Какие варианты регулирования видят коллеги с точки зрения препятствия тому, чтобы кадры утекали за рубеж?

Арсений Брыкин: Самое первое, что нужно сделать, – это обратить внимание на кадры, которые подрастают, обратить внимание не на конференциях, а на тех площадках, где они растут, где они обучаются, и включаться в процесс обучения, идти работодателям в процесс обучения, а не ждать по старорежимным лекалам, что молодых сейчас кто-то научит, а мы из них выберем лучших. Не выберем. Во-первых, по современным концепциям и взглядам молодых людей, так называемого, «поколения Z», это не мы их выбираем, это они нас выбирают. А для того, чтобы они нас выбрали, они должны о нас, как минимум, знать. И они должны иметь понимание, что мы им можем предложить, чего мы от них хотим. Поэтому необходимо менять концепцию отношения к кадрам – это важнейший шаг, который должны сделать работодатели. А дальше есть много инструментов, которые обеспечат тот самый процесс привлечения талантливой молодёжи на наше предприятие. Это уже следующая производная.

Заключение

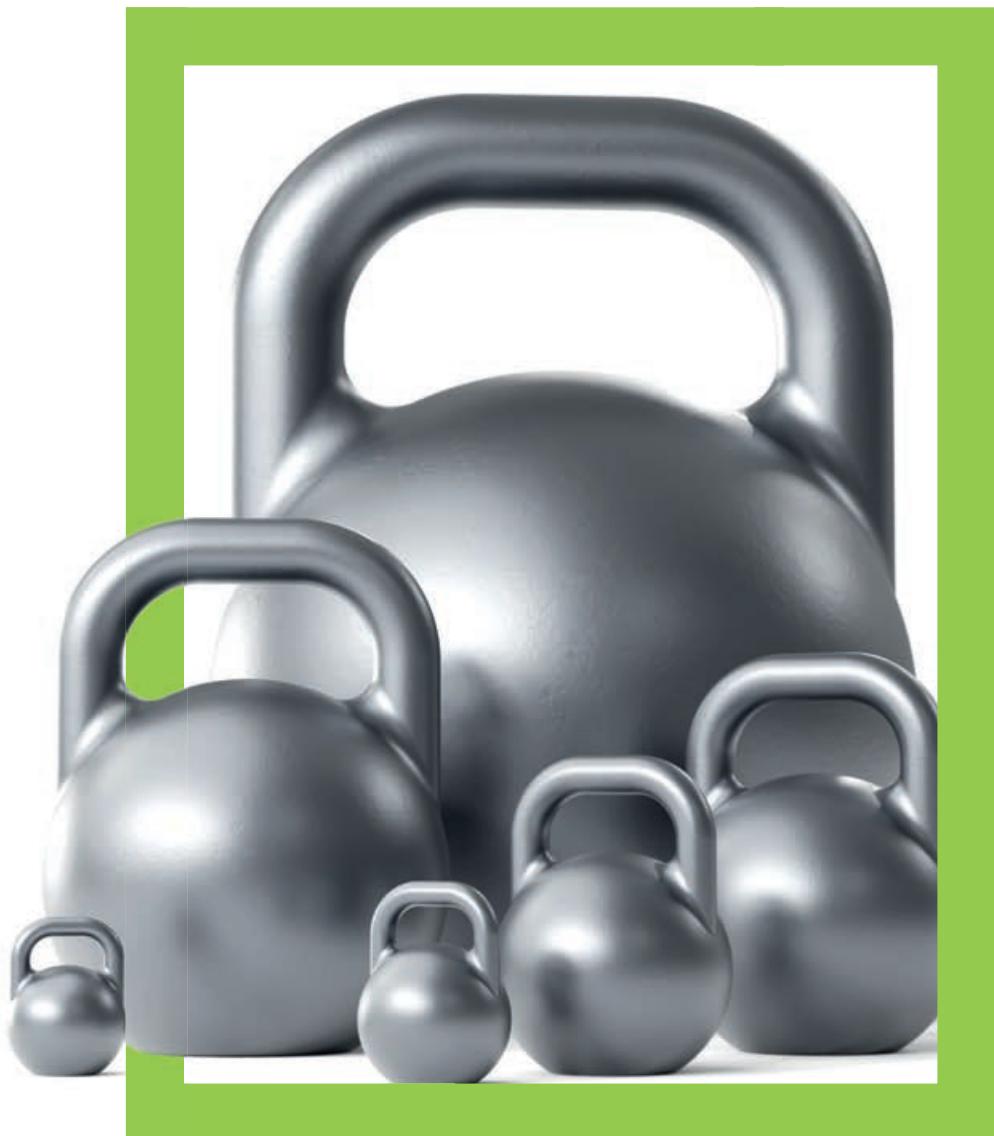
Благодарим спикеров и участников дискуссионного баттла «Отечественная продукция: по заказу государства или по законам рынка?» за яркие высказывания и глубокие экспертные мнения. И хотя, по мнению зрителей, более ярко себя проявила синяя команда, защищающая позицию «Ведущая роль в формировании спроса на гражданскую продукцию принадлежит государству», истина лежит где-то посередине. И можно перефразировать известное выражение: «На государство надейся, а сам не плошай!»

Согласно зрительскому голосованию по итогам раунда счёт 3-0 в пользу синей команды.

3

0

Нам по силам ваши возможности • • •



Решения любого масштаба

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

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

Честно, открыто, профессионально.

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

ПЕРСПЕКТИВЫ

Кадровая привлекательность электронной промышленности. Результаты отраслевого опроса



Текст: Антон Большаков

”

Весной 2021 года агентство промышленного маркетинга ООО «Трейсмаркет» провело в интересах Группы компаний Остек и компании HYVE отраслевой опрос «Отечественная продукция: по заказу государства или по законам рынка». Цели опроса – оценить, с чем сталкиваются предприятия электронной промышленности России при развитии направления гражданской продукции; какие меры поддержки необходимы; каким стратегиям развития отдают предпочтение.

Опрос прошли 300 респондентов – владельцы и директора частных и государственных предприятий электронной промышленности, руководители среднего звена. Большой блок вопросов касался кадрового вопроса, как одного из ключевых в реализации программы «Стратегия развития электронной промышленности до 2030 года».

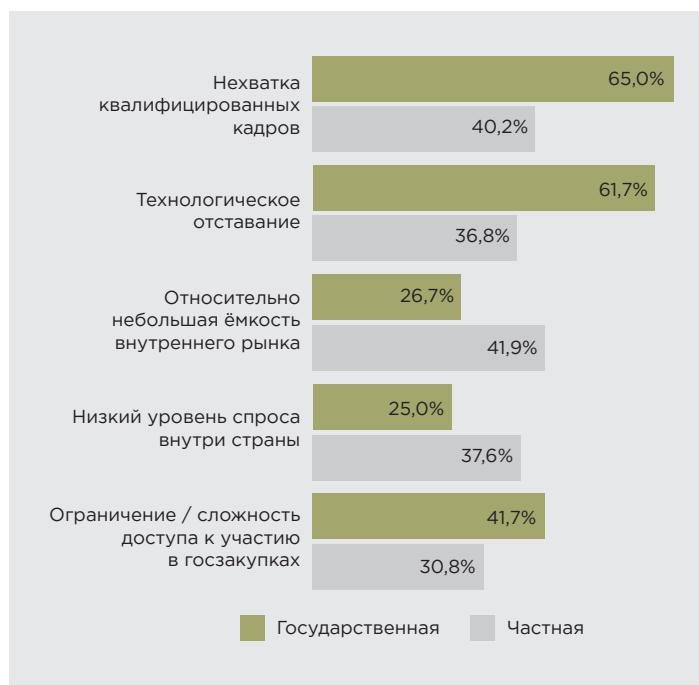


Серьезность кадровой проблемы подтверждена ответами на вопрос «Укажите пять самых важных проблем, сдерживающих развитие вашей компании» (рис 1). По мнению 65,0 % представителей государственных предприятий и 40,2 % представителей частных компаний одна из основных проблем – это нехватка квалифицированных кадров. Также среди существенных препятствий респонденты указали: «Технологическое отставание» и «Относительно низкая ёмкость внутреннего рынка».

Какие же специалисты потребуются предприятиям отрасли в ближайшие 3-5 лет? В первую очередь, это программисты, в том числе програмисты микроконтроллеров, инженеры-программисты – 16,8%; схемотехники, в том числе электронщики, электротехники – 13,4%; инженеры-проектировщики, в том

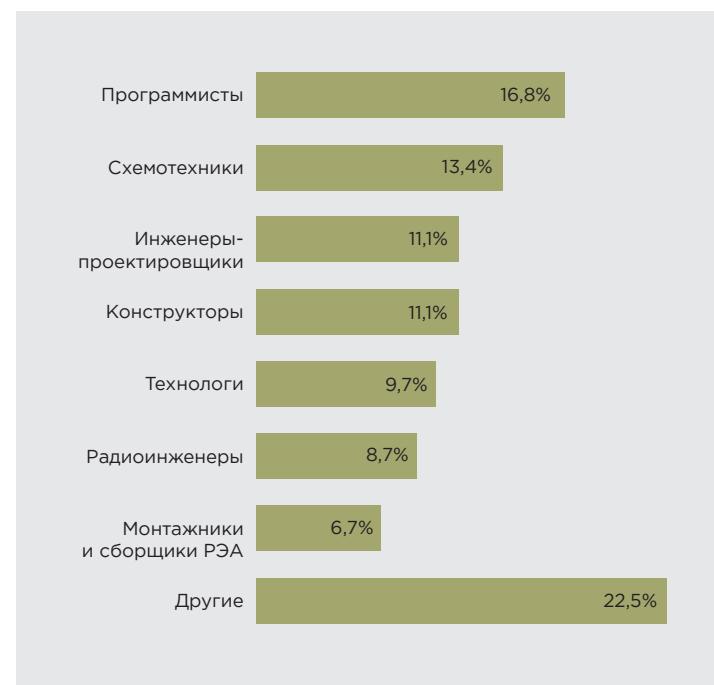
числе разработчики РЭА, разработчики управляющих программ – 11,1%; конструкторы – 11,1%, в том числе инженеры-конструкторы, конструкторы РЭА и СВЧ. Также высока потребность и в специалистах нетехнических специальностей: маркетологах, промышленных дизайнерах, менеджерах проектов, финансистах – 10,0 (рис 2).

На вопрос о том, инвестиции в развитие каких кадров ожидаются от государства, наиболее популярный ответ: получение высшего образования по техническим специальностям – 78,3 % и 58,1 % ответов от представителей государственных и частных предприятий соответственно (рис 3). Также весьма востребованы программы переподготовки и повышения квалификации. Отмету, что для представителей частных компаний в большей степени востребовано



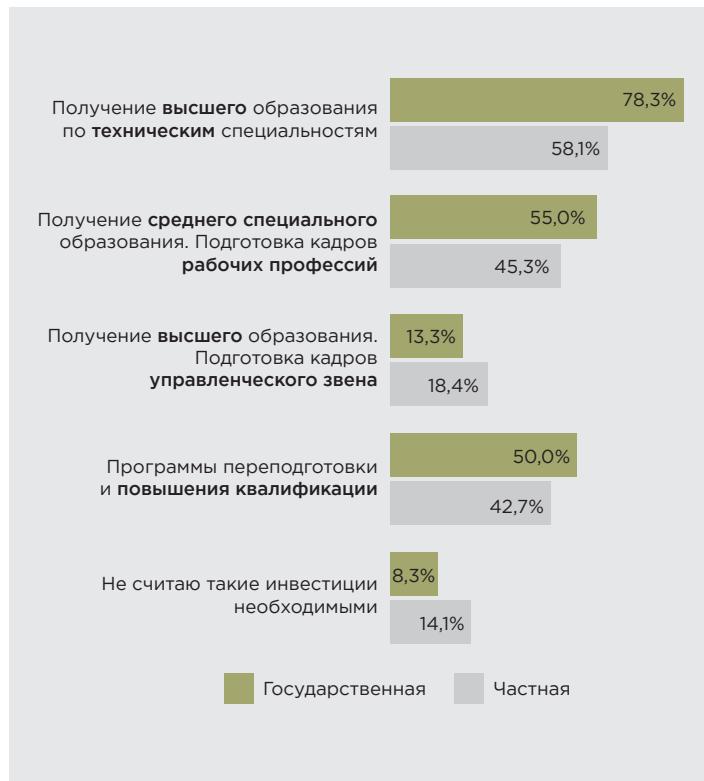
1

ТОП5-проблем, сдерживающих развитие предприятий



2

Какие специалисты потребуются предприятиям отрасли в ближайшие 3-5 лет

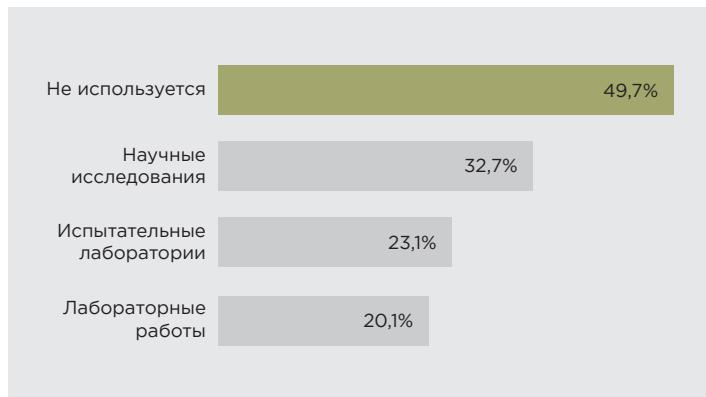


3

Инвестиции в развитие каких кадров ожидаются от государства

высшее образование по подготовке кадров управленческого звена – 18,4 % против 13,4 % государственных предприятий.

При том, что респондентами обозначена потребность именно в технических специальностях, только 20,1 % из них ответили, что их изделия, приборы и ПО используются в лабораторных работах, против 49,7 % ответов, что их продукция не используется в учебных процессах (рис 4). В результате получа-

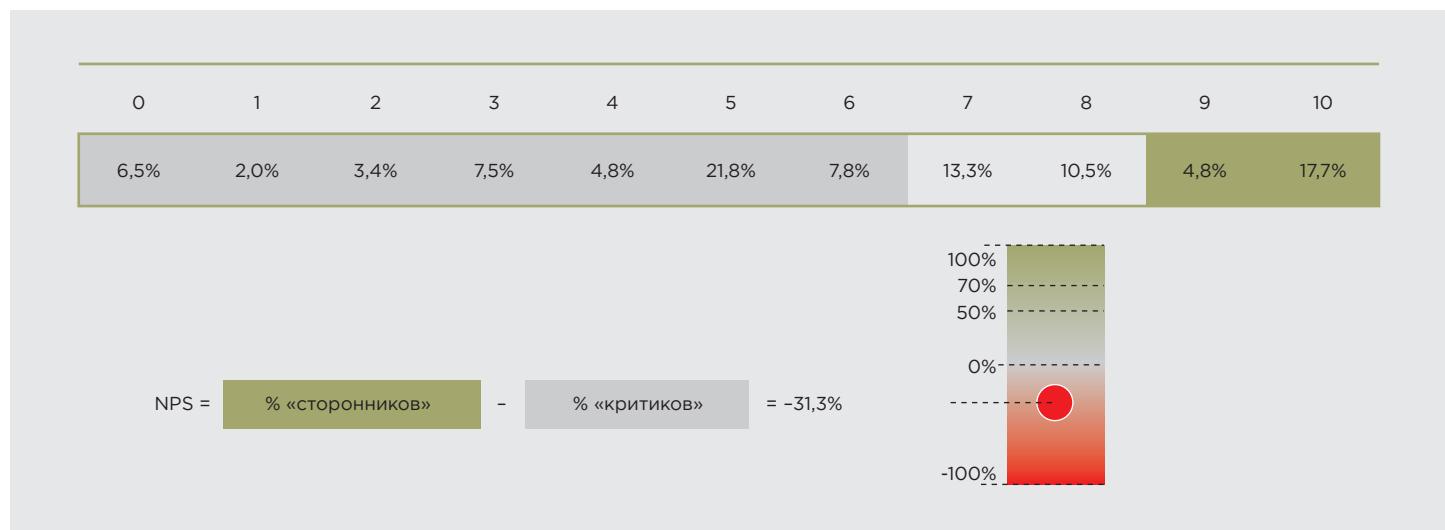


4

Используется ли ваша продукция в учебных процессах?

ется, что уже начиная с учебных заведений ведётся подготовка кадров, не лояльных к продукции отечественной электронной промышленности.

Итак, нехватка кадров – это барьер для развития предприятий, зафиксированный в ответах респондентов. Но почему соискатели должны выбирать компании отечественной электронной промышленности? Так, мы задали вопрос «Рекомендовали бы вы своим друзьям и родственникам работать в электронной промышленности», где 0 – ни в коем случае не порекомендую, а 10 – обязательно порекомендую, что позволило рассчитать «Индекс приверженности» (NPS): из процента сторонников, отметивших баллы в диапазоне 9-10, вычитаем процент критиков, отметивших баллы в диапазоне 0-6, и получаем значение индекса. Индекс составил -31,3 %. Когда был получен расчет, мы начали перепроверять – бывает ли такое. Бывает, и это очень плохо. Хорошим показателем индекса приверженности считается показатель от 50 % и выше (рис 5). Как отрасль



5

Процент ответивших на вопрос «Рекомендовали бы вы своим друзьям и родственникам работать в электронной промышленности» и расчёт «Индекса приверженности» по результатам отраслевого опроса



АРМИЯ РОССИИ

6

Визуальный образ бренда-прототипа «Армия России»

собирается привлекать таланты, если сами же ее представители не рекомендуют своим друзьям и родственникам в ней работать?

Повышение привлекательность отрасли – это комплексная задача, требующая различных инструментов. Традиционно в отечественной промышленности недооценивают инструменты маркетинга и брендинга. Остановимся на этом подробнее.

Привлекательный бренд работодателя – это когда:

- Аудитория знает бренд и отличает его в коммуникации от других брендов. В связи с этим вопрос: знают ли соискатели электронную промышленность и выделяют ли среди других отраслей?
- Аудитория понимает, что именно предлагает бренд, и чем это для неё ценно. А что ценного мы, как отрасль, предлагаем специалистам?
- Аудитория верит в то, что обещания бренда будут выполнены. Выполняем ли мы, как представители отрасли, свои обещания?

В качестве прототипа приведу бренд «Армия России» (рис 6). В 2014 году он был презентован впервые, его визуальный образ на тот момент вызвал много дискуссий. Но сейчас, в 2021 году, нельзя отрицать, что у него есть все перечисленные атрибуты для своей целевой аудитории.

По аналогии суть бренда «Электроника России» может опираться на исторические и неоспоримые достижения отечественной промышленности, наработки специального назначения и опыт создания продуктов для тяжелых условий эксплуатации. Но рыночный ландшафт кардинально меняется, как и его восприятие клиентами, – общество выдвигает новые условия, ставит новые рамки, предъявляет новые требования к качеству. Это – новая реальность, требующая об-

новленных брендов. Идеи, которые сегодня движут миром, – это освоение планет и дальнего космоса, кратное увеличение возможностей человека через интеграцию с искусственным интеллектом, излечение от сложных болезней и значительное продление жизни. Это территория принципиально новых смыслов. Поэтому бренд как коммуникативная платформа должен создавать образ высокотехнологичной и открытой для сотрудничества отрасли, отражать ее критически важную роль в реализации национального курса перехода к цифровой экономике, привлекательность для трудоустройства молодых талантов. Важная задача при разработке бренда – добиться от аудитории его узнаваемости, веры в то, что обещания бренда будут выполнены.

Мы конкурируем с глобальными компаниями за привлечение талантливых российских учёных, конструкторов, инженеров, технологов, программистов. Сильный бренд должен помогать отечественным производителям создавать привлекательный образ работодателя, привлекать человеческие ресурсы на наиболее выгодных условиях и налаживать совместно с ВУЗами целевую подготовку кадров для предприятий отрасли.

В рамках реализации Стратегии ведущие отраслевые объединения и институты ведут работу по решению кадровой задачи, и одними из важнейших направлений должны стать:

- повышение привлекательности электронной промышленности как работодателя;
- мониторинг потребности в кадрах и привлекательности электронной промышленности на системной основе;
- распространение применения отечественного оборудования и ПО в учебных процессах.

ТЕХНОЛОГИИ

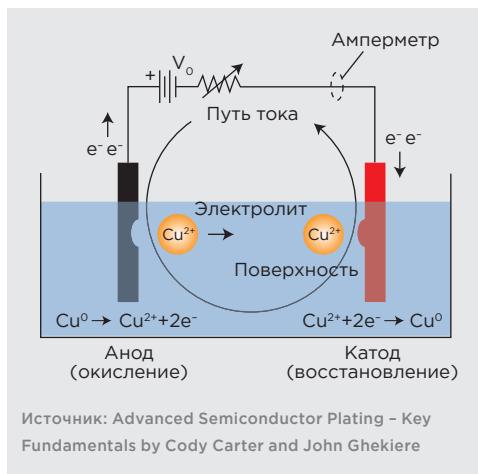
Оптимизация гальванических процессов или как добиться непревзойденной повторяемости процесса



Текст: Дмитрий Суханов

”

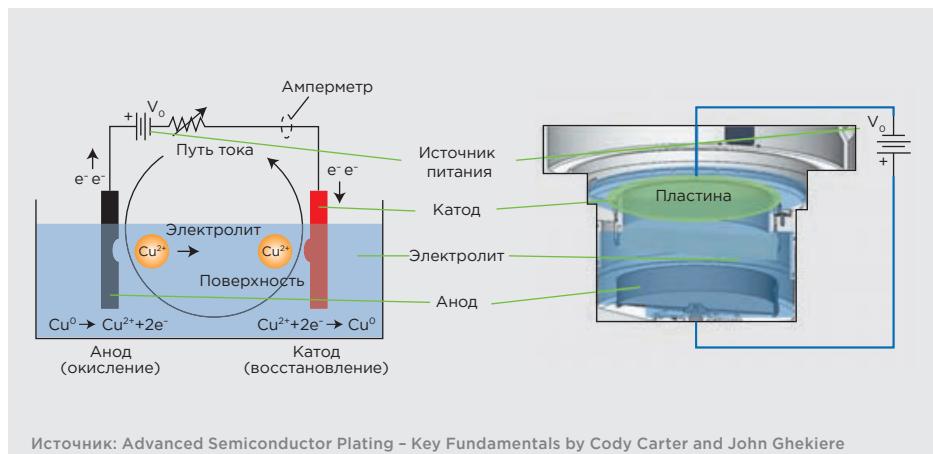
На микроэлектронном производстве каждая из сотен, миллионов, даже миллиардов отдельных характеристик и функций изделия, получаемого на полупроводниковой пластине, должна соответствовать строгим спецификациям. Это необходимо для достижения требуемого качества продукции, его технических характеристик и необходимого уровня выхода годных, что является самым критичным параметром на современных фабриках. Буквально каждая функция, каждый процесс на такой фабрике должны быть доведены до совершенства.



Источник: Advanced Semiconductor Plating – Key Fundamentals by Cody Carter and John Ghekiere

1

Электролитическая ячейка



Источник: Advanced Semiconductor Plating – Key Fundamentals by Cody Carter and John Ghekiere

2

Электролитическая ячейка и современный реактор

Процессы электрохимического осаждения (ECD – electrochemical deposition) или гальванические процессы на производствах должны быть четко отработаны, что позволит создавать необходимые топологические элементы идеального размера и формы без брака (пустот). Все это должно быть выполнено с учетом общей стоимости и эксплуатационных затрат. Ведущие производители оборудования для ECD, такие как Lam Research, RENA, ClassOne и др. разработали каждый свою серию оборудования, чтобы передать работающим с гальваническими покрытиями инженерам и операторам свой опыт и помочь оптимизировать производственные процессы.

В статье я расскажу об основных принципах ECD и способах оптимизации данного процесса.

Что такое «пластина в электролитической ячейке»?

Фундаментальное понимание основной электролитической ячейки обеспечивает основу для более глубокого изучения процессов для нанесения покрытий в полупроводниковой промышленности. Самые современные способы нанесения покрытия на производстве полупроводников основаны на тех же принципах, что и стандартная электролитическая ячейка. На рис. 1 изображена электролитическая ячейка со следующими функциональными компонентами: положительный и отрицательный электроды, электролит и источник питания. В этом примере медные электроды погружены в один электролит на основе сульфата меди и подключены к источнику питания.

К электродам прикладывается потенциал, замыкая цепь, состоящую из электронов, мигрирующих по проводам, соединяющим электроды и источник питания, и результатирующими реакций электролитического окисления и восстановления на электродах и потока ионов через электролит. Источник питания «подает» электроны на

катод, где реакции восстановления приводят к образованию металлической пленки (тонкой пленки меди в данном случае). Перенос электронов из ячейки на аноде ведет к реакциям окисления, которые высвобождают ионы меди в раствор, восполняя те, которые «потребляются» при образовании металлической пленки на катоде.

Как выглядит современный реактор для электролитических процессов на полупроводниковом производстве?

Базовая электролитическая ячейка действительно является основой всех реакторов для нанесения металлических покрытий на полупроводниковые пластины, включая реакторы, используемые для изготовления наиболее продвинутых элементов металлизации. Несмотря на использование в полупроводниковой промышленности нескольких типов реакторов, спецификации ведущих «chip-майкеров» требуют использования реактора фонтанного типа и обработку по одной пластине. Все основные производители полупроводников полагаются на ту или иную версию реактора, в котором полупроводниковая пластина располагается лицевой стороной вниз.

Каждый из основных компонентов, показанных на рис. 1, присутствует в современном реакторе (рис. 2). На рис. 1 показаны электроды, ориентированные вертикально, а в современном реакторе анод размещается на дне ячейки с горизонтальной ориентацией. Это должно поддерживать эффективное взаимодействие с катодом, которым при обработке полупроводников является сама пластина. Пластина также ориентирована горизонтально над анодом лицевой поверхностью вниз. У этой конфигурации есть явные преимущества, которые будут рассмотрены далее.

Все электролиты для ECD на полупроводниковых производствах – узкоспециализированные. Анод и пластина электрически подключены к источнику питания через оборудование и проводку. В современном реак-

торе для работы с полупроводниковыми пластинами источник питания довольно сложен с точки зрения управления. Он должен включать в себя возможность высокоточного контроля тока (заряда), что имеет решающее значение для повторяемости процесса.

Давайте попробуем выявить связь между силой электрического тока и размерами элементов, на которые необходимо осадить тонкую металлическую пленку.

Важно отметить, что для осаждения высококачественных тонких пленок гальваническим способом необходимо, чтобы система работала в состоянии дефицита электронов. Другими словами, напряжение регулируется таким образом, что ток ограничивает скорость реакции. Это гарантирует, что подача электронов служит ограничивающим реагентом в реакциях восстановления на поверхности пластины.

Отсутствие электронов обеспечивает два ключевых преимущества процесса нанесения покрытия:

- «отсутствие посягательства» на предельную плотность тока для конкретного процесса, которая при обнаружении приводит к образованию «отложений» низкого качества;
- обеспечение очень точного контроля скорости реакции и, следовательно, скорости осаждения, так как ток контролируется очень точно; ток, подаваемый на пластину, создает металлический материал – тонкую металлическую пленку в соответствии со специфическими электрохимическими реакциями для данного процесса.

Учитывая эффективность реакции, можно быстро понять, что количество молей произведенных электронов приведет к пропорциональному количеству молей осажденного твердого металла (в данном случае меди). Отсюда следует, что при заданном количестве молей электронов образуется определенная масса плакированного металла.

Поскольку плотность осажденной меди постоянна, эта масса меди имеет определенный объем. Таким образом, объем меди, нанесенной на пластину, прямо пропорционален количеству молей электронов, поступающих в систему. Это означает, что современные системы ECD могут сформировать точный объем металла на поверхности пластины, контролируя общий приложенный ток.

Физический объем рассчитывается как произведение ширины, длины и высоты покрытия. Горизонтальные размеры элемента контролируются самой пластиной. В случае элементов, нанесенных на сформированную маску (рисунок структур на пластине), горизонтальные размеры элемента строго определяются рисунком после процесса литографии. Эта область называется открытой площадкой, поскольку она доступна для создания покрытия.

Поскольку приложенный ток встречается с контролируемой по размеру областью, то данный ток распределяется по этой области, а это означает, что распределение тока действительно является распределением тока по площади.

В совокупности плотность тока влияет на скорость нанесения покрытия. Что касается формирования электрических элементов, плотность тока определяет скорость вертикального роста плакированного материала, образующего необходимую тонкую пленку. Другими словами, плотность тока, применяемого в данной системе, легко преобразовать в показатель толщины за время.

Контроль окончательной высоты покрытия требует контроля продолжительности процесса. Этого можно достичь, выполнив этап нанесения покрытия до установленного времени. Но есть дополнительная возможность контроля, которая обеспечивает еще большую точность, а именно контроль общего заряда. Завершение этапа гальванического процесса в соответствии со временем предполагает, что ток идеально соответствует заданному, а также в значительной степени зависит от точности функций синхронизации системы. Однако более точный режим управления высотой покрытия достигается путем прекращения этапа нанесения покрытия при достижении определенного заряда. Становится очевидным, как плотность тока, приложенная в течение определенного времени, приводит к определенной толщине. Завершение процесса на основе контроля заряда позволяет точно управлять током в современных источниках питания.

Несколько общих рекомендаций, которые желательно выполнять для достижения требуемого качества процесса и достижения требуемой толщины и равномерности покрытия:

- предварительный процесс плазменной обработки;
- предварительный процесс смачивания (увлажнения) пластины;

Этапы предварительной обработки плазмой или удаления органических загрязнений рекомендованы во всех случаях, кроме тех, когда в данном процессе нет необходимости или кислородная плазма может каким-либо образом повредить пластине или подложке. Цель данного процесса – создание легко смачиваемой поверхности. Смачиваемость важна для пластин и подложек с уже сформированным рисунком. Также данный процесс полезен в целом, поскольку органические монослой легко образуются даже на самых чистых производствах.

Что касается стадии предварительного смачивания, то многие виды покрытий не требуют его, а некоторые не могут быть надежно завершены без него. Данный вопрос требует отдельного обсуждения и выходит за рамки этой статьи.

Давайте перейдем к вопросу о том, как добиться требуемой неравномерности покрытия.

Для начала рассмотрим основы неравномерности гальванического осаждения.

По сути, на равномерное осаждение металла внутри (в отверстиях) и на поверхности полупроводниковой пластины влияют два основных фактора:

- определение и контроль профиля электрического поля;
- установление и поддержание доступности катионов.

Из-за этих факторов различные гальванические системы могут значительно отличаться по своим характеристикам и возможностям создания тех или иных структур на пластине. Конструкция конкретной системы может существенно улучшить или ограничить достижимые характеристики по неравномерности. Простой пример – это система типа Wet Bench, добиться равномерности в которой можно в лучшем случае на уровне 10-15 %, что недопустимо на современном полупроводниковом производстве. Современные системы ECD специально разработаны для улучшения неравномерности (единицы процентов), что позволяет им по праву занять свое место на полупроводниковом производстве.

Что влияет на равномерность осаждения?

Профиль электрического поля – параллельность и радиальная симметрия.

Приложение потенциала к реакторной системе создает электрическое поле в ней. Это поле продвигает катионы – ионы металлов, которые вступают в реакцию с образованием металлического покрытия, к отрицательно заряженной пластине. Аналогичным образом происходит притягивание электронов к положительно заряженному аноду. Величина силы, которую испытывает ион, напрямую коррелирует с его близостью к электроду и током, подаваемым на электрод. Поскольку на аноде образуются положительные ионы, то они «отталкиваются» от него и притягиваются к пластине.

«Центр» между анодом и катодом (пластины) имеет решающее значение в архитектуре реактора. Статическая пластина, которая не идеально параллельна своему аноду, будет испытывать внутреннюю линейную неоднородность из-за механической близости. Эту ошибку можно исправить только более жесткой механической конструкцией.

Если статическое положение пластины способно значительно увеличить такую ошибку, то при вращении системы может возникнуть нарушение радиальной симметрии, а это простая геометрическая функция, и ее легко решить с помощью регулировки скорости вращения пластины. Таким образом, параллельность между пластиной и анодом имеет универсальное значение, так



3

Электрическое поле на полупроводниковой пластине. Источник: Electropolating Fundamentals: Optimizing Cross-wafer Uniformity by Cody Carter and John Ghekiere

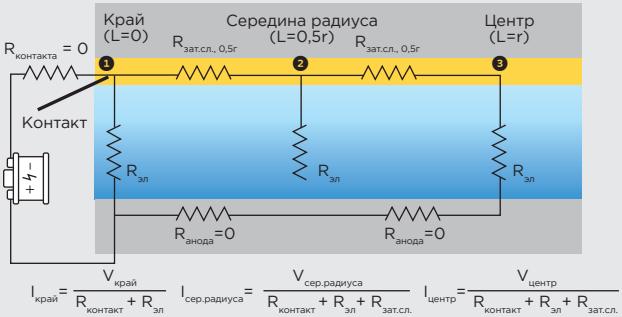
как процентная разница в этом расстоянии от одной стороны до другой приведет к аналогичному проценту разницы в величине поля и, следовательно, к другой скорости создания покрытия для данного радиуса. Однако при использовании врачающегося катода (пластины) эта разница в скорости нанесения покрытия становится геометрически радиальной, и это критически важно.

И так как все врачающиеся компоненты современного реактора по своей сути радиальные, то внесение поправок идеально скомпенсирует все возникающие ошибки (несовершенства покрытия). Поскольку все недостатки в отношении однородности радиальные, это означает, что математически существует внутреннее «выравнивание» между ошибкой и внесенной в систему поправкой. Таким образом, совершенство оборудования не является фундаментальным требованием для совершенства процесса. Если ECD-система оборудована механизмом вращения, то недостатки распределения плотности тока могут быть исправлены при помощи того или иного рецепта и не будут зависеть от точности обработки пластиковых деталей реактора.

Что дает «правильное» распределение плотности тока по пластине?

Пластина с отрицательным зарядом притягивает к себе катионы, как показано на РИС 3. Для катода электрическое поле распространяется перпендикулярно поверхности пластины в центре, постепенно изменяясь под углом к ее краю. Поскольку электрическое поле обладает кумулятивным эффектом всей заряженной поверхности, то в действительности его распределение является самым сильным по направлению к центру пластины. Без учета массопереноса, гидродинамики, формы реактора или времени процесса металлическое покрытие будет быстрее всего формироваться в центре и уменьшаться к краю пластины. Таково фундаментальное поведение электрического поля независимо от других явлений.

Как было установлено ранее, плотность тока определяет скорость осаждения. Таким образом, первое, что нужно сделать для получения равномерно сформированной тонкой пленки по всей пластине, – это обеспечить равномерное распределение электрического поля внутри реактора.



Источник: Electroplating Fundamentals: Optimizing Cross-wafer Uniformity by Cody Carter and John Ghekier

4

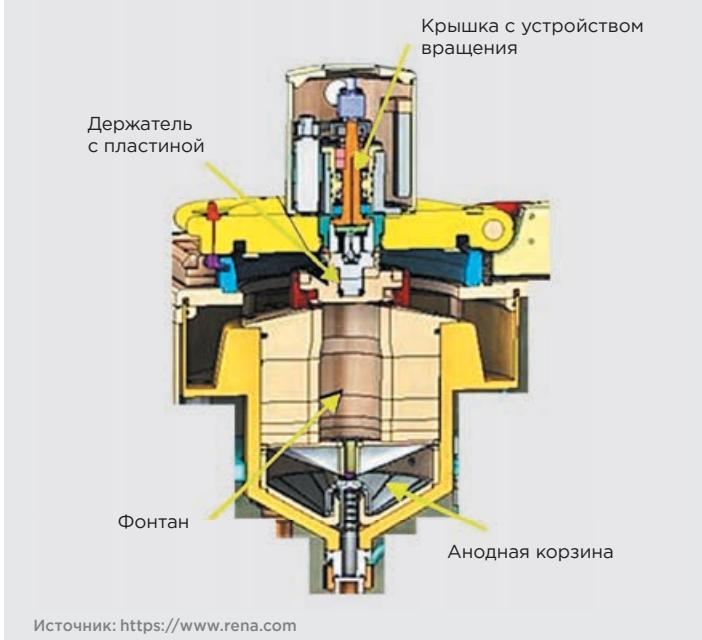
Распределение тока через пластину

На РИС 4 показана часть пластины, погруженная в электролит. Изображена полная электрохимическая ячейка, включая точки контакта, в которых ячейка электрически соединяется с затравочным слоем пластины. Затравочный слой необходим для проведения электрического тока по всем участкам пластины. На рисунке пластина представлена в трех значимых областях: край пластины (где ячейка устанавливается электрический контакт между источником питания и пластиной), средний радиус и центр пластины. Как говорилось в начале, закон Ома применим к электрохимическим элементам. Соответственно, плотность тока, возникающая в каждой точке пластины, которая должна быть одинаковой для достижения однородного покрытия, зависит от напряжения и сопротивления, характерных для каждого места.

Как видно на рисунке, край пластины ближе к электрическим контактам, чем середина радиуса, и гораздо ближе, чем центр. Следовательно, у края пластины будет меньшее сопротивление через затравочный слой, чем сопротивление в середине радиуса и, соответственно, чем на радиусе в центре пластины. Это связано с тем, что ток должен будет пройти через затравочный слой на расстоянии от края к центру.

Однако в действительности мы обнаруживаем, что фактическая разница в сопротивлении очень мала и, фактически, ничтожна, потому что стандартный затравочный слой достаточно толстый, чтобы его сопротивление вносило влияние в пределах всей длины. Таким образом, чтобы создать профиль электрического поля, способствующий равномерной плотности тока на пластине, необходимо обеспечить одинаковое напряжение во всех точках пластины. Другими словами, профиль поля, создаваемый реактором, должен иметь однородный потенциал по всему диаметру реактора.

Для очень тонких затравочных слоев или затравочных слоев, состоящих из материалов с высоким



5

Современный реактор

сопротивлением, пластина будет создавать градиент потенциала, который уменьшается по мере увеличения толщины металлического покрытия и падения его сопротивления. Этот динамический сдвиг градиента потенциала на таких пластинах может быть важным для некоторых процессов, но это отдельная тема.

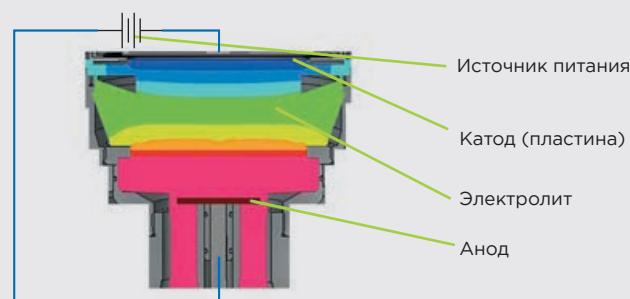
Кумулятивный эффект электрических полей означает, что простая эмпирическая проектная работа может привести к номинально-распределенному однородному электрическому полю. Современный ECD (РИС 5) может быть спроектирован так, чтобы обеспечить идеальную однородность для множества различных вариантов покрытий. Для этого реактор должен быть спроектирован с использованием вычислительного гидродинамического моделирования для обеспечения однородного распределения поля в месте расположения пластины внутри реактора (РИС 6).

Равномерное распределение электрического поля по пластине создает однородный потенциал на ней, а в случае замкнутой цепи – равномерно распределенный ток. Это и определяет равномерность создания металлического слоя на пластине.

Какой еще фактор нужно учесть при проектировании современного реактора?

Ответ – доступность катионов.

Наличие катионов – это еще один фактор, который необходимо учесть, чтобы обеспечить равномерное осаждение металла. Двумя наиболее важными эле-



Источник: Electroplating Fundamentals: Optimizing Cross-wafer Uniformity by Cody Carter and John Ghekiere

6

Профиль электрического поля в современном реакторе системы ECD

ментами являются концентрация катионов в объеме и доступность катионов в диффузионном слое.

На что влияет концентрация катионов в объеме реактора?

Гальванические процессы в полупроводниковом производстве дали толчок к развитию химической промышленности в данной области и созданию многообразия специализированных высоконадежных химических реагентов. Основным требованием является составление «правильной» химической смеси с учетом эффективных концентраций катионов с различными добавками, обеспечивающими стабильность при любом расходе и длительном сроке службы внутренней части реактора. Правильная конструкция реактора дает гибкость для получения результатов полупроводникового качества за счет применения промышленных химикатов для нанесения гальванических покрытий. Начав с необходимой концентрации катионов, которая поддерживает эффективное покрытие качественных металлических пленок, далее требуется поддержание этой объемной концентрации в пределах всего процесса и от процесса к процессу.

«Необходимость или достаточность»?

Доступность катионов на диффузионном слое
 Качественное гальваническое покрытие требует от системы такой работы в условиях недостатка электронов, чтобы скорость реакции ограничивалась и, таким образом, определялась скоростью потока электронов, то есть током. Опять же, согласно этому заявлению, электроны служат ограничивающим реагентом в реакциях, связанных с осаждением. Учитывая этот практический взгляд на «поставку» электронов, становится понятно, что катионы служат избыточным реагентом для той же реакции. Однако учитывая возможность изменения условий на

самой пластине, этого нельзя допускать по всей поверхности пластины. Действительно, запас катионов в пределах указанной концентрации данного реактора недостаточен для обеспечения необходимого количества катионов в любое время на поверхности пластины, по всей пластине и внутри пластины.

Причина, по которой данное требование не может быть выполнено, заключается в переносе массы, который относится просто к движению данного материала из одного места в другое. Массоперенос – строгое движение водных катионов металлов к заданной точке восстановления на поверхности пластины, поскольку это является необходимым для скорости нанесения покрытия и, следовательно, для однородности. На скорость массообмена в системе влияют несколько факторов. Рассмотрим их далее.

На простейшем уровне качественное перемешивание в объеме электролита необходимо по ряду причин, не последней из которых является поддержание гомогенности электролита. Поэтому в большинстве ECD-реакторов предусмотрено активное перемешивание электролита с акцентом на турбулентный поток на поверхности пластины. Чаще всего электролит рециркулирует через реактор из резервуара, так что небольшой процент электролита, истощенного в реакторе в результате осаждения, пополняется за счет обильного запаса, поддерживаемого до заданной концентрации, и добавлением соответствующих реагентов – аддитивов.

Перемешивание хотя и необходимо для поддержания однородной массы раствора при заданной концентрации, но недостаточно для точного контроля наличия катионов на реальной поверхности пластины из-за возможности диффузионных различий по пластине.

Диффузионный слой

Когда «вязкая» жидкость движется по поверхности с некоторой скоростью, она создает профиль движения, при котором скорость асимптотически уменьшается от индуцированной скорости массы до нулевой скорости относительно реальной поверхности. Слой жидкости, которая замедляется из-за этого эффекта, называется пограничным слоем. Толщина пограничного слоя зависит, среди прочего, от скорости жидкости и ее турбулентности. Более высокая скорость и ламинарный поток создают более тонкий пограничный слой. Хотя ламинарный поток способствует более тонкому пограничному слою, он становится турбулентным, когда дальше течет по поверхности и встречает какие-либо неровности, например, рисунок структур. Турбулентный поток хотя и создает более толстый пограничный слой, менее подвержен завихрениям, создаваемым элементами на поверхности.

Для эффективного нанесения покрытия желательен как можно более тонкий пограничный слой,

чтобы обеспечить объемную концентрацию катионов ближе к поверхности пластины. Однако физика подсказывает, что в конечном итоге будет «застойный» слой некоторой толщины, через который катионы должны проходить за счет чистой диффузии, которая намного медленнее, чем конвекция и перемешивание. В электрохимии определяющим термином для этого слоя является диффузионный слой Нернста, который представляет собой «область вблизи электрода, где концентрации (ионов) отличаются от их значений в объеме раствора»¹.

Катионы должны перейти из области однородной объемной концентрации через диффузионный слой, который является «застойным», на поверхность обрабатываемой пластины, чтобы там участвовать в катодных реакциях. Это движение называется диффузией, и время, необходимое катионам для прохождения диффузионного слоя, существенно для равномерного осаждения. «Скорость» данного катиона через диффузионный слой постоянна в рамках контролируемого процесса нанесения покрытия. Другими словами, катион определенного состава перемещается через диффузионный слой с заданной скоростью, определяемой его конкретным коэффициентом диффузии. То есть общее время, необходимое для прохождения данного катиона через диффузионный слой, напрямую зависит от толщины диффузионного слоя.

Поскольку толщина диффузионного слоя практически ограничена (не может быть меньше нуля), его толщина будет асимптотически приближаться к некоторому минимальному значению. Обеспечение однородного и тонкого пограничного слоя способствует тому, что катионы проходят через диффузионный слой за одно и то же время, таким образом поддерживая одинаковую скорость осаждения во всех местах и равномерно создавая слой тонкой пленки по всей поверхности пластины. Если диффузионный слой не имеет однородной толщины во всех местах, то время, необходимое для достижения поверхности пластины, будет больше, если диффузионный слой толще, и короче, если он тоньше. Таким образом, неоднородный профиль скорости жидкости на поверхности пластины приведет к неравномерной скорости диффузии и, следовательно, к неоднородному слою покрытия.

Отсюда следует, что реактор для нанесения покрытия на полупроводниковую пластину в целях равномерного осаждения должен обеспечивать равномерный профиль движения жидкости по пластине. Для современного ECD-реактора типично,

химические вещества рециркулируют через камеру, и критически важно решить проблему движения пластины, которая оказывает одно из основных влияний на однородность создаваемой тонкой пленки. Следует отметить, что некоторые конструкции ECD-систем, предлагаемые рынком, не учитывают этот ключевой фактор.

Движение и поток электролита. Насколько важны эти два параметра?

Скорость электролита относительно поверхности пластины должна быть довольно высокой, чтобы образовался тонкий диффузионный слой, и чтобы время, необходимое для диффузии катионов к поверхности, не было таким большим, чтобы сдерживать реакции осаждения. В противном случае катионы могут стать ограничивающим реагентом в каких-то областях вокруг пластины.

Для некоторых процессов, где подвижность катиона очень высока, создание «достаточно тонкого» диффузионного слоя может быть достигнуто простым созданием высокой скорости химического вещества по поверхности пластины. Современные медные полупроводниковые электролиты – хороший тому пример. Ион меди относительно быстро диффундирует через диффузионный слой в отличие от комплексного иона золота, что очень важно при выборе оборудования, поскольку это фундаментальный аспект архитектуры системы.

Стационарные системы пластин требуют компромисса между скоростью нанесения покрытия и однородностью. При прохождении через систему с высокой скоростью турбулентные потоки взаимодействуют с пластиной. Типичная конфигурация таких систем состоит в том, что химические вещества поступают из нижней части камеры, перемещаются вертикально по поверхности пластины и каскадом выходят наверх камеры. В результате профиль потока изменяется от точки доставки к другому концу пластины. Достигается хорошее перемешивание, диффузионный слой истончается, но турбулентный поток по своей природе неоднороден, и диффузионный слой будет иметь разную толщину по всей пластине. Турбулентный поток приведет к высокой скорости нанесения покрытия, поскольку номинальная толщина диффузионного слоя будет низкой; однако осаждение не будет равномерным. Таким образом, достигается высокая скорость нанесения покрытия, но за счет плохой однородности. Замедление потока приведет к более равномерной относительной скорости жидкости, но создаст более толстый диффузионный слой. Это дает относительно однородное осаждение, но накладывает ограничения на скорость нанесения покрытия.

В качестве альтернативы статическая пластина может быть ориентирована горизонтально – сторона

¹ IUPAC. Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the «Gold Book»). Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford (1997). Online version (2019-) created by S. J. Chalk. ISBN 0-9678550-9-8. <https://doi.org/10.1351/goldbook>.

покрытия пластины обращена вниз в поток электролита. В такой ориентации номинальный вектор электролита встречает пластину перпендикулярно. Это помогает отменить некоторые ограничения пути потока снизу-вверх в статических вертикальных гальванических ячейках, но все же не устраняет недостатки, связанные с толщиной диффузионного слоя, обусловленные профилем потока, создаваемым конструкцией камеры. Такая камера, вероятно, потребует очень сложной конструкции для улучшения профиля потока и чрезвычайной точности в размерных элементах сборки. Тем не менее, компромисс между высоким расходом и однородной относительной скоростью жидкости все равно останется. Даже при больших затратах на проектирование и производство оптимального единообразия добиться не удастся.

Давайте рассмотрим одну из самых интересных степеней свободы при оптимизации гальванического процесса в современном ECD-реакторе – движение пластины.

Для решения проблем с движением и потоком электролита можно воспользоваться преимуществами физики и согласовать профиль потока электролита с формой пластины, чтобы получить идеально радиальный профиль потока без чрезмерных затрат на конструкцию и изготовление реактора. Этого можно добиться, закрепив пластину специальными пинами, напоминающими булавки, или использовать прижимное кольцо, форма которого предварительно оптимизирована относительно гидродинамических процессов. Оптимизация держателя требует намного меньше затрат, чем оптимизация гидродинамических свойств всего реактора.

При вращении пластины используются преимущества сложной физики погруженного вращающегося диска. Глубина этой области исследований значительна и составляет основу большей части электрохимической аналитической науки, являясь тем «ноуха», которое у каждого производителя свое, ведь именно в этой области исследований затрачиваются основные усилия (знания, время и материальные средства). В таких исследованиях поток электролита принимается равным нулю, так как при вращающейся пластине он практически не оказывает влияния на создание тонкой пленки. По сути, электролит просто должен быть с постоянной концентрацией, т.е. обновляться во время процесса. При условии ограничения скорости процесса током для поддержания постоянной концентрации не требуется его сильного потока, поэтому данным параметром при аналитических расчетах можно пренебречь.

Выполняя роль вращающегося электрода, вращающаяся пластина действует крайне эффективно,



Источник: Electropolishing Fundamentals: Optimizing Cross-wafer Uniformity by Cody Carter and John Ghekiere

7

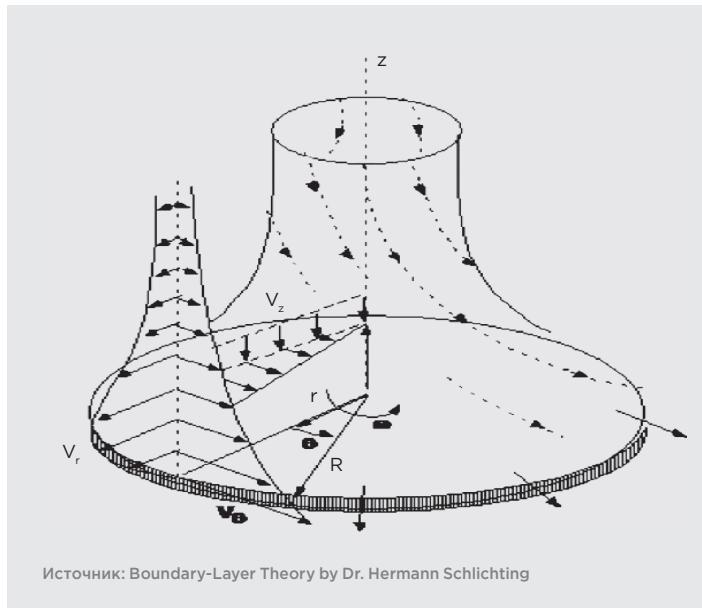
Поперечное сечение реактора, показывающее потоки электролита в реакторе

хотя насос по доставке электролита и является неэффективным. Поверхность вращающейся пластины, поскольку она погружена в жидкость, полностью ею покрыта. На РИС 7 изображена модель потоков, показывающая жидкую фракцию на поверхности пластины. Это означает, что жидкость полностью прикреплена к поверхности пластины во всех местах.

Значит любое вытеснение электролита из любой единицы площади пластины должно быть немедленно заменено в ее точном объеме дополнительным количеством электролита – условие осаждения («прилипания») металла. Поскольку пластина вращается, силы вязкости заставят жидкость двигаться радиально наружу по поверхности пластины, пока она не достигнет края, где будет выходить с поверхности. Конечно, это описание лишь кратко охватывает данное понятие. Для нас достаточно, что при вращении погруженной пластины движение жидкости по ее поверхности, вызванное центростремительной силой, вызывает смещение поверхностной жидкости.

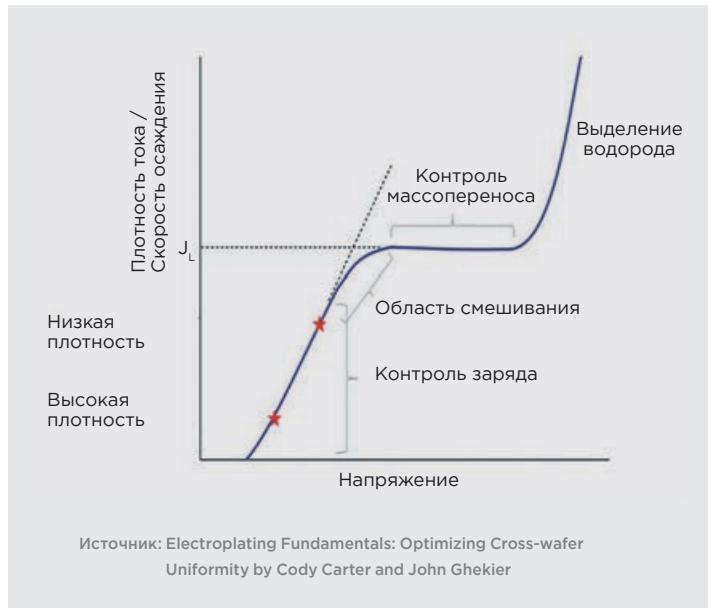
Что касается геометрии вращающейся пластины, можно представить себе область определенной ширины вокруг края пластины, которая выходит за ее край. Эта ширина не может быть полностью заменена на выходе из него таким же кольцом единицы ширины, примыкающим внутрь самого себя. Площадь соседнего кольца меньше. Но условие «прилипания» гарантирует мгновенную замену объема. Таким образом, дополнительный объем жидкости создается из основного объема. Экстраполируя это внутрь, от края к центру, можно увидеть, почему эффект усиливается, когда жидкость движется по всей пластине.

На РИС 8 иллюстрирована динамика жидкости из основополагающего текста «Теория пограничного слоя» доктора Германа Шлихтинга. Внутри объема образуется шлейф движения электролита. Можно видеть, что при образовании факела в номинально симметричной цилиндрической полости камеры образуется идеально радиальный профиль, идеально



8

Гидродинамика из теории пограничного слоя доктора Германа Шлихтинга



9

Зависимость напряжения от плотности тока

центрированный относительно оси вращения. Другими словами, движение пластины определяет профиль потока, который по своей природе настроен на равномерное распределение по поверхности пластины. Задача современного ECD-оборудования – иметь радиальную симметрию, которая не мешает тому, что в противном случае физика достигла бы совершенством. Современный гальванический реактор использует все описанные выше эффекты.

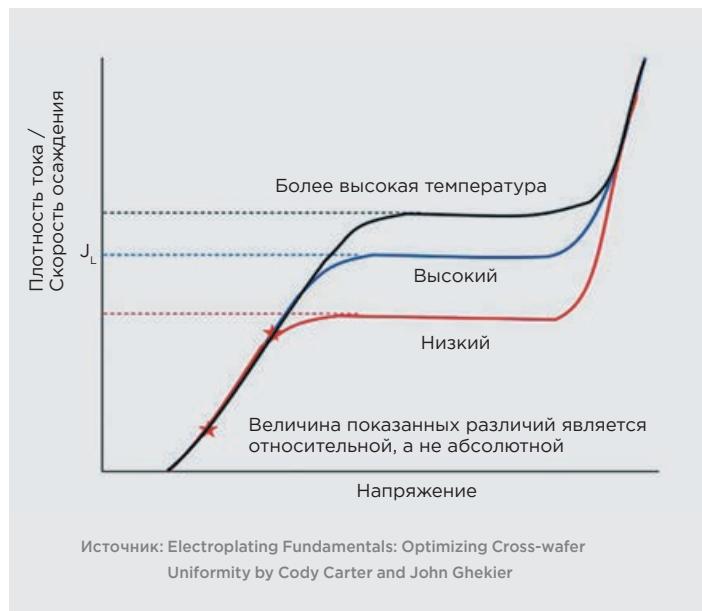
Теперь можно перейти к движению и потоку электролита.

Из рассказанного выше видно, что движение пластины чрезвычайно важно для определения влияния относительного движения жидкости на однородность плакированной пленки. Это не означает, что движение жидкости через гальваническую систему не важно. Однако вращение пластины снижает критичность профиля потока системы. В системе со статической пластиной многие факторы будут недоступны для настройки из-за архитектуры системы. Аппаратное обеспечение, определяющее профиль потока, либо не имеет возможности регулировки, либо имеет очень ограниченную возможность. Следовательно, единственный эффективный настраиваемый параметр – это общий расход. Для системы статических пластин скорость потока необходимо оптимизировать эмпирически, чтобы достичь баланса между однородностью и скоростью нанесения покрытия, и система будет чувствительна к изменениям фактической скорости потока электролита. Однако в системе, оборудованной для вращения пластины, сценарий протекания электролита через реактор принципиально

другой. В таких системах влияние скорости потока жидкости вторично по отношению к движению пластины и гораздо менее чувствительно в качестве регулирующего фактора. Обратите внимание, что для высококачественной системы ECD скорость потока, подаваемого в систему, может быть представлена из документации на оборудование и не требует никакой регулировки или точной настройки. В случае современных систем пользователь оборудования получит ряд данных процесса в качестве технологической поддержки, где будет указан стандартный расход электролита для такого процесса. Эти данные можно просто ввести в программное обеспечение оборудования без эмпирической проверки. Также немаловажной частью технологической поддержки является передача данных для установки оборотов, поскольку эффекты настройки являются точными и воспроизводимыми от системы к системе, учитывая, что любое незначительное изменение общего профиля потока будет преодолено физикой вращающегося диска.

Ограничение плотности тока и к чему это может привести.

Электролитическая ячейка, содержащая цепь, подчиняется закону Ома, который обычно определяет линейную зависимость между током и напряжением при заданном постоянном сопротивлении. Однако электролитическая ячейка добавляет ряд сложностей, которые изменяют эту линейную зависимость. Самая основная сложность – непреднамеренная электрохимическая реакция. По мере увеличения плотности тока скорость расхода катионов увеличивается. В какой-то момент катионов на поверхности стано-

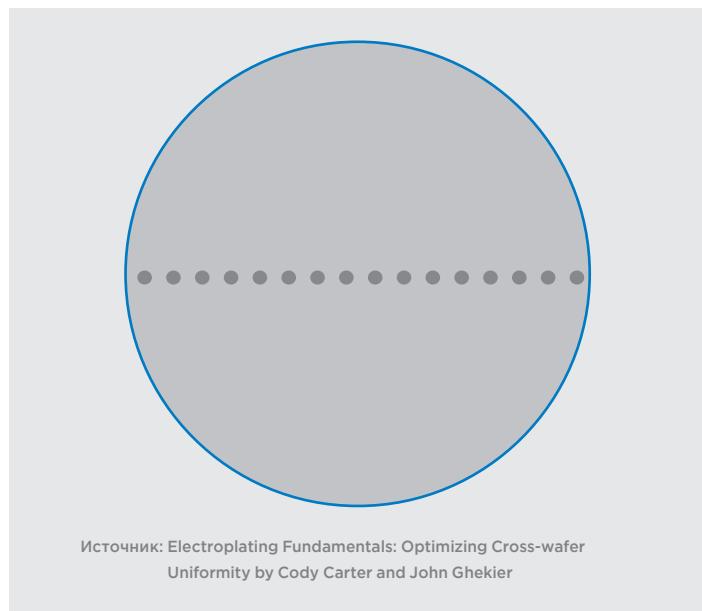


1 0

Изменение предельной плотности тока

вится недостаточно, поскольку скорость расходования приближается к скорости пополнения. Система начинает отходить от своего надлежащего состояния с низким содержанием электронов и, если катионы недоступны в изобилии, электроны начнут взаимодействовать другими способами, инициируя побочные реакции, которые приводят к образованию слоев низкого качества.

Как показано на РИС 9, это приводит к тому, что линейная зависимость напряжения от тока становится плоской. Эта точка, известная как предельная плотность тока или LCD (limiting current density), характеризуется постоянной плотностью тока несмотря на возрастающее напряжение. Возвращаясь к закону Ома, мы понимаем, что сопротивление системы теперь увеличивается. Точка, в которой достигается LCD, зависит от нескольких факторов, и можно переключить LCD на более высокую или более низкую плотность тока, регулируя различные параметры. Как показано на РИС 10, повышение температуры электролита и/или перемешивание жидкости на поверхности пластины может увеличить плотность тока, при которой достигается LCD. Температура увеличивает кинетику реакции нанесения покрытия. Перемешивание истончает диффузионный слой, тем самым увеличивая эффективную скорость пополнения катионов в диффузионном слое. Точно так же увеличение концентрации катионов в объеме раствора может увеличить доступность катионов в диффузионном слое. Во всех случаях настройки возвращают процесс обратно в состояние недостатка электронов, перемещаясь обратно в область контроля заряда.



1 1

Пример сканирования диаметра пластины

Как же все-таки обеспечить однородность по пластине?

Обратите внимание: данные результаты и информация относятся к равномерному нанесению покрытия на пластине с затравочным слоем.

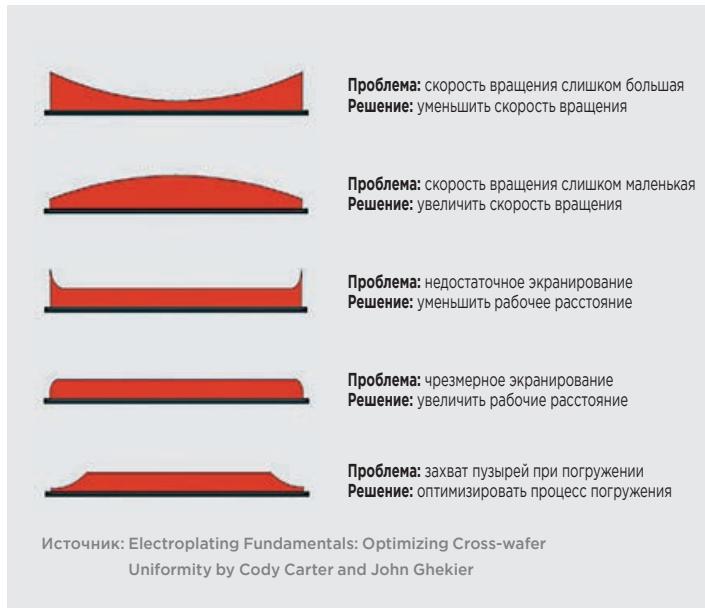
Для конкретных рекомендаций по гальваническим реакторам в начале следует изучить более общее руководство для простых горизонтально ориентированных систем гальваники на одной пластине. Если используемая система является новой или пользователь не знаком с ней, то сначала следует установить функциональную отправную точку, при которой система будет эксплуатироваться в соответствии с требуемым процессом. Для этого необходимо провести ряд пробных процессов и измерений.

Лучшей схемой измерения толщины для оптимизации однородности по пластине обычно является сканирование диаметра (РИС 11), которое представляет собой линию измерений, начинающуюся с одной стороны пластины и переходящую к другой, часто с более высокой плотностью по направлению к краю пластины, где возможно больше отклонений.

На РИС 12 показаны типичные профили сканирования диаметра пластины и приведены рекомендации по устранению проблем, которые могут быть обнаружены.

Чтобы обеспечить однородность осаждения тонкой металлической пленки по пластине в современных ECD необходимо обеспечить следующее:

1. Должен быть доступный на оборудовании документ или файл с записью процесса, который содержит четкое определение отправной точки.



Источник: Electroplating Fundamentals: Optimizing Cross-wafer Uniformity by Cody Carter and John Ghekiere

1 2

Типичные профили сканирования диаметра

2. Ключевыми факторами для установления однородности по пластине являются профиль электрического поля и профиль потока жидкости. Оба они легко оптимизируются с помощью интуитивно понятных настроек в программном обеспечении.
3. Настройте рецепт в соответствии с поставленной задачей и проверьте возможности системы:
 - › контроль движения жидкости относительно пластины;
 - › контроль вращения (статические системы, где невозможно вращение во время нанесения покрытия, будут иметь существенные ограничения для достижения хороших показателей однородности, в таких системах улучшения неоднородности можно достичь только за счет снижения скорости нанесения покрытия);
 - › управление профилем электрического поля (настройка через физический диффузор или с использованием нескольких независимо управляемых анодов).

Далее следует соблюдать следующие рекомендации.

1. Погружение

Убедитесь, что пластина полностью погружена в химический состав для нанесения покрытия, когда находится в положении для нанесения покрытия. Обратите внимание, что в некоторых системах пластина погружается по-настоящему горизонтально, без возможности наклона во время смачивания. Это может задержать воздух на пластине и

привести к неравномерному нанесению покрытия. Такие системы обычно требуют многократного увеличения и уменьшения потока для удаления пузырьков. Если система поддерживает наклон во время смачивания, необходимо провести эмпирическое тестирование, чтобы подтвердить погружение без пузырьков. Если система не поддерживает наклон во время погружения, но поддерживает вращение пластины, увеличение и уменьшение скорости вращения пластины может привести к удалению пузырьков.

2. Расход химии и скорость вращения

В идеале должна быть сформирована запись «наиболее известного» расхода для системы и конкретного процесса, либо надо следовать следующим рекомендациям:

- › Для формирования покрытия из золота: медленно вращайте пластину (25-35 об / мин) и используйте более высокую скорость потока для системы.
- › Для большинства других металлов: относительно быстро вращайте пластину (~ 50-100 об / мин) и используйте умеренную скорость потока.
- › Для статических систем без вращения: расход – единственный вход, которым можно управлять. Как правило, чем выше, тем лучше.

3. Корректировка процесса при сравнении результата с Рис 1 2

- › Посмотрите на профиль плакированной пленки, сравните его с Рис 1 2 и внесите предлагаемые изменения.
- › Быстрое увеличение толщины на расстоянии ~ 10 мм от края вероятнее всего вызвано слишком слабым экранированием для компенсации скопление тока. В таком случае его нужно отрегулировать по положению ближе к пластине. Если экран не регулируется, то поможет изменение положения пластины – она должна быть ближе к экрану.
- › Быстрое уменьшение толщины внешних 10 мм пластин может иметь одну из двух причин:
 - пузырьки, застрявшие в результате погружения: скорректировать угол погружения пластины (если возможно) или кратковременно увеличить скорость вращения;
 - слишком близко располагается экран к пластине. Чтобы исправить это, измените расстояние.
- › Если центр профиля толстый и «куполообразный»:
 - если регулировка поля возможна – уменьшите плотность тока в центре;



Источник: <https://www.rena.com>

1 3

Современная ECD-система для R&D RENA EPM



Источник: <https://www.rena.com>

1 4

Современная ECD-система для серийного производства RENA EPA

- если настройка на месте невозможна, увеличьте скорость вращения на ~10-20 об / мин.
- Если центр профиля тонкий:
 - если регулировка поля возможна – уменьшите плотность тока по краю пластины;
 - если настройка на месте невозможна, уменьшите скорость вращения на ~10-20 об / мин.

Все вышеописанные рекомендации необходимо выполнять для каждого процесса, которых бесчисленное множество благодаря вариативности размера пластин, типам получаемой металлической пленки и, конечно же, многообразию конечного продукта.

Создание гальванического покрытия, на первый взгляд, – это крайне простой процесс, а гальваническая ячейка (ECD-реактор), по сути, – просто ванна с электролитом и электродами, подключенными к источнику питания. Причем на одном из электродов располагается пластина, на которой происходит формирование металлической плёнки. На протяжении нескольких десятилетий простейшего ECD-реактора в виде электролитической ванны было достаточно для формирования практически любых металлических покрытий. Но технологии развиваются, и возникают новые требования к самому процессу и к качеству покрытия (его плотности и однородности). С появлением процессов производства микроэлектронных изделий, использующих глубокие или сквозные отверстия, технологи на полупрово-

дниковом производстве оказались в тупике, так как ни одна электролитическая ванна даже с функцией покачивания пластин, перемешивания электролита и «умными» источниками питания не могла обеспечить заполнение таких отверстий. Еще одной проблемой для технологов стало требование по равномерности покрытия на больших поверхностях (на пластинах 200 и 300 мм), что тоже оказалось невыполнимо в простой электролитической ванне.

Решением стал современный ECD-реактор, обработка в котором ведется по одной пластине, причем с ее вращением. Именно такая конструкция позволила добиться необходимой однородности покрытия по большой площади и даже в отверстиях с аспектным соотношением 1:10 и диаметром 20 мкм.

Конечно, современные системы упростили ряд процессов гальванического осаждения для простого применения и стали серьезным помощником технологов на производстве микроэлектроники. Но чтобы добиться идеальной равномерности покрытия, необходимо потратить время для настройки реактора в современной ECD-системе (РИС 1.3 и 1.4) и подбора правильного рецепта, и с этими задачами технологам придется справлять самим. ■

В статье использованы материалы:

1. Advanced Semiconductor Plating – Key Fundamentals by Cody Carter and John Ghekiere
2. Electroplating Fundamentals: Optimizing Cross-wafer Uniformity by Cody Carter and John Ghekiere
3. Boundary-Layer Theory by Dr. Hermann Schlichting
4. <https://www.rena.com>
5. <https://www.lamresearch.com>

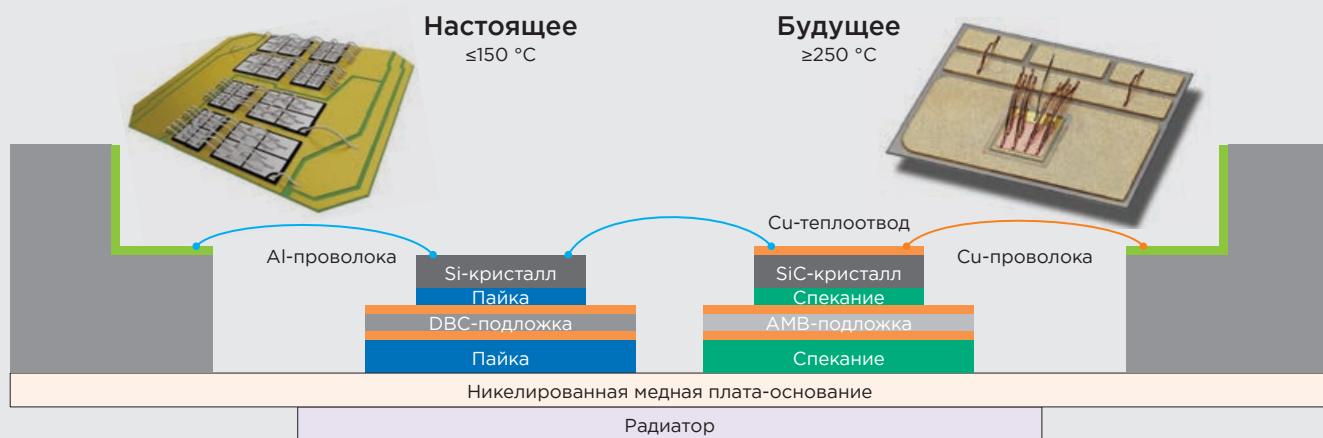
Монтаж кристаллов по технологии синтеринга для производства элементов и модулей силовой электроники

Текст: Владимир Иванов
Франческо Уголини

”

Спекание (синтеринг, от англ. sintering) серебра (Ag) – перспективный метод для создания бессвинцового соединения, обеспечивающего более высокие рабочую температуру, теплопроводность и электропроводность, чем у припойных паст и других материалов из бессвинцовых сплавов. В полупроводниковых силовых модулях материал для монтажа кристаллов на диэлектрическую подложку играет существенную роль.

В статье мы обсудим современные материалы, применяемые в производстве силовых элементов. Рассмотрим пример спекания частиц Ag при низком давлении на медной (Cu) подложке, на кристалле карбida кремния (SiC) и между ними. Опишем процесс монтажа кристаллов с помощью синтеринга для серийного производства силовых модулей и дадим оценку его качества. Также мы представим оборудование, необходимое для синтеринга и оценки качества процесса. Спекание способно успешно заменить пайку во многих практических применениях, обеспечивая при этом гораздо более высокую и долговременную стабильность рабочих характеристик.



Сравнение пайки и спекания



<65 Вт / м · °C

Теплопроводность паяных соединений подходит для ряда стандартных применений



221 °C SnAg 3.5

Паяные соединения на основе олова (Sn) плавятся в диапазоне температур от 217 до 240 °C и это предельные рабочие значения



0,86 при 150 °C

Коэффициент соответствия = $T_{\text{раб}} / T_{\text{плав}}$
При значении > 0,4 металлы расслаиваются из-за ползучести



135 000

Количество циклов на отказ при термотренировке
 $t_{\text{вкл}} = 1 \text{ с}, t_{\text{выкл}} = 2 \text{ с}, T_{\text{макс}} = 150 \text{ °C}$



>200 Вт / м · °C

Высокая теплопроводность соединений полученных спеканием приводит к лучшему отводу тепла во время работы



961 °C

Спеченное Ag имеет более высокую температуру плавления, но само спекание происходит при температурах, сравнимых или даже ниже, чем при пайке



0,34 при 150 °C

Ползучесть Ag ниже и соединение способно выдерживать более серьезные механические нагрузки при рабочих температурах



245 000

Условия испытаний те же.
Количество циклов на отказ выросло почти в 2 раза

1

Переход к сборке силовых модулей высокой мощности

Буквально за последнее десятилетие появилось несколько технологий монтажа кристаллов для сборки надежных высокотемпературных силовых модулей (температура p-n-перехода свыше 175 °C). Некоторые из них основываются на применении дорогостоящих золотых припоев, таких как золото-германий (AuGe) и хорошо известный золото-олово (AuSn), другие используют силы Ван-дер-Ваальса, третьи делают ставку на сплавы и припои олово-сурьмы (SnSb) с повышенным содержанием Sb. В целом выбор пал на проверенные и надежные материалы, это вызвано тем, что внедрение и коммерциализация любой новой технологии является сложным процессом и надежнее стартовать с готовыми наработками.

Ag используется для монтажа полупроводниковых кристаллов с 90-х годов прошлого века, а высокая надежность Ag-соединений и их хорошие электромеханические свойства были известны еще раньше. Однако широкому применению препятствовала необходимость использо-

вания специального оборудования и низкая пригодность для массового производства по причине высокой температуры плавления Ag. Поэтому технология синтеринга не одно десятилетие исследовалась и обсуждалась на международных конференциях задолго до внедрения в производство.

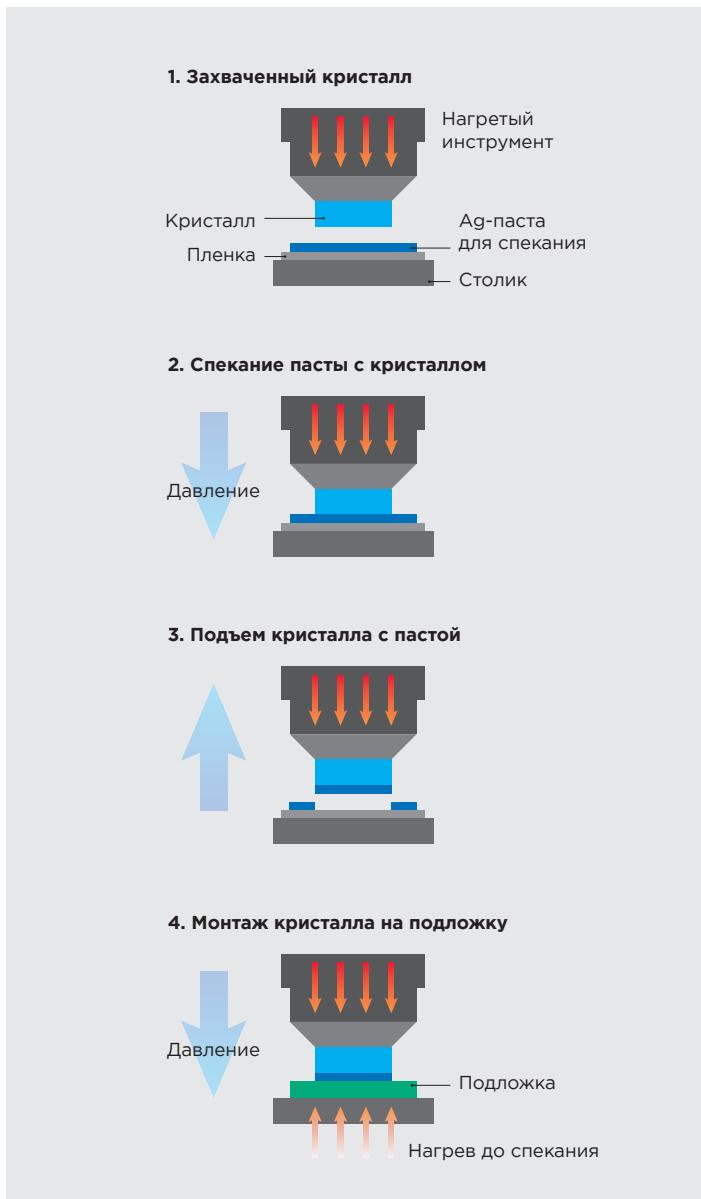
Увеличение энергоэффективности требует повышения скоростей преобразования электроэнергии при хорошей устойчивости к высокому напряжению и применения материалов с высокой коммутационной способностью. Силовые элементы на основе материалов с широкой запрещенной зоной (WBG – Wide Band Gap), таких как нитрид галлия (GaN) и карбид кремния (SiC), были исследованы на предмет уменьшения размеров и повышения эффективности преобразования энергии¹. В первую очередь это

¹ N. Kaminski, SiC and GaN devices—competition or coexistence, IEEE Cips. 393. 2012. Стр. 1-11



2

Выигрыш в массогабаритных показателях, достигнутый за три года за счет внедрения полупроводниковых элементов на базе SiC, на примере инвертора. Источник: ROHM Semiconductor



3

Принципиальная схема процесса монтажа кристалла с применением Ag-пасты в виде пленки по технологии синтеринга на установке монтажа кристаллов

вызвано тем, что материалы с WBG обладают высокой электроизоляцией и отлично подходят для повышения эффективности силовых модулей (рис 1). WBG обеспечивает работу силовых модулей при температурах выше 250 °C², но возникают проблемы в соединении между кристаллом и подложкой, необходимо обеспечить прочность, высокую электро- и теплопроводность.

Обязательно следует подчеркнуть, что переход на SiC позволяет снизить массу и габариты силовых модулей почти в два раза (рис 2).

Также важное преимущество SiC перед Si – высокая теплопроводность, существенным критерием является коэффициент теплового расширения (КТР). Некоторые значения КТР для материалов, применяемых в силовых модулях, представлены в табл. 1. КТР напрямую влияет на теплоотвод и прочность соединения, поскольку при нагреве могут возникать повреждения и пустоты, особенно в слоях материалов между кристаллом и подложкой, поэтому кристаллы для синтеринга должны иметь металлизацию на поверхности соединения с подложкой. Это, как правило, три слоя – слой титана (Ti), слой никеля (Ni) и слой Ag (крайне редко Au), но может быть и два – Ti и Ag.

После монтажа осуществляется сварка кристалла и выводов подложки проволокой, которая тоже играет свою роль и в отводе тепла. Для силовых модулей на базе Si-кристаллов применяют толстую алюминиевую (Al) проволоку или ленту, теплопроводность Al составляет около 2 Вт / см² · °C. Для силовых модулей на базе SiC-кристаллов используется либо чистая, либо покрытая Al толстая Cu-проводка, ее теплопроводность составляет около 4 Вт / см² · °C и при этом ее электропроводность тоже лучше. Учитывая, что самые ходовые в производстве силовых модулей это Cu-подложки, очевидно, что применение Cu-проводки дает целый ряд преимуществ.

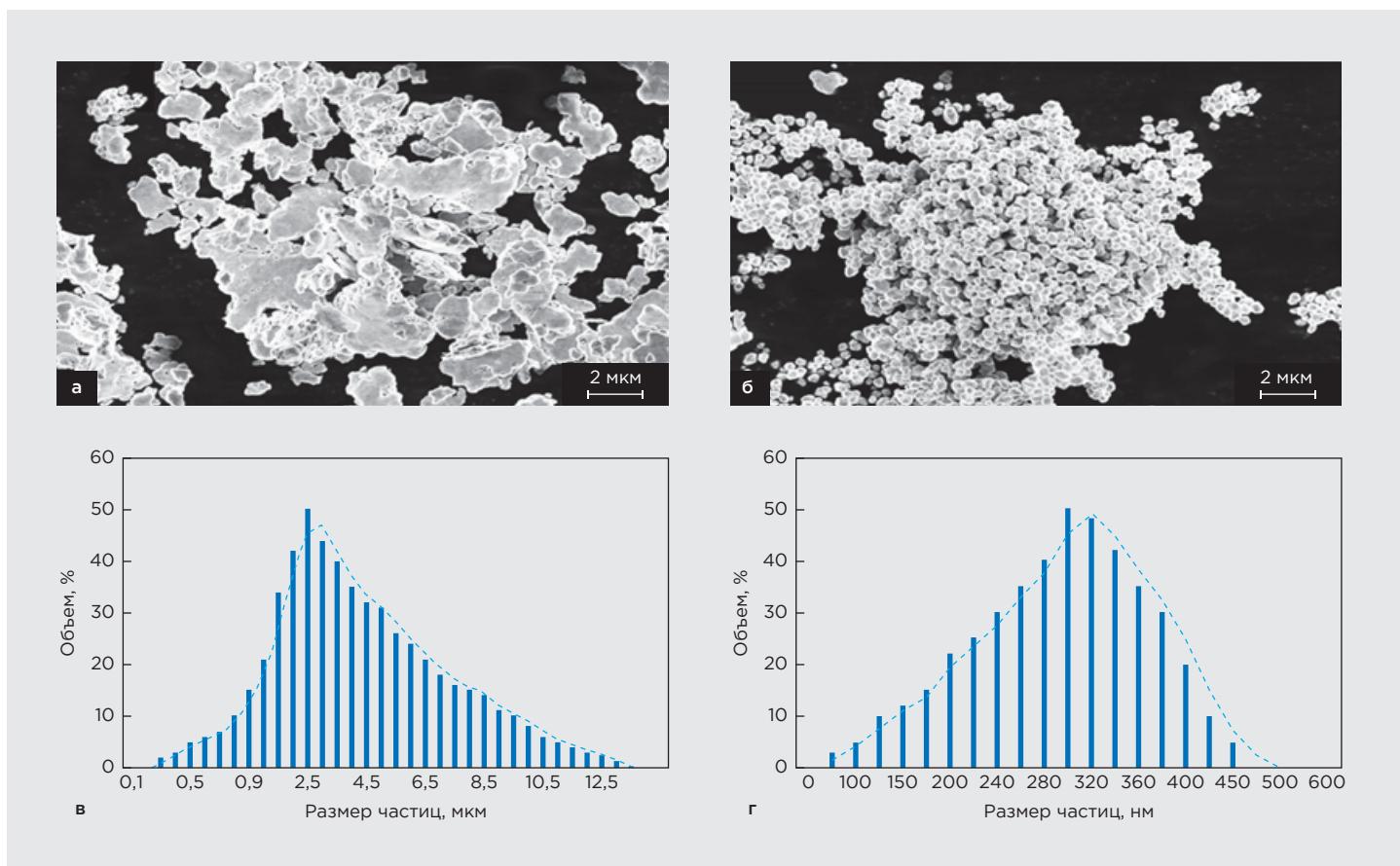
При высокой рабочей температуре припои из бессвинцовых сплавов ненадежны³, поэтому и возникла острая потребность в синтеринге Ag как альтернативном методе монтажа кристаллов^{4,5}. Есть три варианта монтажа кристаллов при помощи синтеринга Ag: на пасту, прямой с напылением Ag на контактных поверхностях и на фольгу (преформу). Фольга или напыленное Ag на поверхностях при спекании образуют интерметаллические соединения, но для обеспечения качества требуется высокое давление порядка 20 МПа и более, что может привести к повреждению кристалла или деформации подложки. Паста для синтеринга представляет собой смесь монометаллических частиц Ag размером менее 1 мкм с полимером и в данной

² P.R. Chalker, Wide bandgap semiconductor materials for high temperature electronics, Thin Solid Films. 343. 1999. Стр. 616-622

³ H.S. Chin, K.Y. Cheong, A.B. Ismail, A review on die attach materials for SiC-based high-temperature power devices, Metal. Mater. Trans. B. 41. 2010. Стр. 824-832

⁴ K.S. Siow, Mechanical properties of nano-silver joints as die attach materials, J. Alloy. Compd. 514. 2012. Стр. 6-19

⁵ T. Wang, X. Chen, G.-Q. Lu, G.-Y. Lei, Low-temperature sintering with nano-silver paste in die-attached interconnection, J. Electron. Mater. 36. 2007. Стр. 1333-1340

**Т 1**

КТР различных материалов

МАТЕРИАЛ	Si3N4	Si	SiC/GAN	Ti	Ni	СПЕЧЕННОЕ AG	CU
KTP, $10^{-6} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	3,3	2,8	4,2	8,9	13,0	19,5	16,9

статье мы рассмотрим применение пасты, в том числе в виде пленки, и ее спекание при высоком давлении, а также вариант при низком давлении 0,4 МПа⁶.

Процесс монтажа кристаллов по технологии синтеринга с применением Ag-пасты в виде пленки

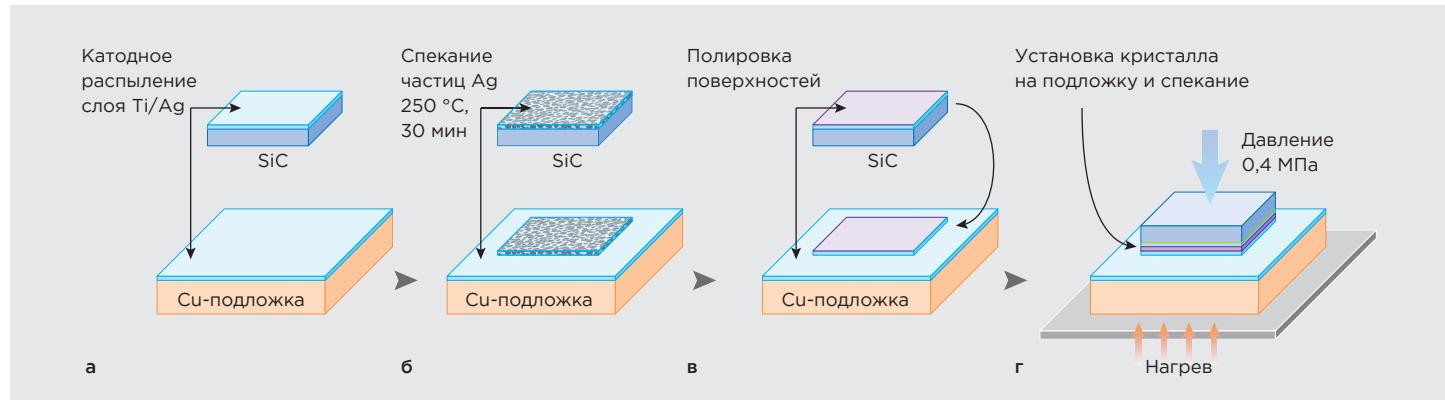
Различные материалы для монтажа кристаллов на пленочном носителе в наше время широко используются при производстве ответственных изделий, поскольку они обеспечивают равномерность нанесения материала на контактную поверхность кристалла. Скорость процесса монтажа с применением Ag-пасты для спекания на плен-

ке составляет около 2 мин при давлении от 5 до 10 МПа. Данный метод подходит для широкого спектра изделий, включая сборку силовых модулей, силовых дискретных устройств, тиристоров, мощных светодиодов и силовых СВЧ-устройств⁷.

Схема монтажа кристалла по технологии синтеринга с применением пасты в виде пленки представлена на РИС 3. Спекание кристалла и пасты с пленки (часто данный метод называют переносом или ламированием) удобно проводить на установке монтажа кристаллов с нагреваемым инструментом и столиком, способным осуществить захват пленки. А вот монтаж кристалла на подложку представляет собой единый принцип, но может

⁶ C. Chen, K. Suganuma, Solid porous Ag-Ag interface bonding and its application in the die-attached modules, J. Mater. Sci.-Mater. 29. 2018. Стр. 13418-13428

⁷ H. Yan, P. Liang, Y. Mei, H. Feng, Brief review of silver sinter-bonding processing for packaging high-temperature power devices, Chinese Journal of Electrical Engineering. 6. 2020. Стр. 25-34



5

Схема процесса монтажа кристалла: а – Си-подложка и SiC-кристалл покрыты слоем Ti/Ag; б – частицы Ag были напечатаны и спекались при 250 °C в течение 30 мин; в – механическая полировка поверхности спеченных частиц Ag; г – SiC-кристалл размещён на Си-подложке с последующим спеканием под давлением 0,4 МПа

осуществляются разными способами. Первый – спекание в специальном прессе для синтеринга при высоком давлении с нагревом пресс-формы и столика. Второй – спекание на установке монтажа кристаллов с нагреваемым инструментом и столиком.

Учитывая скорости процесса, применение установки монтажа кристаллов подходит для исследований, разработок (R&D) и мелкосерийного производства, также в производстве потребуется в зоне монтажа создавать инертную атмосферу с подачей азота (N₂), и возникают некоторые ограничения, связанные с обеспечением доступа для инструмента к кристаллу. В случае с прессом можно спекать групповые заготовки и есть конструкционные исполнения, когда сама пресс-форма и подложка с кристаллами располагаются в герметичной камере с напуском N₂.

Процесс монтажа кристаллов по технологии синтеринга при низком давлении

Синтеринг при низком давлении интересен для монтажа крупных кристаллов с большой площадью контакта. Подготовка к данному процессу имеет свою специфику и далее будет приведен конкретный пример и представлены его результаты.

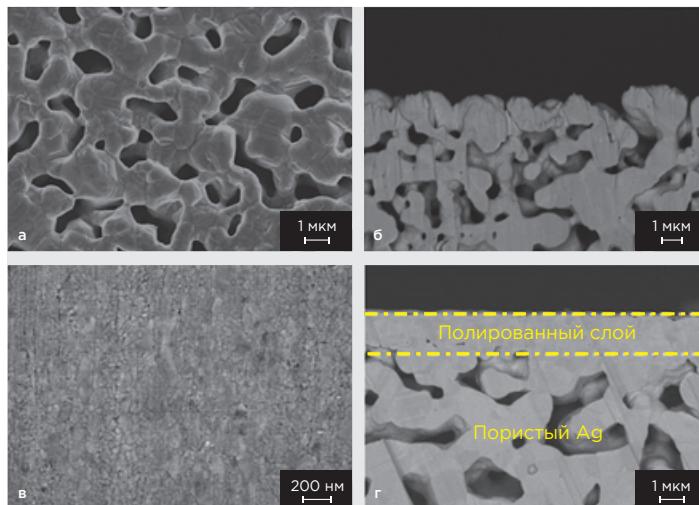
При подготовке пасты использовались два типа частиц Ag, их изображение, полученное с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ), продемонстрировано на РИС 4а, б. Один тип представляет собой частицы в форме хлопьев, которые имеют среднюю толщину 260 нм и средний диаметр 2,6 мкм, их распределение по объему показано на РИС 4в. Другой тип частиц Ag имеет сферическую форму со средним диаметром 300 нм и распределением по объему, как показано на графике (РИС 4г).

Частицы были равномерно перемешаны с массовым соотношением 1:1 в спиртовом растворе в ультразвуковой (УЗ) ванне в течение 30 мин. Затем частицы были смешаны в миксере с этиленгликолем с соотношением Ag к этиленгликолю 10:1.

Схема процесса монтажа кристалла с использованием смешанных частиц Ag показана на РИС 5. Во-первых, были подготовлены SiC-кристаллы размерами 3 × 3 × 0,5 мм; 6 × 6 × 0,5 мм; 10 × 10 × 0,5 мм и 15 × 15 × 0,5 мм. Также были подготовлены Си-подложки размером 20 × 20 × 1,5 мм. Далее поверхности кристаллов и подложек были покрыты слоем титана Ti (100 нм) и Ag (1 мкм) с помощью катодного распыления, как показано на РИС 5а. Распыленный слой Ag улучшит прочность связи на границах раздела между Си-подложкой, SiC-кристаллом и спеченными частицами Ag. Затем частицы Ag были нанесены методом трафаретной печати на подложки и кристаллы, затем они спекались с подложками и кристаллами при 250 °C в течение 30 мин при стандартных атмосферных условиях (РИС 5б). При спекании частицы Ag превращаются в твердотельную пористую структуру. После выполнения механической полировки поверхности абразивом (#4000) (РИС 5в) на твердотельной пористой структуре появился плотный поверхностный слой Ag толщиной около 2 мкм. После полировки SiC-кристаллы были установлены на Си-подложках, как показано на РИС 5г.

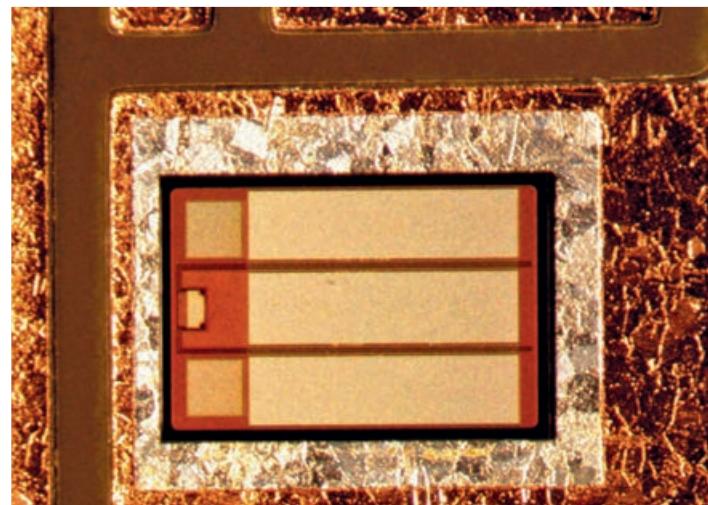
На следующем этапе сборка загружалась в пресс для синтеринга и спекалась под давлением 0,4 МПа при температуре 250 и 300 °C в течение 1 ч. На РИС 6а, б показана исходная поверхность и поперечное сечение спеченных частиц Ag. Поверхность выглядит как неровная пористая структура. А РИС 6в, г иллюстрируют полированную поверхность спеченных частиц Ag и ее поперечное сечение.

Полированная поверхность превратилась в сплошную объемную структуру Ag с мелким размером зерна около 100 нм, как показано на РИС 6в. Полированная поверхность имеет среднюю шероховатость 15,3 нм, толщина составляет около 2 мкм (РИС 6г). На РИС 7 показаны поперечные сечения границ раздела между SiC-кристаллом, Си-подложкой и спеченными частицами Ag, полученные на СЭМ. Спеченные частицы Ag с пористой структурой имеют хорошую адгезию с SiC-кристаллом и Си-подложкой.



6

Изображение поверхности спеченных частиц Ag (а) и их поперечное сечение (б), изображение после полировки поверхности (в) и поперечное сечение после полировки поверхности (г)



8

SiC-кристалл IGBT-модуля, смонтированный по технологии синтеринга.
Источник: AMX Automatrix srl.

Монтаж кристаллов с помощью синтеринга для серийного производства силовых модулей

Для силовой электроники на сегодняшний день самым перспективным материалом считается SiC, его уже повсеместно используют в серийном производстве силовых модулей на базе нескольких полевых МОП-транзисторов (MOSFET) или биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT)⁸. Например, компания Tesla, признанный передовой производитель электромобилей, одна из первых начала применять такие решения, а их последняя модель оснащена силовым инвертером, который включает 24 силовых модуля производства STMicroelectronics (Швейцария) на основе SiC.

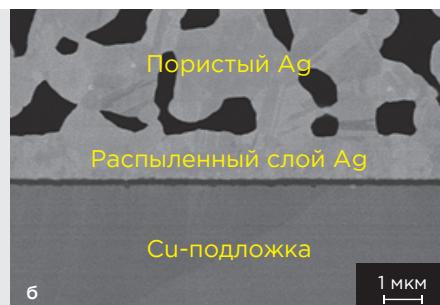
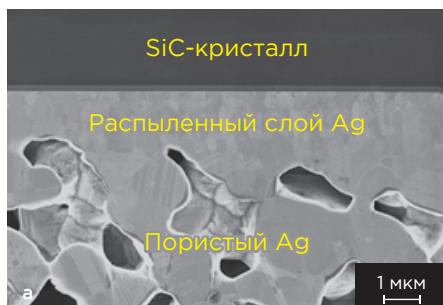
При серийном производстве в соответствии с формой и местоположением кристаллов применяют стандартные варианты нанесения Ag-пасты на подложку через шаблон или металлическую маску методом трафаретной печати. Потом подложки нагревают, чтобы испарить полимер, входящий в состав, и разместить кристаллы по местам монтажа. В серийном производстве процесс синтеринга проводят в инертной атмосфере для предотвращения окисления

металлических поверхностей, само спекание проходит под действием температуры и давления на кристалл.

Давление в процессе может достигать нескольких десятков МПа и преследует две цели. Во-первых, потребуется более низкая температура для соединения материалов, но при этом после спекания они смогут эксплуатироваться и при более высоких температурах. Во-вторых, снижается образование пустот, которые со временем вызывают расслоение и растрескивание связующего слоя между кристаллом и подложкой, что, в свою очередь, приводит к возникновению высоких токов и выходу модуля из строя. На рис. 8 представлен SiC-кристалл IGBT-модуля, смонтированный по технологии синтеринга.

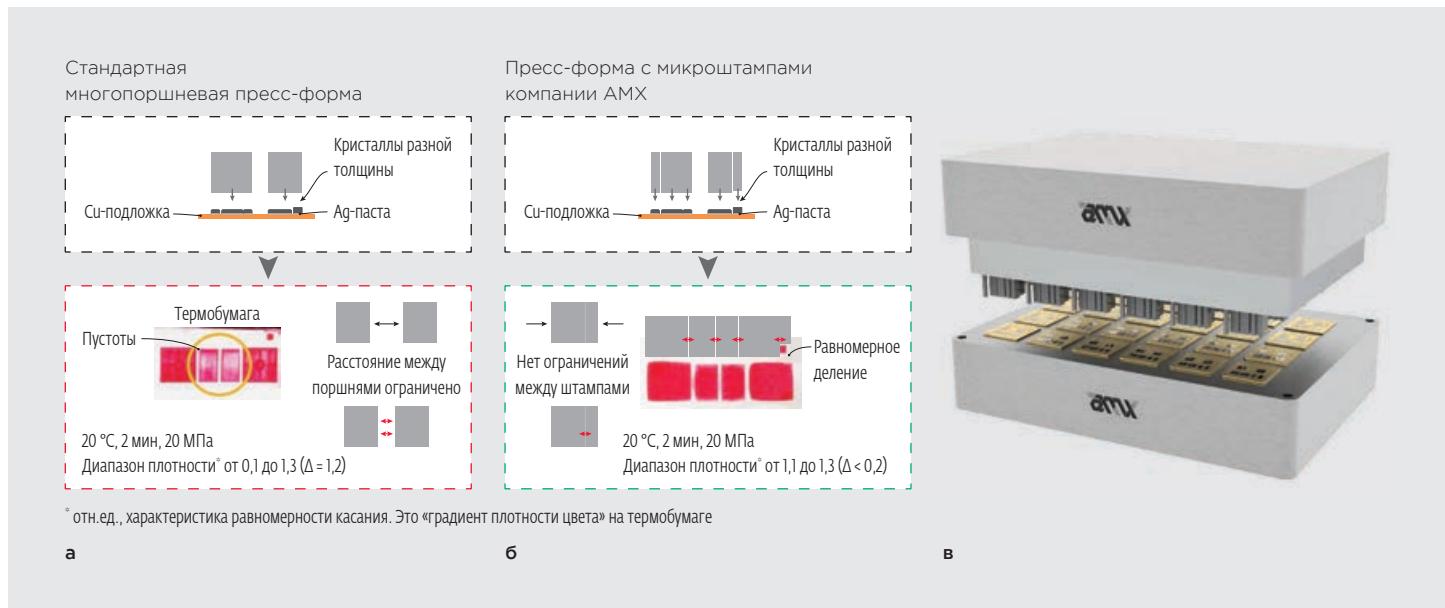
Большинство стандартных пресс-форм для синтеринга представляет собой единую конструкцию, однако толщина кристаллов будет варьироваться от партии к партии и менее тонкие кристаллы в итоге не будут качественно смонтированы. Даже использование многопоршневой пресс-формы, в которой реализована возможность оказывать давление на группы кристаллов на одной подложке, не решает проблему варьирования толщины кристаллов, поскольку контактная поверхность штампов всегда плоской формы. Уникальная конструкция пресс-формы для решения данной проблемы разработана и запатентована итальянской компанией AMX Automatrix srl.

⁸ J. Rhodes, J. Govier, Joining Forces: Sintered Die Attach, e-mobility technology international, Vol. 9. Summer 2021. Стр. 96–97



7

Поперечные сечения границ раздела между SiC-чипом и спеченными частицами Ag (а), Си-подложкой и спеченными частицами Ag (б)



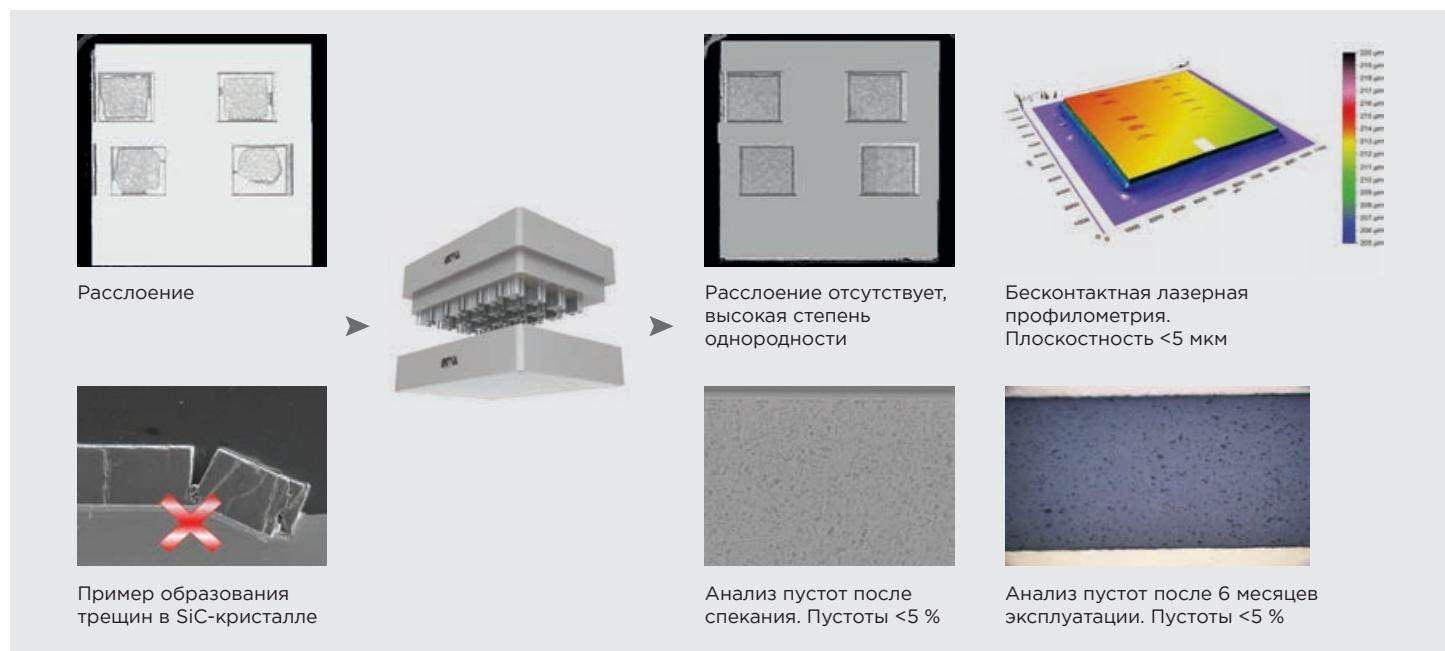
9

Оценка качества давления на кристаллы разной толщины на одной подложке многопоршневой прессформы (а); пресс-формы с микроштампами компании AMX (б); 3D-модель пресс-формы с микроштампами на 24 DBC-подложки (в)

(далее AMX)⁹, в ней для каждого кристалла предусмотрен свой штамп (РИС 9).

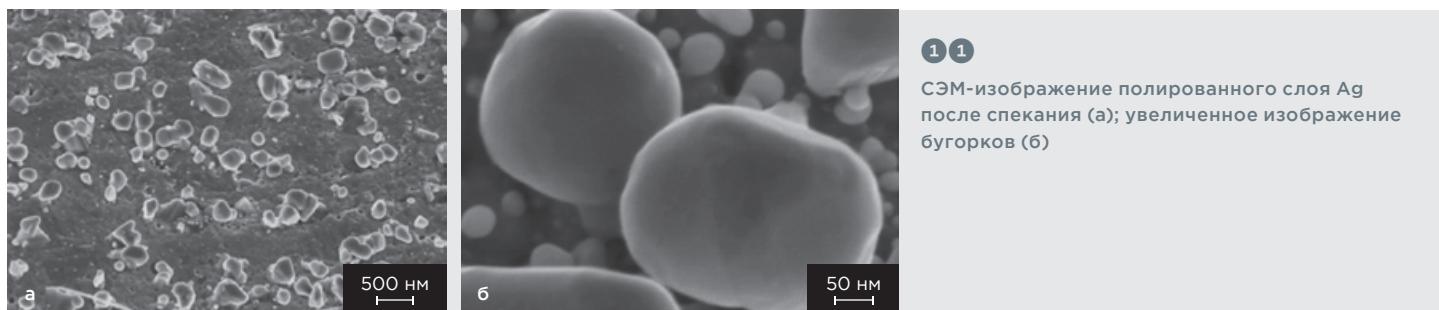
Самыми распространенными подложками для синтеринга являются DBC (Direct Bonded Cooper), когда Cu-фольга и керамическая подложка Al_2O_3 или AlN (с одной или двух сторон) непосредственно соединяются при высокой температуре. На одиннадцатой Международной конференции по силовой электронике¹⁰ рассматривали применение альтернативных видов, таких как

изолированные металлические подложки (IMS – Insulated Metal Substrate), медные выводные рамки и высокотемпературные печатные платы. Независимо от применяемых подложек при спекании связующий слой между кристаллами и подложкой должен быть практически без пустот. Для проверки пустот требуется сканирующая акустическая микроскопия (SAM – Scanning Acoustic Microscopy), поскольку рентгеновские методы не всегда работают из-за необходимой высокой мощности излучения для проникновения через металлические слои подложки и кристалла. На РИС 10 представлены результаты анализа качества монтажа кристаллов SiC



10

Качество монтажа SiC-кристаллов по технологии синтеринга на оборудовании компании AMX с помощью пресс-формы с микроштампами



с применением пресс-формы и пресс-формы с микротампами.

Образование соединений Ag-Ag при спекании

Для стандартных условий синтеринга соединение Ag-Ag образуется при высокой температуре и большом давлении в рамках механизма диффузии, который уже описан в нашей статье о технологии микросварки¹¹. То есть базовые физические принципы образования интерметаллических соединений при спекании аналогичны термокомпрессии. Но образование соединения Ag-Ag при низком давлении 0,4 МПа нельзя отнести к механизму диффузии. На РИС 1.1 а показана поверхность полированного слоя Ag после спекания при 300 °C в течение 1 ч. На поверхности появилось большое количество бугорков с высокой плотностью, их диаметр различен: от десятка до ста нанометров, как показано на РИС 1.1 б. Образование соединения Ag-Ag между этими бугорками и SiC-кристаллами, заранее покрытыми распыленным слоем Ag, возникает как раз за счет роста бугорков. Это явление может играть ключевую роль в прочности соединений Ag-Ag, полученных спеканием при низком давлении.

Получается, что атомы дифундируют из областей с более высоким напряжением сжатия в области с более низким напряжением. Для полированной структуры спеченного слоя Ag сжимающее напряжение вызвано различными свойствами пористого слоя и его полированной поверхности. Напряжение сжатия для роста бугорков в горизонтальном направ-

лении по осям x и у можно рассчитать по следующей формуле¹²:

$$\sigma_x = \sigma_y \approx \frac{E_{Ag} \Delta T (a_1 - a_2)}{(1 - \mu_{Ag})} \quad (1)$$

где $E_{Ag} = 76$ (ГПа) – модуль Юнга для Ag, ΔT (°C) – разница между температурами нагрева и комнатной, $\mu_{Ag} = 0,37$ – коэффициент Пуассона для Ag, $a_1 = 18,9$ (мкм / (м · °C)) и $a_2 = 17,5$ (мкм / (м · °C)) – КТР пористого и полированного слоев Ag, соответственно.

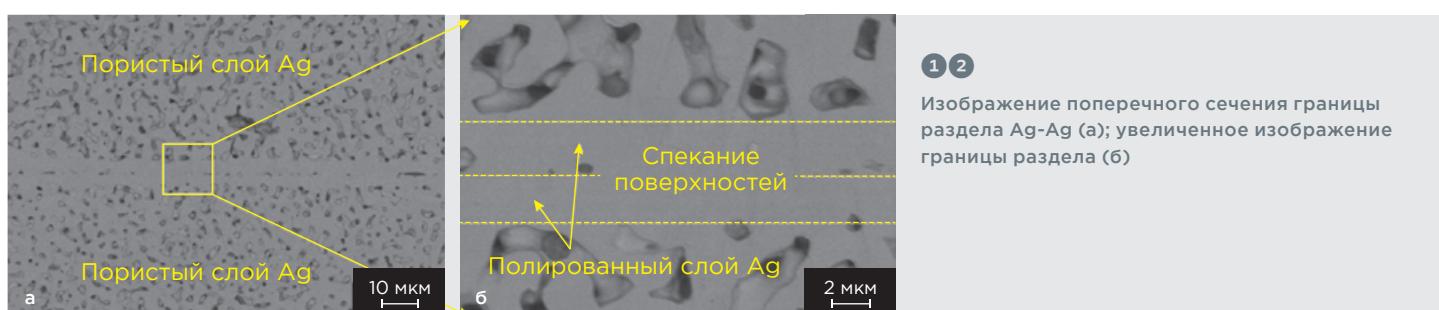
$$\sigma_z \approx 0 \quad (2)$$

$$\sigma_{Ag} \approx \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3} \quad (3)$$

В вертикальном направлении (по оси Z) напряжение равно нулю. Гидростатическое напряжение с направлением сжатия в этом случае рассчитывается при различных температурах процесса. Напряжения сжатия составляют -25,33 и -30,96 МПа при температурах нагрева 250 и 300 °C. Таким образом, напряжение увеличивается с повышением температуры процесса и рост бугорков можно контролировать, регулируя температуру. На РИС 1.2 показано поперечное сечение границы раздела соединения Ag-Ag при 300 °C, площадь контакта составляет более 90 % и пустоты практически отсутствуют, это вызвано высокой плотностью роста бугорков, как показано на РИС 1.1 а.

¹¹ В.И. Иванов, «Специфика технологии термозвуковой сварки медной проволокой выводов микросхем, компонентов и силовых элементов», «Вектор высоких технологий» № 1 (51) март 2021. Стр. 26-36

¹² Y. Lu, Y. Li, M. Saka, Growth of Ag micro/nanoparticles using stress migration from multilayered metallic structure, Appl. Surf. Sci. 351. 2015. Стр. 1011-1015





1 3

Варианты конструкций систем Dage: а – полуавтоматическая; б – автоматическая; в – автоматическая в корпусе с дверцами, включая блок фильтров и ионизаторы для работы в чистых помещениях

Прочность соединений кристалл-подложка на сдвиг и удельное сопротивление связующего слоя Ag

Чтобы исследовать влияние толщины связующего слоя на прочность соединения на сдвиг, частицы Ag перед синтерингом были нанесены слоями различной толщины: 50, 75, 100, 150 и 250 мкм. Прочность на сдвиг измерялась на оборудовании Nordson Dage¹³ при скорости сдвига 50 мкм/с. Наконечник инструмента был установлен параллельно границе соединения.

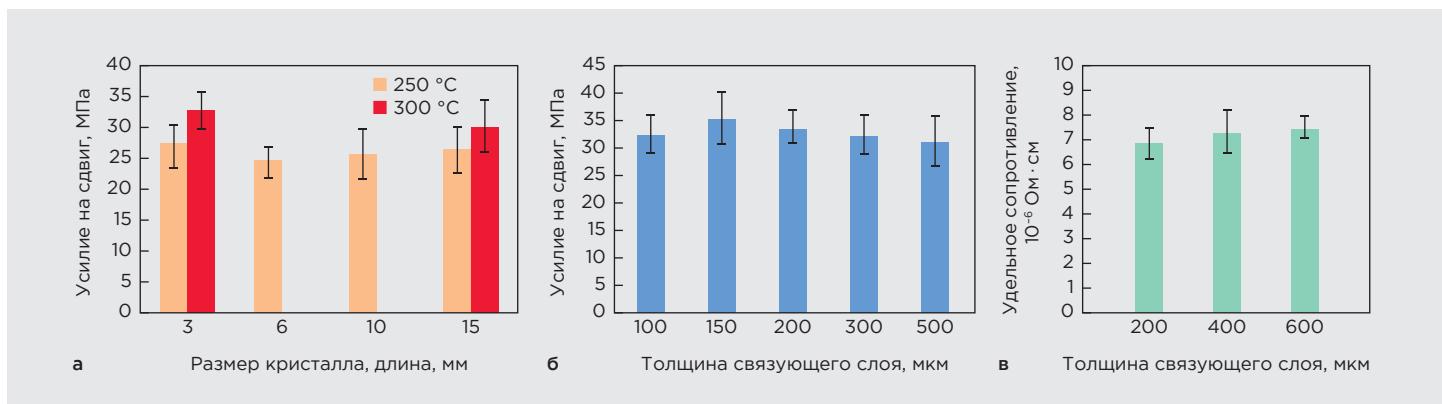
Nordson Dage является партнером «Остек-ЭК», это подразделение компании Nordson Electronics Solutions, которое производит оборудование под различные задачи в области исследований и производственного контроля материалов. Системы Nordson Dage (РИС 1.3) обладают гибкостью за счет применения различной оснастки и уникальных быстросменных картриджей с нагрузками на сдвиг до 200 кг; при нажиме до 50 кг и на отрыв до 50 кг, что позволяет экономить время и проводить комбинированные испытания сложных сборок.

На РИС 1.4а показана прочность на сдвиг при различных размерах кристалла (погрешность рассчитана для стандартного отклонения). Средняя прочность на сдвиг составила около 25 МПа и превышала 30 МПа для кристаллов, спеченных при температуре 300 °C. Полученные результаты превышают прочность на сдвиг традиционных припоев SnPb, которая составляет около 19–24 МПа¹⁴. Что наиболее важно, прочность не изменилась с увеличением размера кристалла (около 30 МПа даже для кристаллов размером 15 × 15 мм). Кроме того, прочность на сдвиг практически не изменилась с увеличением толщины связующего слоя, как показано на РИС 1.4б. Это указывает на то, что термомеханическое напряжение можно уменьшить за счет увеличения толщины твердого пористого слоя Ag.

Электрические характеристики связующего слоя кристалл-подложка имеют решающее значение для работы электронного устройства, поскольку они влияют

¹³ <https://www.nordson.com/en/divisions/dage/bondtesting-systems>

¹⁴ M. Maruyama, R. Matsubayashi, H. Iwakuro, S. Isoda, T. Komatsu, Silver nanosintering: a lead-free alternative to soldering, Appl. Phys. A: Mater. Sci. Process. 93 .2008. Стр. 467–470



1 4

Прочность на сдвиг кристаллов с различной площадью соединения (а); прочность на сдвиг кристаллов с разной толщиной связующего слоя (б); удельное электрическое сопротивление при разной толщине связующего слоя Ag (в)



1 5

Модельный ряд оборудования для синтеринга компании AMX

на эффективность электронного тракта. Поэтому удельное электрическое сопротивление твердой пористой структуры Ag измеряли с использованием четырехзондового метода с помощью измерителя удельного поверхностного сопротивления Loresla GP T 610 (Mitsubishi, Япония). Удельное электрическое сопротивление спеченного пористого Ag с различной толщиной показано на РИС 14в. Удельное сопротивление составляет $6,97 \pm 0,58$; $7,25 \pm 0,76$ и $7,38 \pm 0,36$ мкОм · см при толщине 200, 400 и 600 мкм соответственно. Удельное сопротивление существенно не меняется при изменении толщины слоя и это значит, что даже для кристаллов большего размера удельное электрическое сопротивление связывающего слоя фактически поддерживает постоянное значение.

Оборудование для монтажа кристаллов по технологии синтеринга

Технологическим партнером «Остек- ЭК» при решении любых задач, связанных с синтерингом, является компания AMX, которая предлагает широкий выбор моделей прессов для спекания (РИС 15) для различных применений: R&D и создание прототипов, массовое производство с возможностью встраивания в конвейерную линию с высокой производительностью.

Преимущества оборудования AMX:

- высокая точность даже у младших моделей;
- рабочая зона от 75×75 мм до 300×300 мм;
- максимальное усилие до 980 кН;
- максимальная температура 350°C ;
- единая система контроля давления, температуры и качества с функцией мониторинга процесса спекания в реальном времени;
- контролируемая атмосфера (N_2 или другой инертный газ);
- зона предварительного нагрева и последующего охлаждения;
- запатентованная конструкция пресс-формы с микроштампами (Micro-punch) позволяет оказывать равное давление на кристаллы разной толщины.

Технология синтеринга с применением Ag имеет множество преимуществ перед другими методами обработки материалов в процессе монтажа кристаллов при сборке силовых модулей:

- высокая электро- и теплопроводность;
- высокая температура плавления $>900^{\circ}\text{C}$;
- повышение срока службы изделий до 100 раз в сравнении с пайкой;
- при переходе на сборки с элементами на базе SiC-кристаллов снижает потери мощности на 75 % (при температуре кристалла 150°C).

Перспективные направления для синтеринга:

- 3D-сборка за счет применения Micro-punch;
- монтаж чувствительных элементов;
- исследование взаимодействия различных материалов и поверхностей в процессе спекания.

При синтеринге следует обратить внимание на ряд факторов:

- для более качественных соединений требуется двух- или даже трехслойная металлизация контактной поверхности кристалла;
- для обеспечения качества процесса требуется инертная атмосфера;
- требуется точный контроль давления и температуры. □

Сегодня передовые производители силовых элементов и модулей перешли на новые полупроводниковые материалы, и синтеринг является самым подходящим решением для монтажа кристаллов. Спекание обеспечивает высокое качество соединения кристалл-подложка практически без пустот. При использовании Ag повышается производительность и надежность готовых изделий за счет количественных преимуществ по электротеплопроводности.

КАЧЕСТВО

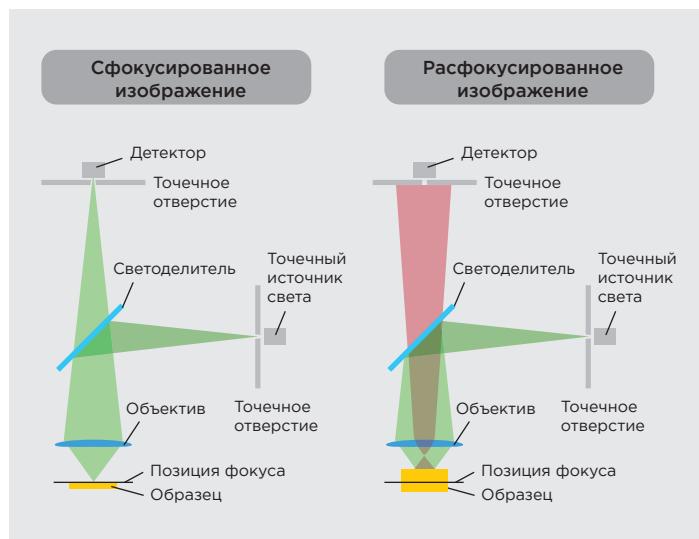
Гибридные системы визуального контроля для полупроводникового производства



Текст: Сергей Максимов

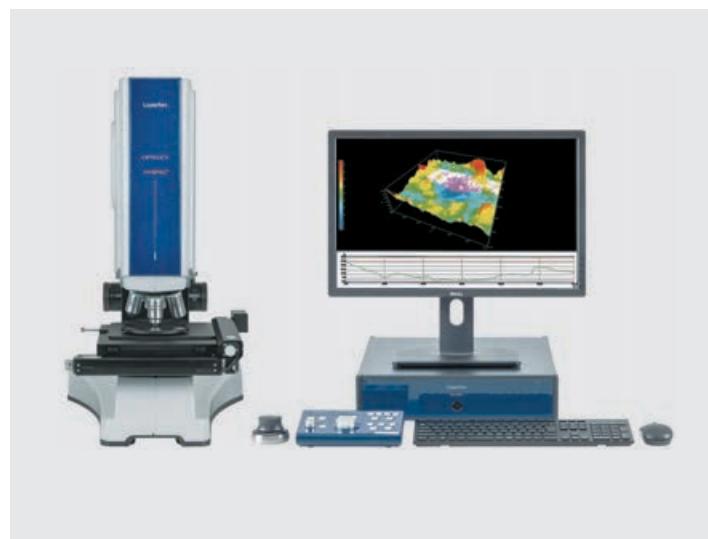
”

Полупроводниковая промышленность – это компании, занятые в проектировании и производстве полупроводниковых приборов. Отрасль сформировалась около 1960 года после того, как производство полупроводниковых приборов стало рентабельным бизнесом. Само по себе полупроводниковое производство – это весьма трудоёмкий процесс с этапами травления, зачистки, диффузии, ионной имплантации, осаждения и химико-механической планаризации. Для повышения качества продукции на каждом этапе предусмотрен строгий контроль выпускаемой продукции. Как правило, основная нагрузка контроля в процессе изготовления изделия ложится на визуальную инспекцию. Поэтому в условиях повышенных требований к качеству недостаточно оснастить производство современным технологическим оборудованием и материалами – необходимо также выбрать наиболее совершенные методы технологического контроля.



1

Оптическая схема конфокальной микроскопии



1

Микроскоп Optelics+

Измерения и контроль – важная часть технологического процесса, позволяющая точно определять физические и размерные свойства материалов. С развитием и усовершенствованием полупроводникового производства возникает потребность в сложных программных инструментах контроля.

В статье мы рассмотрим инновационные системы визуального контроля для полупроводникового производства. Вы спросите, что в них инновационного? Всё просто! Развитие технологий и инженерных мыслей позволило объединить различные оптические технологии и методы визуальной инспекции, представив миру гибридные приборы.

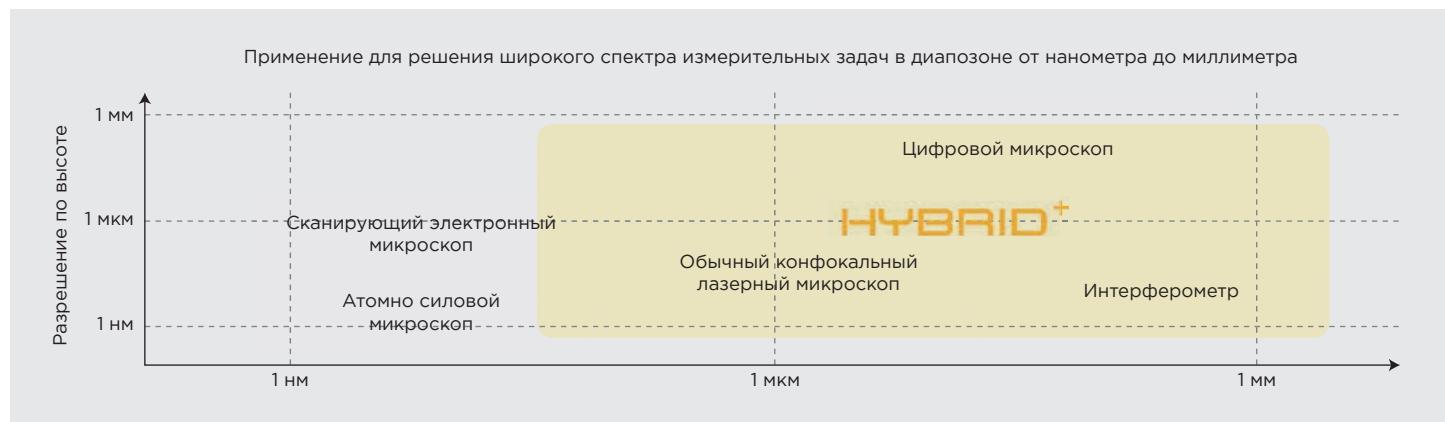
ООО «Остек-АртТул» представило российскому рынку гибридную систему визуального контроля, разработанную японской компанией Lasertec Inc.

В основе работы системы лежит лазерная конфокальная микроскопия, конфокальная микроскопия белого света. Основной принцип работы конфокального микроскопа представлен на оптической схеме (рис 1).

Конфокальная микроскопия – разновидность световой оптической микроскопии, обладающей значительным контрастом и пространственным разрешением по сравнению с классической микроскопией, что достигается использованием диафрагмы, размещенной в плоскости изображения и ограничивающей поток фонового рассеянного света, излучаемого не из фокальной плоскости объектива. Это позволяет получить серии изображений на различных глубинах фокальной плоскости внутри образца и затем реконструировать трехмерное изображение образца из этих серий. Конфокальная микроскопия получила широкое применение в области биологии, медицины, в материаловедении и физике полупроводников.

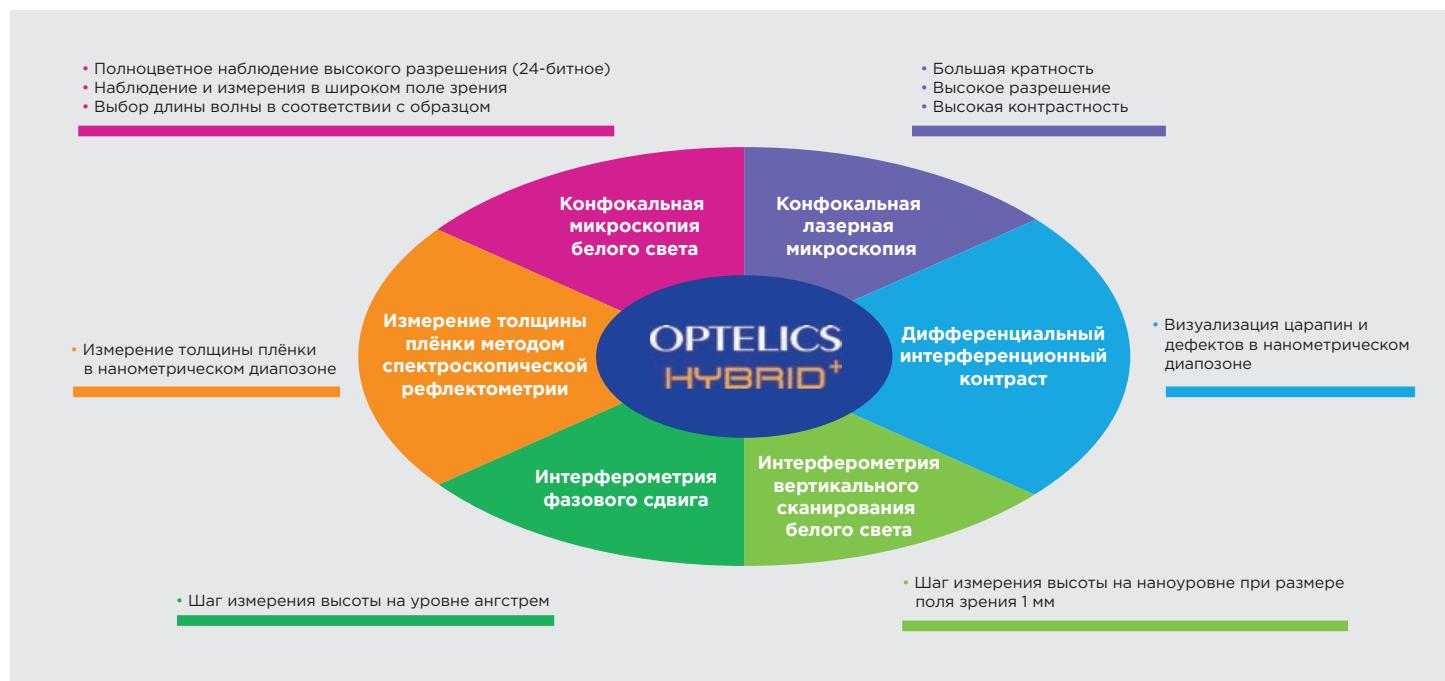
На рис 2 представлен общий вид микроскопа Optelics Hybrid+ от компании Lasertec.

Небольшое компактное устройство размером всего лишь 380 × 515 × 690 мм и весом 40 кг. Микроскоп совмещает в себе шесть измерительных приборов в диапазоне измерений от нанометра до миллиметра. Его функционал (рис 3 и 4) сравним со сканирующей



3

Сравнение Optelics с другими устройствами



4

Общие функциональные характеристики

электронной микроскопией, атомно-силовым микроскопом, цифровым микроскопом, спектроскопическим рефлектометром и интерферометром.

Optelics Hybrid+ умеет в себе шесть различных приборов, а это значит, что в нём реализованы шесть оптических технологий для визуального контроля.

Конфокальная микроскопия белого света – это идеальный инструмент для визуального контроля в видимом диапазоне. Для получения изображений высокого разрешения были разработаны специальные свето-сильные объективы с широким полем зрения. Помимо визуального контроля (рис 5), с помощью конфокальной микроскопии белого света можно проводить прецизи-

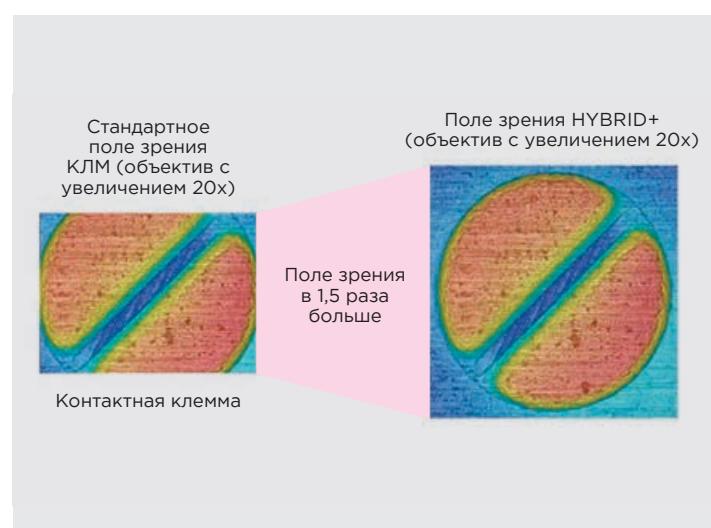
онные измерения в поле зрения объектива (рис 6). Если же объекты больше поля зрения, то систему можно оснастить координатным столиком 100 × 100 мм, который имеет разрешение энкодеров не более 1 нм в диапазоне перемещения 50 × 50 мм.

Как известно из курса физики, белый свет – это электромагнитное излучение видимого диапазона, которое вызывает у наблюдателя с нормальным цветовым зрением световое ощущение. Белый свет имеет минимум три монохроматических излучения, наглядно это можно увидеть на обложке музыкальной группы PINK FLOYD (рис 7), где белый свет, проходя через призму, раскладывается на спектр – на монохроматические одноцветные излучения.



5

Полноцветное изображение



6

Пример изображения



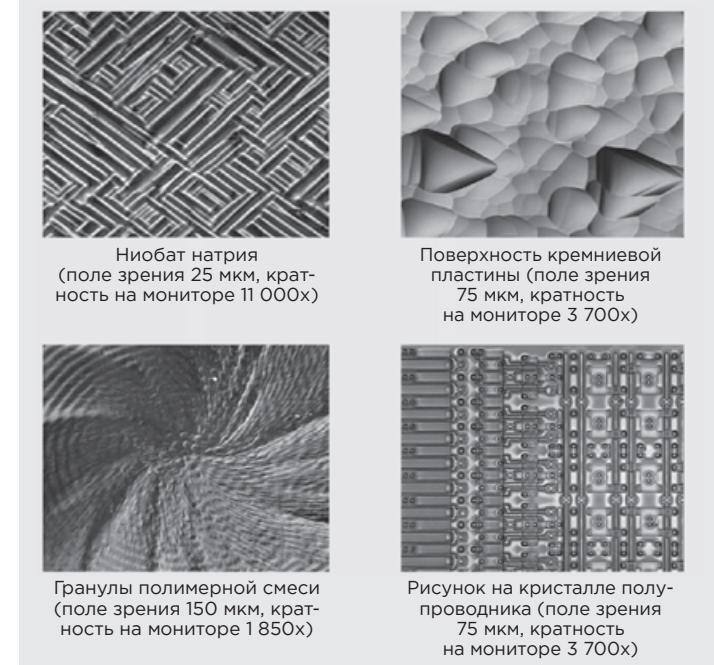
7

Обложка альбома PINK FLOYD

В Optelics Hybrid+ также реализована **функция разложения света**, что позволяет изменять длину волны в диапазоне от 436 до 633 нм как в источнике излучения, так и в приемнике излучения, благодаря чему можно получить контрастное монохромное изображение. Изменение длины волны света в автоматическом режиме дает возможность получать изображения с высоким контрастом, что также повышает точность измерения при наведении на края объекта. Детектор, или как принято называть – приёмник излучения, позволяет обрабатывать 24-битные изображения, выделяя на каждый канал по 8 бит, и среди конкурирующих продуктов не имеет аналогов, так как в 99 % таких систем применяются классические ПЗС-матрицы. Такая обработка изображений дает колоссальную глубину цвета, тем самым подтверждая идеальность этого инструмента для визуального контроля и измерений.

Лазерная конфокальная микроскопия благодаря когерентному источнику излучения позволяет получать изображения с высоким разрешением, соизмеримым со сканирующей электронной микроскопией. И если сканирующая электронная микроскопия работает в вакуумной системе, то лазерная конфокальная микроскопия не требует таких условий, позволяя максимально сократить время на проведение исследований. А использование специально разработанных объективов для формирования лазерного излучения дает возможность получить увеличение до 5 550 крат с пространственным разрешением 0,001 микрон (рис 8).

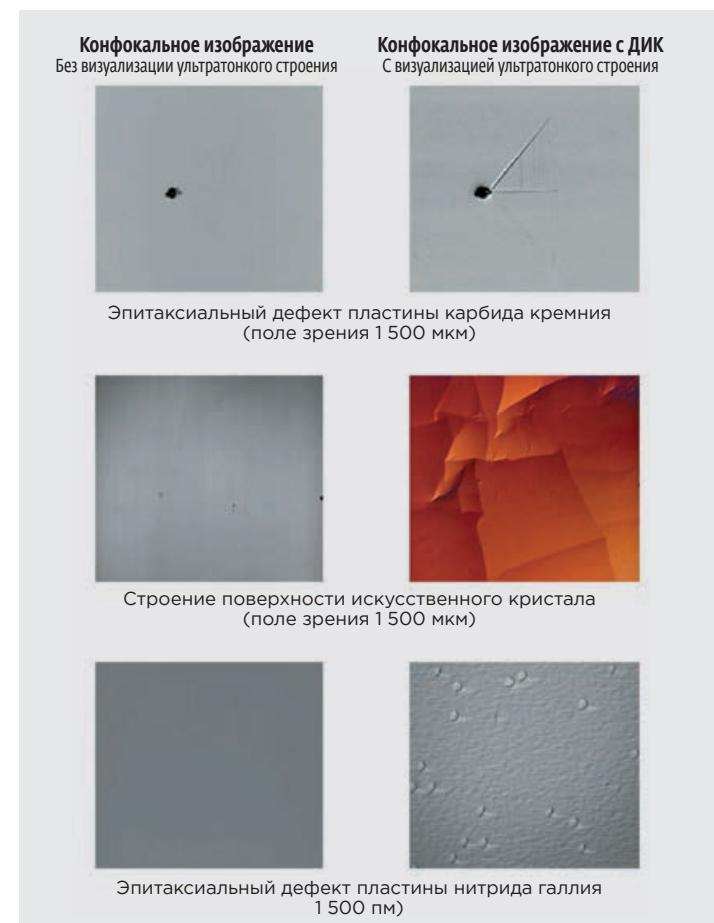
Дифференциальный интерференционный контраст (ДИК) совместно с конфокальной микроскопией позволяет проводить исследование ультратонкой



8

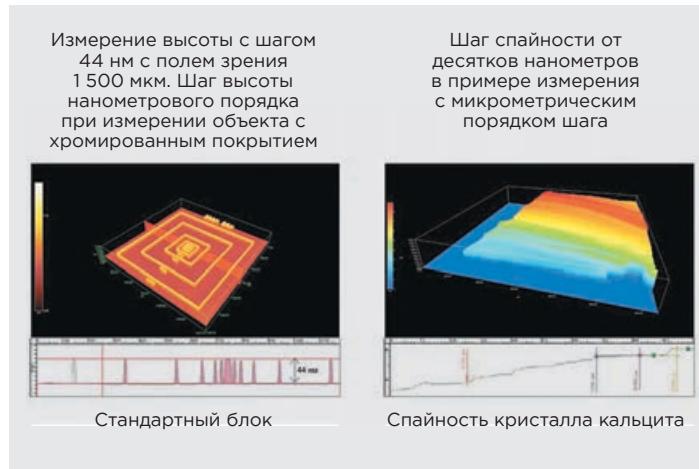
Изображения КЛМ

морфологии без каких-либо засветок и бликов даже на прозрачных образцах (рис 9).



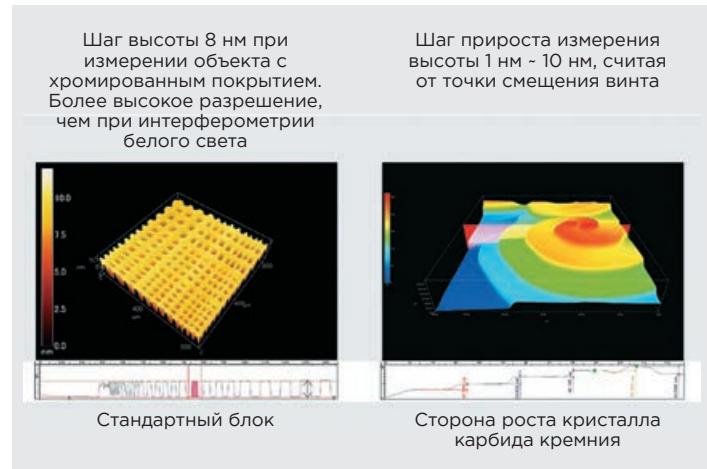
9

Пример изображений, полученных с ДИК



1 0

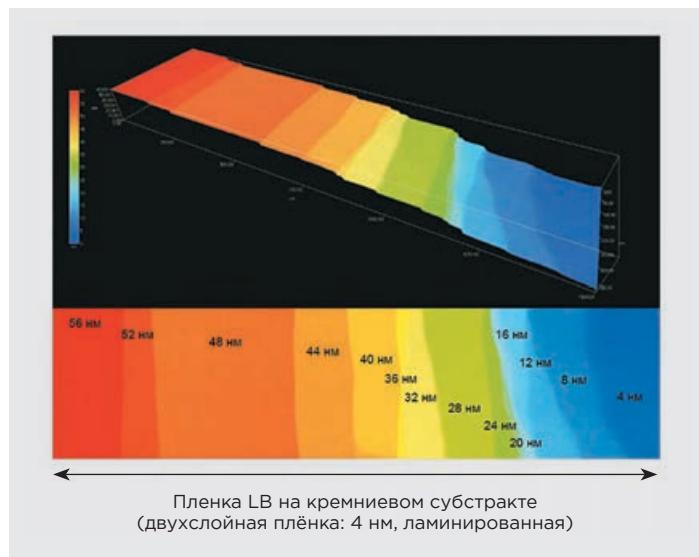
Пример изображения интерферометрии белого света



1 1

Пример изображения полученные интерферометрией фазового сдвига

Интерференция белого света с вертикальным сканированием – технология измерения высот, ступеней, шероховатость поверхности, определения формы объекта бесконтактным методом. Позволяет получать значения измерений на уровне ангстрем и нанометров. Измерения нанометровых размеров (рис 1.0) рассчитываются путем получения значений шкалы по оси Z в положениях пиков интенсивности интерференционных полос, создаваемых белым светом и двухлучевым интерференционным объективом. Разрешение по оси Z – 0,05 нанометров. Ввиду развития полупроводниковых производств и технологий, измерений в нанометровом диапазоне порой бывает недостаточно, и в этом случае разработчик предусмотрел возможность измерения на уровне ангстрем! Если ранее мы говорили, что значения по оси Z обеспечивались разрешением шкалы, то в этом случае – фазовым сдвигом интерференционных полос, то есть половины длины волны света источника излучения (рис 1.1).



1 2

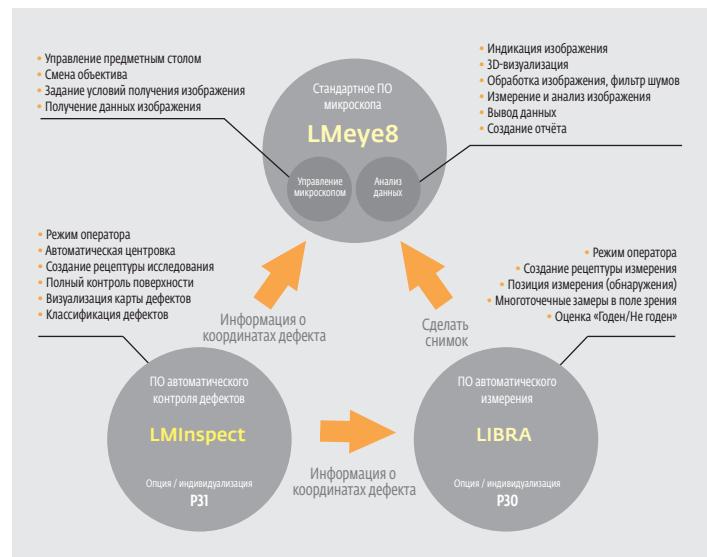
Пример измерения тонких плёнок

Спектроскопическая рефлектометрия – технология измерения наноразмерных толщин прозрачных плёнок. Метод измерения основан на множественном отражении света между поверхностями плёнки и подложки. Применяется для измерения оксидированных плёнок, многослойных плёнок с различными структурами (рис 1.2).

Функциональные преимущества

Помимо широкого функционала измерений и большого набора объективов Optelics HYBRID+ имеет ряд функциональных преимуществ в аппаратной и программной частях: высокая скорость и точность измерения, автоматическая оптимизация параметров при старте работы и анализе, макросы, сшивка, плоскостные измерения.

Высокая точность и скорость измерений обеспечивается широким диапазоном обработки частоты кадров от 15 до 120 Гц. Это позволяет сократить время измерения в 4 раза в отличие от классических лазерных конфокальных микро-



1 3

Эко система ПО Optelics Hybrdy+

Т 1

Технические характеристики объективов Optelics Hybrid+

	ОБЪЕКТИВ	РАБОЧЕЕ РАССТОЯНИЕ (ММ)	ЧИСЛОВАЯ АПЕРТУРА (NA)
Специально разработанные объективы (с высокой числовой апертурой)	5x LT	10,0	0,25
	10x LT	1,60	0,50
	20x LT	0,80	0,75
	NEW20x LT	1,65	0,80
Парофокальные объективы 60 мм (расстояние от места установки объектива до поверхности образца в фокусе)			
Классические объективы	1x	3,8	0,03
	2.5x	6,50	0,075
	5x	23,50	0,15
	10x	17,50	0,30
	20x	4,50	0,45
	50x	1,00	0,80
	50x APO	2,00	0,80
	100x	1,00	0,90
	100x APO	2,00	0,90
	150x APO	1,50	0,90
Объективы с увеличенным рабочим расстоянием	20x ELWD	19,00	0,40
	50x ELWD	11,00	0,60
	100x ELWD	4,50	0,80
Объективы с большим рабочим расстоянием	10x SLWD	37,00	0,20
	20x SLWD	30,00	0,30
	50x SLWD	22,00	0,40
	100x SLWD	10,00	0,60
Парофокальные объективы 45 мм (расстояние от места установки объектива до поверхности образца в фокусе)			
Объективы (с высокой числовой апертурой)	50x APO	0,35	0,95
	100x APO	0,32	0,95
	150x APO	0,30	0,95
Двухлучевые интерференционные объективы	TI 2.5x	10,30	0,075
	TI 5x	9,30	0,13
	DI 10x	7,40	0,30
	DI 20x	4,70	0,40
	DI 50x	3,40	0,55
	DI 100x	2,00	0,70

Т 2

Технические характеристики Optelics Hybrid+

ИСТОЧНИК СВЕТА	КСЕНОН/ДИОД			
	ЛАЗЕР 405 НМ			
Поле зрения/ увеличение	Источник света	Объектив	Увеличение	Поле зрения
	Белый свет	1x	18,5 x	15000x15000
		2.5x	46,2 x	6000x6000
		5x	92,5 x	3000x3000
		10x	185 x	1500x1500
		20x	370 x	750x750
		50x	925 x	300x300
		100x	1850 x	150x150
		150x	2775 x	100x100
	Лазер	50x	1850 x	150x150
		100x	3700 x	75x75
		150x	5550 x	50x50
ZOOM	1x - 8x			
Метрологические характеристики (XY)	Минимальная единица измерений	0,001 мкм		
	Точность	±[0.02×(100/увеличение объектива)+L/1000] мкм		
	Повторяемость (3σ)	10 нм		
Метрологические характеристики (Z)	Разрешение	0,05 нм		
	Точность	±(0.11+L/100) μм		
	Повторяемость (σ)	10 нм		
	Диапазон измерения	7 мм		
Диапазон перемещения по Z	80 мм			
Смена объективов	Моторизированная 5-позиционная турель			
Диапазон перемещения по XY	Ручной/моторизированный 100 x 100 мм, 50 мм перемещение			
Функции	ДИК			
	Интерферометр белого света с вертикальным сканированием			
	Интерферометр фазового сдвига			
	Спектроскопический рефлектометр			
ПО	Захват изображения	HDR mode, Patchwork, multi-gain,		
	Обработка изображений	Коррекция формы поверхности (наклон, сферическая), устранение шума, фильтр, выделение цвета, бинаризация		
	Анализ профиля	Измерение профиля, измерение сравнения, измерение шероховатости поверхности, измерение ширины и шага, измерение толщины пленки		
	Вывод данных	Специальное расширение, файл изображения общего назначения, файл CSV		



Ход по XY 300 x 300 мм
Пилонный тип



Ход по XY 800 x 800 мм
Портальный тип

1 3

Типы штативов

скопов. Функция эффективна при сшивке изображений и наблюдении динамических исследований. HYBRID+ обеспечивает наилучшие показатели точности и воспроизводимости среди других производителей конфокальных лазерных микроскопов как при измерении в горизонтальных осях, так и при измерении высоты. При этом все метрологические параметры откалиброваны согласно стандартам NIST (Национальный институт стандартизации и технологий).

В части программного обеспечения Optelics HYBRID+ производитель разработал уникальную «экосистему», максимально автоматизировав все процессы, значительно упростило работу на столе сложном по функционалу приборе (рис 1.3).

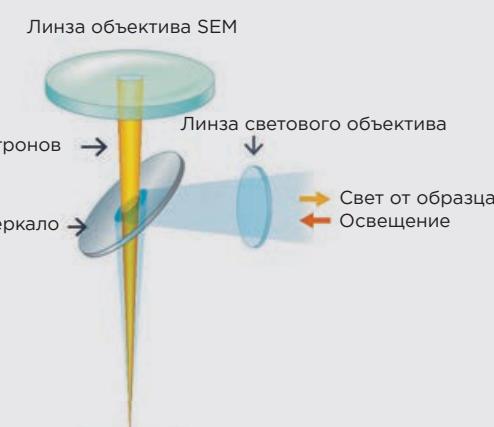
В стандартном исполнении Optelics HYBRID+ является отличным решением для проведения научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы. Но при контроле на массовом производстве производитель предлагает унифицированные системы со специальными столами портального типа (рис 1.4).

Optelics HYBRID+ от Lasertec Inc. на мой взгляд очень интересное оборудование и на российском рынке будет весьма востребованым продуктом. А так как данная статья посвящена гибридным системам, в продуктовой линей-

ке представлена еще одна уникальная установка, которая уместила в себе одновременно световую и электронную микроскопию.

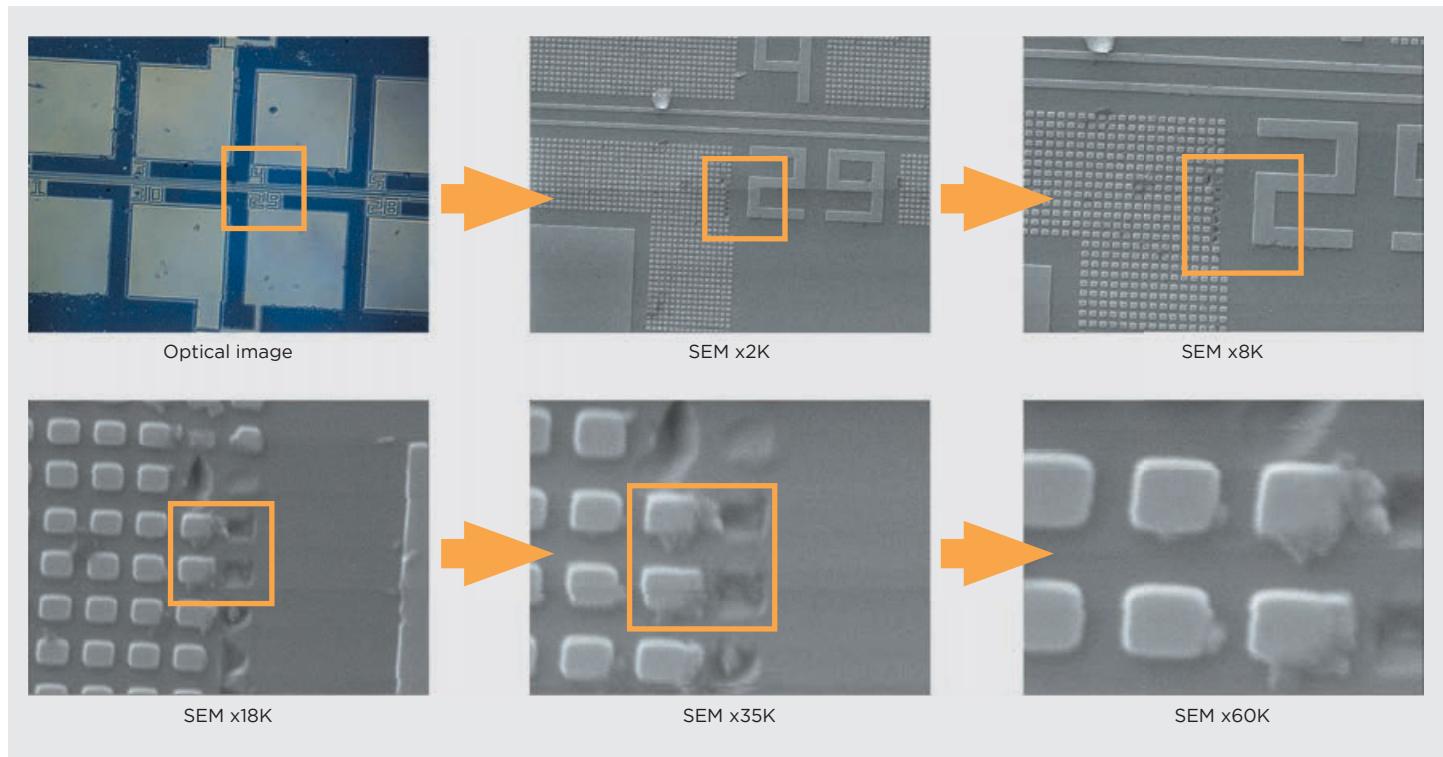
Сканирующий электронно-световой микроскоп NanoFlash

NanoFlash – это совершенно новый и по своим характеристикам уникальный микроскоп, который сочетает в себе световую и электронную микроскопию. Систему производит молодая и перспективная южнокорейская компания ModuleSci. «Остек-АртТул», заручившись рекомендациями компаний, составляющих южно-корейский конгломерат: «MTDI Inc.» – производитель оборудования для подготовки образцов для материаловедения и металлографии, «Сохем Inc.» – производитель портативных сканирующих электронных микроскопов, «ISP CO XRF Inc.» – производитель рентген-флуоресцентных анализаторов-толщинометров, подписал контракт на эксклюзивные права по организации поставок и технического сопровождения на всем протяжении эксплуатации корреляционных микроскопов. Такой вид сотрудничества позволяет ООО «Остек-АртТул» быть лидером в области поставок систем визуального контроля и аналитического оборудования.



1 5

Принципиальная схема
работы корреляционного
микроскопа ModuleSci



1 6

Изображение, полученное с NanoFlash

Все гениальное просто! Именно так можно сказать о гибридной системе NanoFlash от ModuleSci, рассмотрев оптическую систему устройства на РИС 1.5. В одном корпусе совмещены световой и электронный микроскопы, при этом оборудование в применении не уступает по техническим характеристикам каждой отдельной единице.

Т 3

Технические характеристики NanoFlash

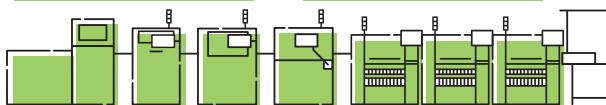
Габариты (Ш x Г x В)м	850 x 900 x 1500 мм
Источник электронов	Вольфрамовая нить, CeB6, LaB6, FE
Разрешение	FE (1,5 нм) вольфрамовая нить (4 нм), CeB6 (2,5 нм), LaB6 (2,5 нм), оптика (700 нм)
Увеличение	x20 – x 300 000
Ускоряющее напряжение	0,5 – 30 кВ
Размер камеры	40 x 40 x 45 мм
Размер образцов	Ø30 мм, высота 10 мм
Диапазон перемещения	XY: ±40 мм, Z: 5-50 мм, T:-20°-60°, R: 360°
Детекторы	BSE, EDS

NanoFlash может одновременно работать в режиме световой и электронной микроскопии, также систему можно оснастить спектральным оборудованием для проведения химометрического анализа. При работе в режиме сканирующей электронной микроскопии пространственное разрешение составляет не более 3 нм, а в режиме световой микроскопии – не более 700 нм (РИС 1.6). □

Гибридные системы, представленные в статье, действительно инновационные, ведь раньше под каждый метод исследования нужно было использовать отдельные приборы применять соответствующую технологию, а теперь различные методы контроля совмещены в одном приборе. Это несомненный плюс, который позволит сократить время межоперационного контроля и получить больше информации об исследуемом объекте. Данные системы применимы не только в производстве полупроводников, но также в исследовательской работе других отраслей: прецизионное машиностроение, биология и медицина, и многие другие. За гибридными системами – будущее!

ЦИФРОВОЕ СБОРОЧНО-МОНТАЖНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

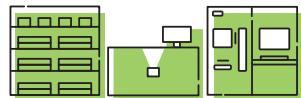
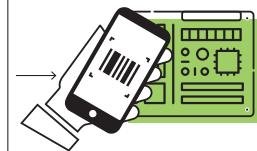
УПРАВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ОБОРУДОВАНИЯ



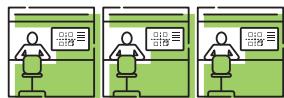
УМНЫЙ СЕРВИС



УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ



АВТОМАТИЗАЦИЯ ХРАНЕНИЯ



АВТОМАТИЗАЦИЯ РУЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ



УПРАВЛЕНИЕ ЗНАНИЯМИ



ДИСПЕТЧЕРСКАЯ



Узнать больше

Результат реализации решения

- Управляемость и контроль на основе разумной автоматизации
- Единый информационный контур: ERP/MES, оборудование, персонал
- Снижение производственных рисков и оптимизация потерь и простоев
- Прослеживаемость производства и цифровой паспорт изделия
- Управление качеством и минимизация человеческого фактора
- Конкурентная себестоимость выпускаемой продукции

Щекотливая кавитация: обзор ультразвуковой автоматизированной системы прецизионной очистки UCM SmartLine



Текст: Денис Поцелуев

Тенденция к применению многокамерных систем погружной очистки уже давно наметилась в ряде отраслей промышленности за рубежом и все больше набирает обороты. В связи с новыми требованиями к качеству продукции, изменением технологий производства, а также ужесточением нормативных регламентов в некоторых отраслях требования к чистоте деталей также постоянно растут. Среди прочих особенно компаний медицинской отрасли, часовой и ювелирной промышленности, оптики, из областей прецизионных микротехнологий, нанесения покрытий, автомобильной промышленности сталкиваются с вызовом – обеспечить высокое качество чистоты поверхности в повторяемом технологиче-

ском процессе по конкурентоспособным ценам. Аналогичная ситуация наблюдается и в секторе ТОиР (техническое обслуживание и ремонт), особенно когда речь идет о работе с продукцией таких отраслей, как авиаация, медицинская техника, кораблестроение. Во многих случаях решением подобных задач становятся автоматизированные многокамерные системы ультразвуковой очистки погружного типа. В этой статье мы представим краткий обзор и расскажем об особенностях и преимуществах многокамерных ультразвуковых систем промышленной очистки на примере установки UCM SmartLine производства швейцарской компании UCM AG, подразделения немецкой группы компаний SBS Ecoclean group.



1

Очистка деталей в ультразвуковых ваннах на действующих производствах

В России очистка деталей от промышленных загрязнений путем погружения в ультразвуковые ванны является наиболее распространенным методом. Не всегда на производствах можно увидеть автоматизированные линии. Чаще встречаются отдельно стоящие ультразвуковые ванны, предназначенные для очистки деталей в моющих растворах (РИС 1). Бывает, что после ультразвуковых ванн детали подвергаются дополнительной ручной очистке (РИС 2) – как правило, если количество отмываемых деталей невелико или нет специализированных требований к качеству очистки. В подобных решениях всегда есть нюансы, на которые надо обращать внимание:

- Быстрое загрязнение моющего раствора в ванне. Частая смена раствора приводит к дополнительным затратам на приобретение отмывочной жидкости.
- Требуется ополаскивание деталей, чтобы смыть остатки загрязнений и отмывочной жидкости.
- Невозможно качественно отмыть детали сложной конфигурации, с внутренними полостями и отверстиями.

- Очистка эффективна только для несильно загрязненных деталей.
- Низкий уровень автоматизации.
- Практически отсутствует повторяемость процесса.

Учитывая эти особенности, производства стараются повышать автоматизацию технологии процесса очистки, выбирая комплексные автоматизированные линии ультразвуковой очистки. Широкая востребованность автоматизированных ультразвуковых линий во всем мире объясняется, в первую очередь, возможностью гибко реализовать процесс очистки под разные задачи по степени очистки: от предварительной или промежуточной до финишной прецизионной. Примером подобного решения является установка UCMSmartLine – модульная ультразвуковая установка погружного типа с использованием до девяти уровней очистки и ополаскивания (РИС 3). Гибкая и продуманная концепция системы даёт многочисленные возможности для решения индивидуальных задач по очистке с высочайшими требованиями к качеству.



2

Очистка деталей ручным способом



3

UCMSmartLine – модульная система ультразвуковой прецизионной очистки

Т 1

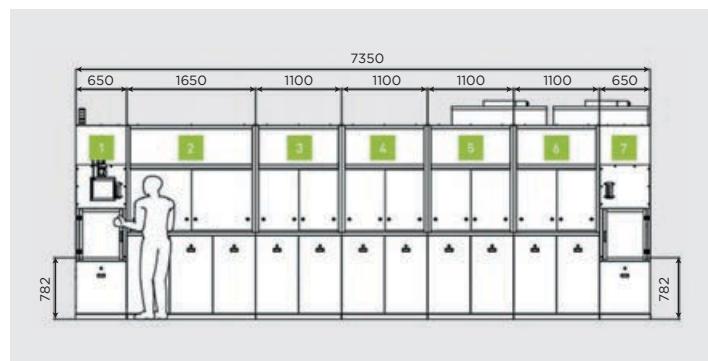
Отличительные характеристики установки UCMSmartLine

ХАРАКТЕРИСТИКА	ПРЕИМУЩЕСТВА
Одно- или многочастотная ультразвуковая обработка в диапазоне 25, 40, 80 и 120 кГц	Позволяет более эффективно очищать широкий спектр загрязнений и деликатных деталей
Сушка с помощью ИК-излучения, горячего воздуха или в вакууме	Доступен выбор одного из способов или комбинация. Различные способы обеспечивают требуемую производительность и качество сушки
Бокс с ламинарным потоком воздуха и фильтрами НЕРА	Исключение попадания загрязнений из воздуха и возможность соединения с чистой комнатой
Автоматизированная система перемещения деталей на сервоприводе (рис 5)	Обеспечивает аккуратное перемещение даже самых деликатных деталей в процессе очистки без риска повреждения. Регулировка скорости транспортировки гарантирует нужную производительность. Дополнительным преимуществом служит специализированная система подъема деталей из последней ванны ополаскивания для предотвращения образования подтеков и пятен на деталях в процессе сушки
Баки с системой подачи жидкости снизу с каскадным переливом (рис 6)	Мгновенное удаление загрязнений с поверхности и исключение риска повторного загрязнения детали при подъеме из бака
Специальная конфигурация баков и трубопроводов для быстрого слива и осушения	Исключение риска остаточных загрязнений в системе при сливе и замене жидкостей
Электрическая и управляющая техника, уже интегрированная в каждый модуль	Отсутствует необходимость в размещении отдельного электрического кабинета, за счет чего достигается существенная экономия пространства для размещения установки
Закрытое исполнение в корпусе из электрополированной нержавеющей стали и высококачественного прочного стекла	Препятствует попаданию паров отмычочных жидкостей в помещение и уменьшает теплопотери, повышает энергоэффективность и скорость сушки

Установка UCMSmartLine состоит из модулей, оснащенных системами управления и контроля, каждый из которых отвечает за определенный этап технологического цикла: очистка, ополаскивание, сушка, загрузка и выгрузка, транспортировка деталей. Модули можно конфигурировать в индивидуальном порядке под задачи предварительной, промежуточной и финишной прецизионной очистки: от трех до девяти модулей с ручным управлением и двумя-тремя баками до больших систем с полностью автоматизированным управлением (рис 4).

Технологический процесс очистки деталей можно разделить на три больших этапа: очистка, ополаскивание и сушка. В зависимости от характера загрязнений, типа деталей, отмычочной жидкости и требований к качеству очистки и производительности определяется конфигурация системы и количество баков для каждого этапа. Например, на этапе очистки могут быть задействованы две

ванны – для предварительной очистки и промежуточной, а на этапе ополаскивания могут работать от двух до трех ванн с деминерализованной водой для исключения любых загрязнений. Промышлен-



4

Пример планировки установки UCMSmartLine с 9 ваннами 2 сушками, ручная загрузка/выгрузка

ная и прецизионная очистка – это сложный комплексный процесс, где конечный результат зависит не только от количества операций отмывки, но и от технологического оснащения оборудования, отмывочной жидкости, правильно настроенных параметров процесса отмывки. В **т ①** приведены некоторые отличительные характеристики установки UCM SmartLine, которые непосредственно влияют на качество и эффективность процесса очистки.

Установки подобного типа востребованы в различных индустриях, но чаще всего там, где требуется особо высокое, прецизионное качество очистки. На примере отдельных индустрий ниже показаны примеры типовых конфигураций оборудования и процессов очистки.

Производство изделий точной механики, специального инструмента

Очищаемые изделия:

- детали масс-спектрометров;
- компоненты газовых хроматографов;
- части электронных сканирующих микроскопов;
- прецизионные детали;
- сверла, резцы;
- компоненты лазерных систем.

Материалы:

- алюминиевые сплавы;
- стеклокерамика (Церодур);
- никелированные детали;
- полимеры (ПЭЭК);
- высокопрочная сталь;
- твердосплавные металлы;
- иные сплавы металлов.

Процессы очистки:

- очистка перед сборкой;
- финишная очистка перед инспекцией;
- очистка перед PVD-покрытием;
- очистка после фрезеровки/шлифовки/обработки (от СОЖ, масел, эмульсий).

Типовая конфигурация:

- до 10 баков, включая погружение, струи в объеме, ультразвук, ополаскивание проточной и дейонизованной водой;
- плавное перемещение деталей на разных скоростях в процессе осцилляции, покачивания и поворота, вынимания из ванны, вращения;
- производительность до 17 загрузок в час;
- сушка горячим воздухом или в вакууме с HEPA-фильтрацией;
- дополнительное оснащение, например, ультразвуковые генераторы разной частоты, ламинарный поток, водоподготовка;
- размеры баков до 900 × 600 × 600 мм.

Производство медицинских изделий и имплантатов

Очищаемые изделия:

- имплантаты (зубные, тазобедренные, суставные);
- медицинские изделия;
- хирургические инструменты;
- иглы, канюли;
- эндоскопы.

Материалы:

- керамика;
- нержавеющая сталь;
- титан;
- полимеры (ПЭЭК, силиконы).

Процессы очистки:

- ультразвуковая очистка перед финишной обработкой (абразивной, шлифовальной или полировальной);
- очистка перед нестерильной упаковкой;
- очистка перед стерильной упаковкой.

Типовая конфигурация:

- до 10 баков, включая ультразвуковую очистку, ополаскивание проточной и дейонизованной водой, пассивацию;
- плавное перемещение деталей на разных скоростях в процессе осцилляции, покачивания и поворота, вынимания из ванны, вращения;
- производительность до 12 загрузок в час;
- сушка горячим воздухом с HEPA-фильтрацией, в вакууме, инфракрасная сушка;
- дополнительное оснащение, например, ультразвуковые генераторы разной частоты, магнитная фильтрация, ультрафильтрация, ламинарный поток, HEPA-фильтрация;
- размеры баков до 700 × 600 × 600 мм.

Производство прецизионных оптических деталей и стеклоформ

Очищаемые изделия:

- линзы;
- призмы;
- компоненты прецизионной оптики;
- оптические фильтры;
- лазерные компоненты;
- зеркала;
- стеклокерамика;
- оптические стекла и кристаллы.

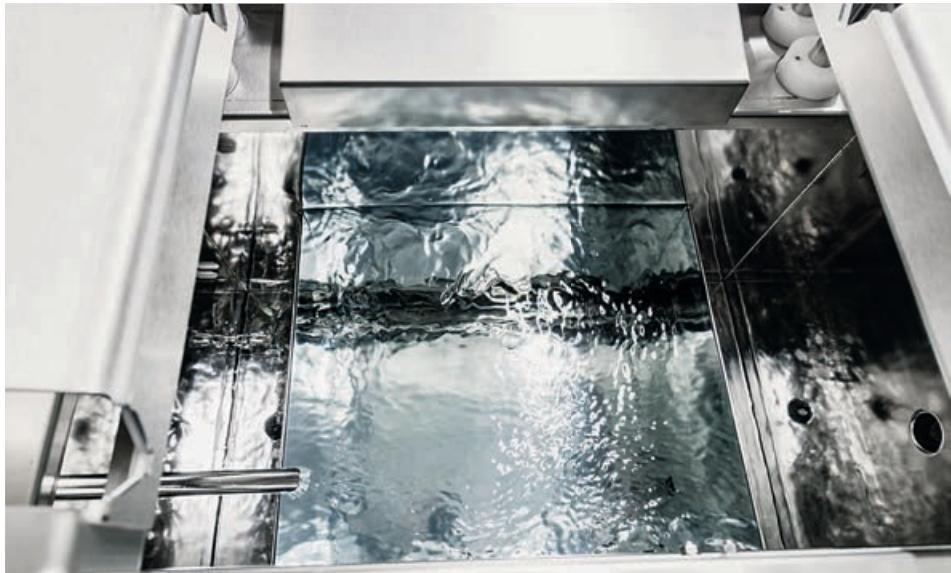
Материалы:

- кварцевое стекло;
- стекла с ИК-фильтром;
- Церодур;
- сапфир;
- различные материалы из стекла.



5

Автоматизированная система перемещения деталей на сервоприводе



6

Баки оснащены системой постоянного перелива для высокого качества очистки

ПРОЦЕССЫ ОЧИСТКИ:

- ультразвуковая очистка перед покрытием (PVD);
- финишная очистка перед инспекцией;
- финишная очистка перед сборкой.

ТИПОВАЯ КОНФИГУРАЦИЯ:

- до 15 баков, включая очистку растворителями, распыление, ультразвуковую очистку, ополаскивание проточной и деионизованной водой;
- плавное перемещение деталей на разных скоростях в процессе осцилляции, вращения;
- производительность до 14 загрузок в час;
- сушка горячим воздухом с HEPA-фильтрацией, в вакууме, инфракрасная сушка;
- размеры баков до 600 × 500 × 600 мм.

Таким образом, автоматизированная модульная ультразвуковая установка погружного типа UCM SmartLine обладает широкими возможностями по обеспечению самого высокого качества очистки различных деталей широкого спектра применения. Продуманные инженерные решения, индивидуальная конфигурация, автоматизация, разработка и сопровождение техпроцесса очистки – все это позволяет решать самые сложные задачи по очистке деталей и изделий.

Примечательно, что отечественные производства стали с большей серьезностью и ответственностью подходить к организации технологии процесса промышленной очистки деталей от загрязнений. Постепенно приходит понимание, что важно выбирать поставщика, который обладает необходимыми компетенциями, знаниями, который сможет подобрать индивидуальное решение конкретной задачи, провести испытания, организовать техпроцесс, обучение и сервисную поддержку, гарантийное и постгарантийное обслуживание. Универсальный алгоритм по выбору оборудования и организации технологии для промышленной

очистки деталей не существует – это многоступенчатый комплексный процесс. Мировая практика и наш опыт показывают, что каждая задача по очистке по-своему уникальна и индивидуальна, поэтому и решать ее нужно соответствующим образом. Отдельные случаи требуют проведения испытаний, и здесь для наших клиентов открыты испытательные лаборатории наших партнеров – поставщиков оборудования и жидкостей, оснащенные по последнему слову техники. В России еще встречаются предприятия, где вопросам очистки деталей от промышленных загрязнений уделяют недостаточно внимания, где значимость процесса очистки в общей технологической цепочке представляется размытой и неоднозначной. Однако процессы очистки зачастую имеют прямое влияние не только на конечный результат, но и на себестоимость изделия, производительность труда, организацию рабочего пространства и времени, эффективность производства. В результате выбор оборудования для промышленной очистки превращается в комплексную задачу с выбором технологии и отмывочной жидкости. □

Если перед вашим предприятием стоят новые задачи в области очистки деталей – повышение качества очистки, автоматизация процессов, обеспечение стабильности и повторяемости, подбор технологии, оборудования, жидкости – обращайтесь в ООО «Остек-Интегра» по электронной почте cleaning@ostec-group.ru или по телефону +7 (495) 788-44-44.



Экономичность

До 5 раз дольше по сравнению с другими отмывочными жидкостями работают жидкости Zestron, производимые по запатентованной MPC-технологии и обладающие уникальным составом.

Подтвержденное качество

Более 10 лет жидкости Zestron успешно применяются в отечественном производстве РЭА ответственного и военного назначения, обеспечивая высокое качество отмыки и надежный результат.

Максимальная совместимость

Уникальный состав обеспечивает максимальную совместимость жидкостей со всеми узлами и деталями оборудования для отмыки, способствуя продолжительному сроку службы оборудования и минимизируя расходы на обслуживание и простой.

Контроль и стабильность

Только Zestron предлагает специальные тестовые наборы для контроля состояния раствора отмывочных жидкостей для своевременной корректировки концентрации и состояния раствора, обеспечивая максимальную стабильность и надежность процесса отмыки.

Эффективность и универсальность

Жидкости Zestron гарантированно и качественно удаляют более 500 видов материалов для пайки.

ZESTRON
High Precision Cleaning



Никаких полумер. Вся полнота преимуществ

Оригинальные отмывочные жидкости Zestron гарантируют непревзойденное качество отмыки и стабильность результата. Широкий ассортиментный ряд позволяет подобрать отмывочную жидкость для конкретной задачи: в соответствии с типом оборудования и процесса, характером загрязнений, индивидуальными требованиями.

Отличительной особенностью отмывочных жидкостей Zestron является высокая эффективность: качественная отмыка, совместимость с оборудованием и компонентами, экономичность. Жидкости Zestron успешно зарекомендовали себя на ведущих отечественных производствах РЭА.

Официальный эксклюзивный дистрибутор Zestron Группа компаний Остек обеспечивает высококвалифицированную техническую и технологическую поддержку, поставку со склада и оперативную доставку по всей России с соблюдением всех условий транспортировки и хранения.

**ostec**
группа компаний

будущее
создается

www.ostec-materials.ru
(495) 788 44 44
materials@ostec-group.ru



Ускоренные испытания на влажность: кому и для чего?



Текст: Любовь Минина

”

При работе с электронным оборудованием необходимо принимать во внимание особенности влияния влажности, так как она может вызывать снижение изоляционных свойств и окисление металлов. Поскольку существует множество механизмов снижения рабочих характеристик оборудования, надо выбирать и совмещать методы испытаний в соответствии с конкретной задачей.

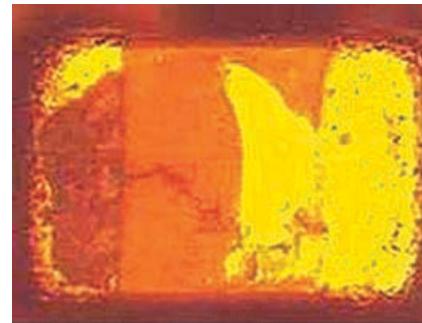
В статье мы рассмотрим несколько подходов к испытаниям на влажность:

1. Имитация условий окружающей среды в камере повышенной температуры и влажности.
2. Проведение испытаний с повышенными значениями температуры и влажности.
3. Циклические климатические испытания и их обзор со стороны базовых значений ускоренных испытаний.

1. Имитация условий окружающей среды в камере повышенной температуры и влажности

В сервисную службу ООО «Остек-Тест» поступил вопрос о причинах образования электрохимической коррозии в монолитных керамических чип-конденсаторах с лужеными клеммами. Ситуация выглядела как показано на РИС ①: «Конденсатор установлен в электронном устройстве размером с кулак. Мы поместили в климатическую камеру 20 таких устройств, установив рабочие параметры 55 °C / 85 % относительной влажности (RH), после чего запустили испытание». Инженер ООО «Остек-Тест» порекомендовал еще раз провести испытание, дополнительно использовав датчик для отслеживания возникающего тока утечки, так как проблема возникает в начальной точке процесса, а не при достижении заданных значений 55 °C и 85 % RH. На следующий день пришло сообщение от заказчика: «Сигнализация датчика утечки сработала через 20 минут после старта».

Преимущество камеры повышенной температуры и влажности заключается в том, что параметры имитации окружающей среды приспособлены к быстрой регулировке, например, на 55 °C / 85 % RH или 85 °C / 85 % RH. Однако есть вероятность, что достоверность результатов окажется сомнительной, если не разобраться в особенностях и характеристиках при соответствующих условиях. Используя данные абсолютной влажности, приведенные в Т ①, специалисты



①

Электрохимическая миграция ионов в керамическом конденсаторе

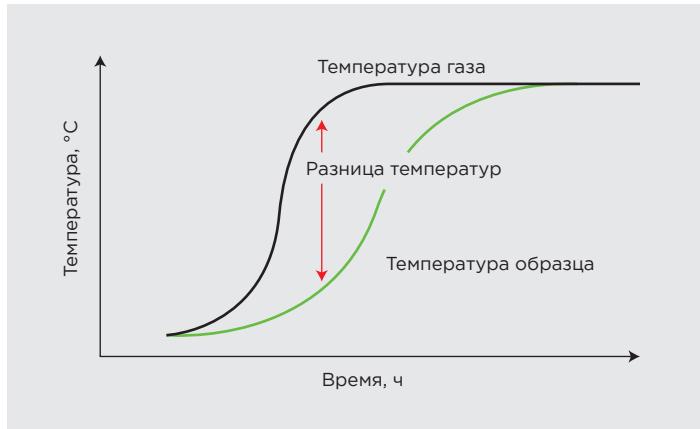
сервисной службы показали, что реальное количество влаги, рассеянной в камере повышенной температуры и влажности, значительно выше.

В начальной точке приведенного как пример испытания температура и влажность в камере резко повышаются. Поскольку образец имеет собственную энталпию, кривая повышения температуры будет отставать, как показано на РИС ②, что, в свою очередь, приведет к снижению температуры. На участках с более низкой температурой в условиях повышенной влажности образуется такой же конденсат, как и летом на бутылке, вынутой из холодильника. Значения точки росы для различных сочетаний температуры и влажности приведены в Т ②. Очевидно, что в начале отставания температуры газа от температуры образца будет тенденция к образованию конденсата, причем это отставание будет прямо пропорционально теплосодержанию образца.

Т ①

Абсолютная влажность (г/м³)

°C \ RH	100	90	85	80	70	60	50	40	30
100	598	538	508	479	419	369	299	239	180
90	424	381	360	339	296	251	212	169	127
85	352	317	299	282	246	211	176	141	106
80	293	264	249	235	205	176	147	117	87,9
70	198	178	168	158	139	119	99,0	79,2	59,4
60	130	117	110	104	91,0	78,0	65,0	52,0	39,0
50	83,0	74,7	70,6	66,4	58,1	49,8	41,5	33,2	24,9
40	51,2	46,1	43,5	41,0	35,8	30,7	25,6	20,5	15,4
30	30,4	27,4	25,8	24,3	21,3	18,2	15,2	12,2	9,12
25	23,0	20,7	19,6	18,4	16,1	13,8	11,5	9,20	6,90
20	17,3	15,6	14,7	13,8	12,1	10,4	8,65	6,92	5,19
10	9,42	8,46	8,01	7,52	6,58	5,65	4,70	3,76	2,82
0	4,85	4,37	4,12	3,88	3,40	2,91	2,43	1,94	1,46



2

Кривая повышения температуры образца относительно кривой повышения температуры/влажности



3

Керамический конденсатор чипа под слоем капель росы

Если капельки воды покрывают верхнюю часть конденсатора чипа, как показано на РИС 3, то условие становится идентичными тому, как и при образовании конденсата для испытаний миграции, закорачивая незащищенные электроды и вызывая кратковременную электрохимическую миграцию. Поэтому при испытании проводимости при высокой температуре и влажности сначала необходимо повысить температуру окружающей среды. Атмосфера с высоким значением влажности должна создаваться только тогда, когда температура образца достигла требуемого уровня (в качестве альтернативы можно поднять температуру в камере при минимальной влажности, а после повысить уровень влаги).

Сервисный инженер объяснил, что кроме подачи напряжения непосредственно после установления

температурно-влажностного режима, необходимо расположить отдельные образцы таким образом, чтобы поток воздуха, предназначенный для поддержания постоянной температуры и влажности в камере, не был затруднен, а открытие и/или закрытие двери камеры во время испытаний не происходило.

Благодаря подаваемому напряжению определили, что в описанном выше случае был выбран неправильный метод испытаний. Однако в других обстоятельствах возникшее явление можно ошибочно считать следствием повышенной температуры / влажности окружающей среды.

2. Повышенная температура (85 °C) и относительная влажность воздуха (85 %).

Когда говорят об ускоренных климатических испытаниях, используют параметры 85 °C и 85 % RH. Коэффициенты ускорения времени поглощения влаги, полученные при стандартных значениях, приведены в Табл. 3. Некоторые специалисты предполагают, что для ускоренных испытаний влажностью эти границы применимы целиком и полностью, однако и здесь требуется аккуратность. Поэтому сначала следует разобраться с происхождением и физическим смыслом этих параметров.

В 60-е годы прошлого столетия в полупроводниковой промышленности произошел прорыв. В то время считалось, что при параметрах 85 °C / 85 % RH возникает предельное напряженное состояние в воздухе, при котором влага передается на герметизированный чип с наибольшей скоростью. Способ, которым вещество проникает в щели или отверстия корпуса, отличается в зависимости от условий окружающей среды. В воздухе применимой моделью является взвешенная суспензия, а в водяном паре или жидкости – поток вязкой жидкости. Поскольку электронные компоненты используются в воздухе,

т 2

Значение точки росы при различных значениях температуры/влажности

°C \ RH	90	80	70	60	50
100	96	94	90	87	82
90	87	93	81	77	73
80	77	74	72	68	64
70	67	64	62	59	55
60	57	55	53	49	46
50	47	45	43	40	37
40	37	35	33	31	28
30	28	25	24	21	18
20	18	16	14	12	9,3
10	8	6	5	2,6	0,1

Т 3

Коэффициент ускорения времени поглощения влаги в различных средах (для микросхем)

ВНЕШНИЕ УСЛОВИЯ	КОЭФФИЦИЕНТ УСКОРЕНИЯ	ПРИМЕЧАНИЯ
В помещении	1	Через год после ввода в эксплуатацию установить коэффициент ускорения при н. у. равным 1
65° / 95 %	125	
85° / 85 %	310	

то необходимо выбирать соответствующие условия для проведения ускоренных испытаний. Однако из-за водяного пара, который также присутствует в смеси, состояние «в воздухе» определяется как «по крайней мере 50 % воздуха» и используется иначе, чем в состоянии водяного пара. В результате максимальная температура и влажность воздуха обозначаются красной чертой, проведенной от 80 до 100 °C при относительной влажности 50 % от давления насыщенного пара в **Т 4**. При этом образование конденсата происходит вблизи значения давления насыщенного пара, а кипение – приблизительно при 100 °C. Поэтому была выбрана оптимально подобранная совокупность параметров 85 °C / 85 % RH.

В результате, параметры испытания 85 °C / 85 % RH применимы к следующим условиям:

воздушная среда;

повышенная скорость проникновения влаги.

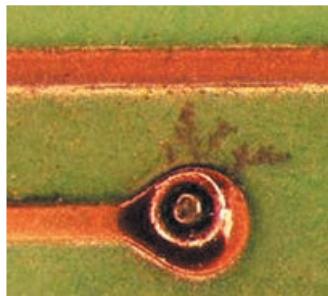
В 1970-х годах появился метод климатических испытаний при повышенных значениях давления и температуры, использующий только проникание 100 % влаги при 0 % газообразного кислорода.

Параметры 85 °C / 85 % RH для ускоренных испытаний обычно применяют при кратковременных режимах использования. Однако иногда проводят и более продолжительные тесты. Явление, которое происходит в этом случае, представляет собой имитацию неблагоприятных условий окружающей среды (**Т 4**). Другими словами, это не ускорение, которое воспроизводят сами явления (происходящие в рабочей среде), а скорее испытание при усиленном напряжении, представляющее собой проникновение такого количества влаги, которое вряд ли произойдет в реальных условиях эксплуатации за многие годы. Идея, лежащая в основе стандарта IEC 62506 «Методы ускоренных испытаний изделий», состояла в отхождении от стандартной количественной оценки при ускоренных испытаниях и получении качественных результатов, выявляя слабые места продукции. Когда явление происходит во время таких испытаний, это не всегда приводит к проблеме при реальной эксплуатации. Именно поэтому бесспорядочное применение итогов испытаний может привести к отказу от пригодных для эксплуатации деталей или процессов. Тут важна корректная оценка такого рода ситуаций.

Т 4

Давление водяного пара (гПа)

°C \ RH	100	90	85	80	70	60	50	40	30
100	1014	913	862	811	710	609	507	406	304
90	702	631	597	562	491	421	351	281	211
85	579	521	492	463	405	347	290	232	174
80	474	427	403	379	332	284	237	190	142
70	312	281	265	250	218	187	156	125	94
60	199	179	169	159	139	119	100	80	60
50	123	111	105	98	86	74	62	49	37
40	74	67	63	59	52	44	37	30	22
30	42	38	36	34	29	25	21	17	13
25	32	29	27	25	22	19	16	13	10
20	23	21	20	18	16	14	12	9	7
10	12	11	10	10	8	7	6	5	4



4

Электрохимическая миграция меди

Следующий пример одного из наших заказчиков особенно показателен. На РИС 4 показана электрохимическая миграция меди, произошедшая между материалом для нанесения паяльной маски и материалом основания печатной платы во время 1000 часового испытания при параметрах 85 °C / 85 % RH.

Это испытание используется не только для оценки внутренних свойств продукции, но и для ускоренной оценки поверхностно-модифицированных наружных поверхностей и износа материалов. Сам метод показан на РИС 5. Постоянное давление водяного пара в течение 16 месяцев при эксплуатации в полевых условиях делится на 12 отрезков, и оценка срока службы по результатам испытаний для 40 °C / 92 % RH, 65 °C / 95 % RH и 85 °C / 85 % RH обрабатывается в соответствии с законом суммирования повреждений для получения прогнозируемого количества лет до окончания технического ресурса.

3. Испытания на термоциклирование и влагу

При оценке старения электрооборудования важно понимать, что ежедневные изменения погодных условий во время эксплуатации будут вызывать усиление влияния внешних факторов нагрузки при трех основных характеристиках:

1. Циклическое изменение суточной температуры вызывает напряжение в контактных зонах, так как электронное оборудование состоит из материалов

и компонентов с различными коэффициентами линейного расширения. Это будет приводить к дефектам, например, отслаиванию и образованию щелей.

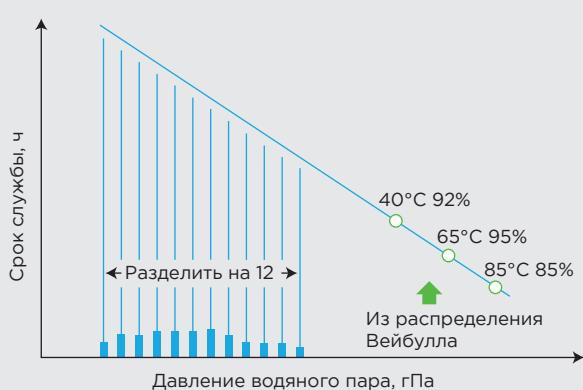
2. Циклическое изменение суточной температуры и влажности приводит к повторной конденсации и осушению, которые ускоряют коррозию из-за концентрации агрессивных ионов и снижают изоляционные свойства по причине повышенной смачиваемости поверхностей между клеммами.
3. Если в условиях высокой влажности используется резервуар с микроотверстиями, то воздух в таре расширяется и сжимается из-за разницы суточной температуры. Из-за повышенной влажности воздуха при более низких температурах появляется конденсат.

Поэтому необходимо рассмотреть оптимально подобранную комбинацию трех характеристик – изменение суточной температуры, влажности и образование конденсата – для ускорения воздействия, которое продукция получает во время использования.

Стандартное испытание термоциклированием с применением влаги было впервые применено в США и законодательно оформлено в 1956 году как метод 106 MIL-STD-202. Это было на начальных этапах распространения электронного оборудования, и американская продукция часто приходила в негодность в Юго-Восточной Азии с ее экстремальными перепадами температур.

Реальные условия эксплуатации представляют собой цикл низких температур при высокой влажности и высоких температур при низкой влажности. Однако, как показано на РИС 6, в температурном цикле максимальная температура может быть доведена до 65 °C при сохранении влажности для усиления перечисленных характеристик. Медленное повышение температуры в течение 2,5 часов показало, что из-за точки росы не наблюдается образование значительной конденсации, но остается так называемая капиллярная или химическая конденсация используемого материала, что позволяет оценить ухудшение, вызванное этими факторами. Кроме того, через раз предусмотрен подцикл, который включает выдержку при температуре -10 °C в течение 3 часов для испытаний на расширение зазоров и подтверждение прочности вибрацией, для оценки влагостойкости, отличной от износа электрохимической изоляцией и коррозии. Это отдельно от метода 103 стационарных испытаний того же MIL-STD-202, который проверяет влагостойкость при 40 °C с постоянной влажности 90–95 % RH. Такое испытание состоит из 10 циклов, и его можно рассматривать как минимальное требование к долговечности изделий, предназначенных для наружного использования.

Испытание термоциклированием с влагой также называется испытанием цикла росы, поскольку быстрое изменение температуры может привести к конденсации точки росы, как описано в первом разделе статьи. Это

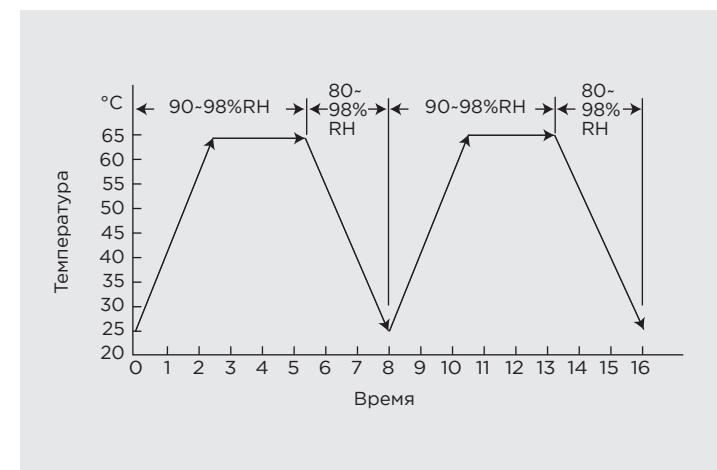


5

Пример применения закона суммирования усталостных повреждений к давлению водяного пара

соответствует стандартной среде использования портативных устройств, которые летом переносятся из кондиционированного помещения на улицу в жару, а зимой из холодной среды в отапливаемое помещение. Если эта смена локации и условий происходит часто, то даже небольшое количество конденсата изменяет поверхностные свойства и приводит к ухудшению изоляции. Поэтому метод испытаний применяется в основном для оценки устойчивости к циклическому воздействию росы.

Если низкотемпературный предел испытаний цикла конденсации росы установлен на минус стоградусные значения, то оно становится испытанием цикла замораживания. Это применимо для оценки устойчивости к перегрузкам и расширению микротрещин, вызванных примерзанием наружного оборудования или оснащения в припаркованных транспортных средствах зимой. □



6

Температурный цикл

В статье было представлено краткое описание характеристик и ограничений для ускоренных испытаний влажностью. Испытание высокой температурой и влажностью эффективно для оценки смачиваемости деталей микросхем и материалов, однако возможное ухудшение качества со временем оптимально оценивать способом термоциклирования с влагой. Ускоренное испытание на влажность не проводится с помощью элементарного повышения влажности. Необходимо комплексно рассмотреть условия испытаний и найти эффективное сочетание методов, в том числе с использованием температурных напряжений и других механизмов деградации.

ОПТИМИЗАЦИЯ

3D-печать алюминиевым сплавом в радио- электронике: опыт оптимизации, перепроектирования и производства

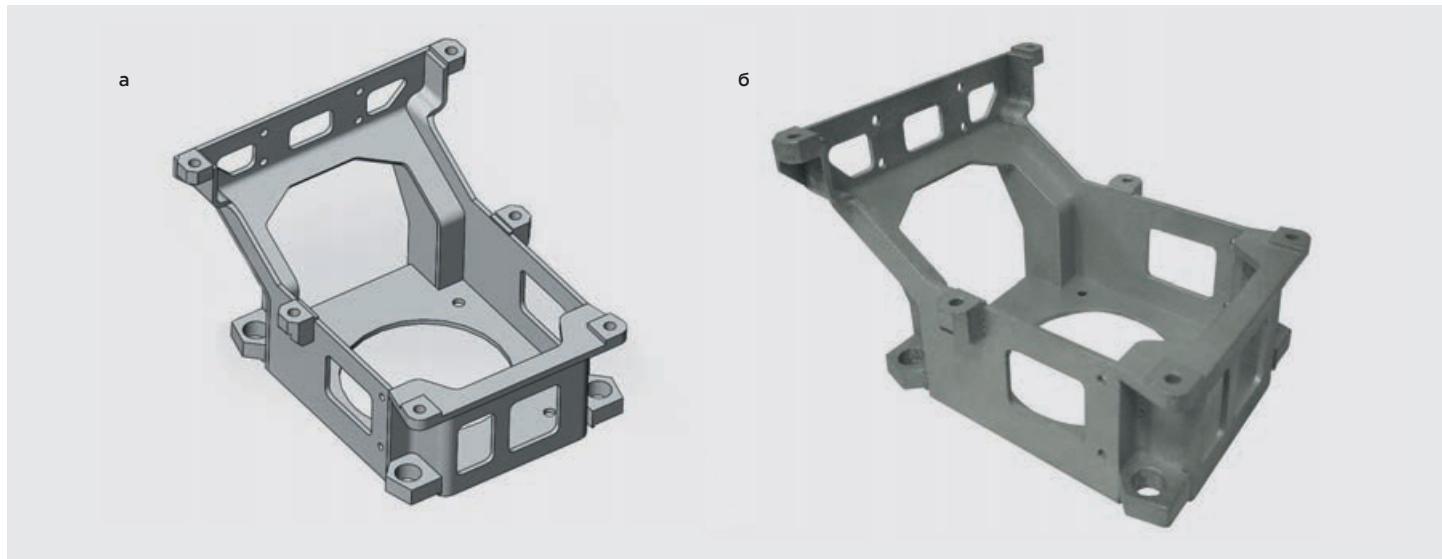


Текст: Антон Нисан

”

Мы уже рассказывали¹ о примерах аддитивного производства элементов волноводных СВЧ-трактов, антенн, кронштейнов, радиаторов как в нашей лаборатории, так и за рубежом. За время, прошедшее после предыдущих публикаций, мы совместно с заказчиками наработали достаточно интересный опыт перепроектирования, оптимизации и изготовления изделий радиоэлектроники методом селективного лазерного сплавления алюминиевого порошка (3D-печати). О нескольких проектах этого опыта пойдет речь в данной статье.

¹ «Вектор высоких технологий» № 2 (37) 2018, №1 (41) 2019



1

Кронштейн волноводного разветвителя: а) разнесенный вид, б) фотография напечатанного изделия, объем без поддержек 58,8 см³

На примере волноводного разветвителя и кронштейна для его крепления, фильтра, рупорных антенн, корпусов с каналами охлаждения мы покажем, какие технические и экономические преимущества аддитивных технологий достижимы на практике, в особенности при проектировании и оптимизации конструкции изделия, учитывая возможности 3D-печати. Все изделия и опытные образцы, о которых пойдет речь ниже, изготовлены в лаборатории аддитивных технологий Остек-СМТ на установке селективного лазерного сплавления Renishaw из сплава AlSi10Mg производства Русал.

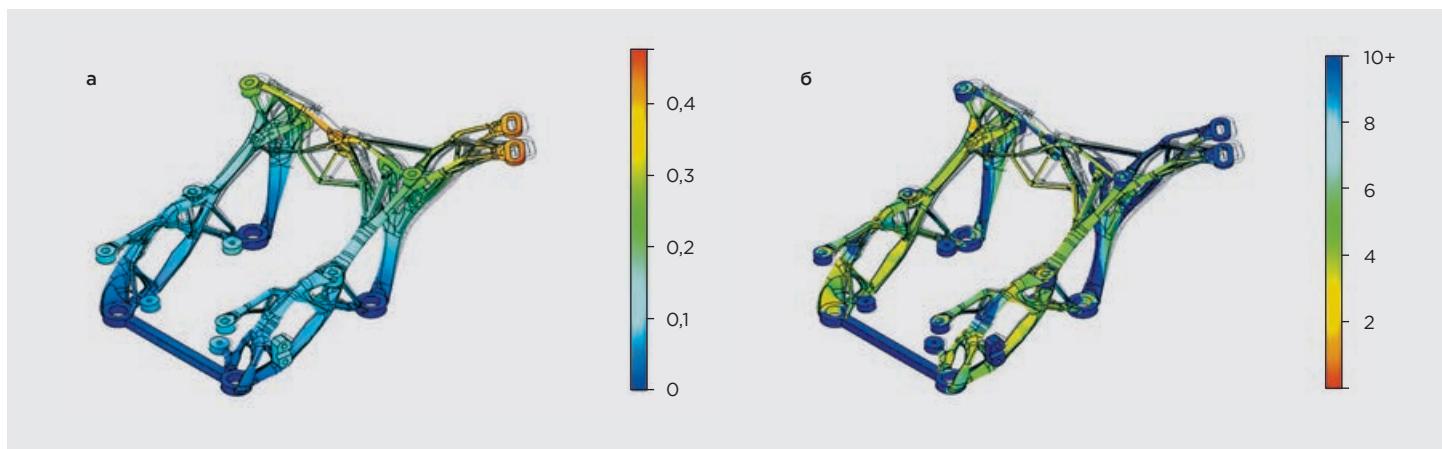
Кронштейн волноводного разветвителя

Оригинальный алюминиевый кронштейн волноводного разветвителя, разработанный АО «НИИ ТП» (рис. 1), изготавливается пайкой из 16 деталей, что весьма трудоемко и требует специальной оснастки для обеспечения требуемых допусков. С помощью аддитивных техноло-

гий кронштейн изготавливается целиком, многократно снижая стоимость и сроки производства – за 49 часов на однолазерной системе печатаются два кронштейна.

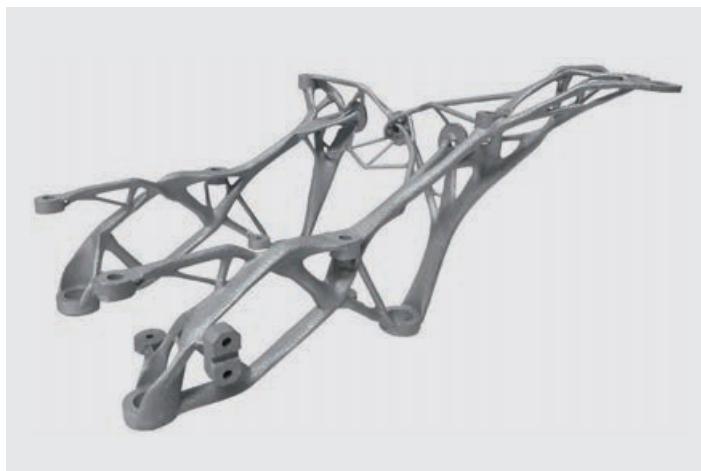
Переход с классической на аддитивную технологию без изменения конструкции уже позволяет почувствовать преимущества 3D-печати, но наиболее полно ее достоинства раскроются при перепроектировании кронштейна с учетом новых технологических возможностей. Для переработки конструкции кронштейна было решено использовать порождающее проектирование.

Порождающее проектирование (generative design) – автоматический поиск (создание) вариантов формы детали в САПР на основе заданных конструктором условий будущего функционирования детали. Конструктор задает объем, в котором системе разрешено производить поиск решения, указывает неприкосновенные для изменения зоны, препятствия, которые необходимо огибать, крепежные и рабочие



2

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния кронштейна в Autodesk Fusion 360: а) деформации, б) коэффициент запаса прочности



3

Фотография напечатанного на Renishaw AM400 кронштейна, разработанного с применением порождающего проектирования во Fusion 360

участки детали, а также условия функционирования детали – закрепления и нагрузки. Как только система закончит поиск решений, она предоставит пользователю для просмотра и оценки найденные варианты геометрии детали. Конструктору необходимо выбрать наиболее подходящий вариант (по массе, прочности, допустимым деформациям, технологичности и другим критериям) и доработать модель.

3D-модель кронштейна, полученная в результате порождающего проектирования в Autodesk Fusion 360, была доработана (добавлена перемычка, сглажены поверхности), и по ней был выполнен расчет напряженно-деформированного состояния, показавший, что деформации и коэффициент запаса прочности соответ-

ствуют требованиям (рис 2). Фотография напечатанного кронштейна представлена на рис 3.

Сравнение оригинала кронштейна и кронштейнов, полученных с помощью порождающего проектирования (т 1), позволяет сделать вывод, что переработка конструкции во Fusion 360 обеспечила следующие результаты:

- снижение массы кронштейна на 56 %: с 214 до 94 г;
- объединение 19 деталей в одну (кронштейн + держатели кабеля);
- уменьшение объема поддержек при печати в 1,5 раза;
- сокращение времени печати на 28 %;
- снижение стоимости напечатанного изделия в 1,9 раза;
- возможность печати кронштейна вместе с волноводом – объединение 32 деталей в одну;
- расчетный коэффициент запаса прочности >2 при заданных схемах нагружения.

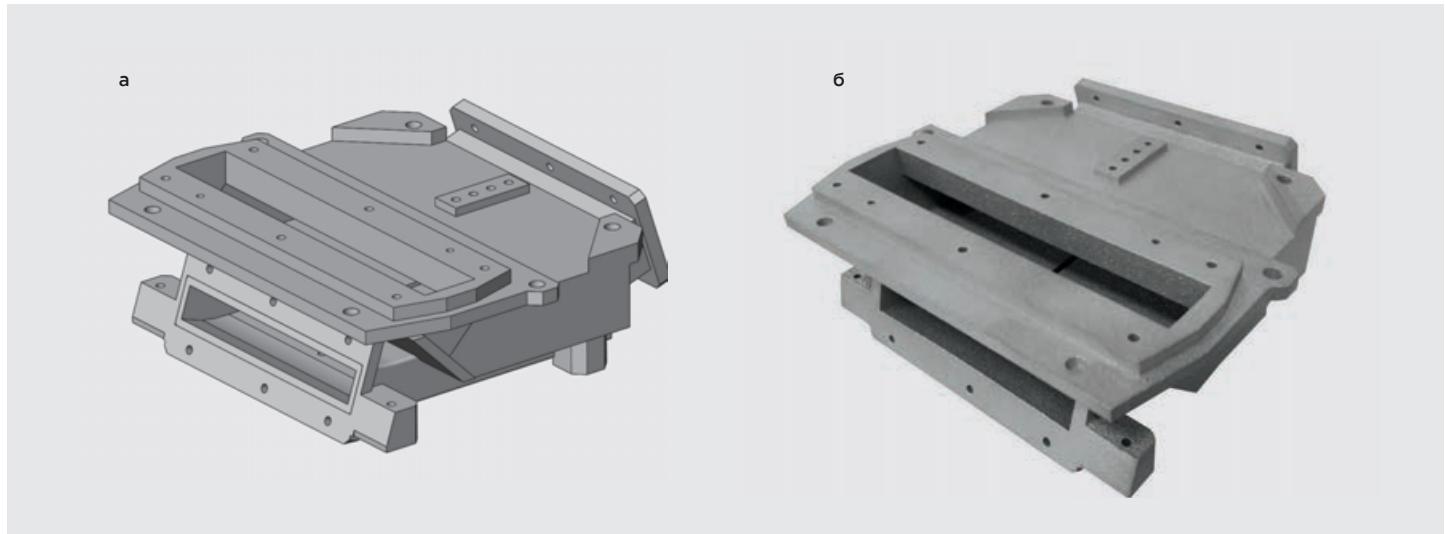
Волноводный разветвитель

Технология, работающий на аддитивном производстве, при подготовке 3D-модели изделия к печати решает две важные задачи, от которых зависит качество изготовления: ориентирование 3D-модели в камере построения и проектирование поддержек – опорных структур, фиксирующих деталь в процессе построения и обеспечивающих теплоотвод. Несмотря на то, что в ПО для подготовки рабочих программ для 3D-принтеров реализован полезный функционал автоматического поиска оптимальной ориентации и автоматического создания поддержек, процесс подготовки 3D-модели к печати требует активного участия технолога и ручных или автоматизированных операций. Выбираемая ориентация и проектируемые поддержки субъективны и зависят не только от знаний и опыта специалиста, но и от его

т 1

Внешний вид, количество деталей и масса оригинального кронштейна и двух вариантов кронштейна, полученных порождающим проектированием

ПАРАМЕТР	ОРИГИНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ	ПОРОЖДАЮЩЕЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ (С ПЕРЕМЫЧКОЙ)	ПОРОЖДАЮЩЕЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ (БЕЗ ПЕРЕМЫЧКИ)
Скриншот модели			
Технология изготовления	Фрезерование + пайка	3D-печать (селективное лазерное сплавление)	3D-печать (селективное лазерное сплавление)
Кол-во деталей, шт.	19	1	1
Масса, г	214	99	94



4

Волноводный разветвитель (разработка в АО «НИИ ТП»): а) разнесенный вид, б) фотография напечатанного изделия, объем без поддержек 127,1 см³

характера. Так, осторожные люди могут перестраховаться и спроектировать поддержки с запасом, чтобы гарантированно напечатать изделие без дефектов с первого раза. При этом растет расход материалов и увеличиваются сроки изготовления. Люди, склонные к риску, могут спроектировать минимум поддержек, чтобы сократить время печати изделия. Однако при этом будет выше вероятность образования дефектов, а в случае брака расход материалов и времени будет еще выше, чем при осторожной тактике.

Минимизировать субъективность, зависимость от человеческого фактора помогает моделирование процесса печати и термообработки в ПО Autodesk Netfabb Local Simulation. В него импортируется 3D-модель сориентированной технологом детали на поддержках, выбираются материалы (порошка и платформы), задаются режимы печати деталей и поддержек, запускается моделирование процесса изготовления. В результате моделирования, в частности, рассчитываются напряжения и деформации как в процессе построения и термообработки, так и после снятия с поддержек. Практическая ценность моделирования процесса изготовления изделий перед их производством заключается в следующем:

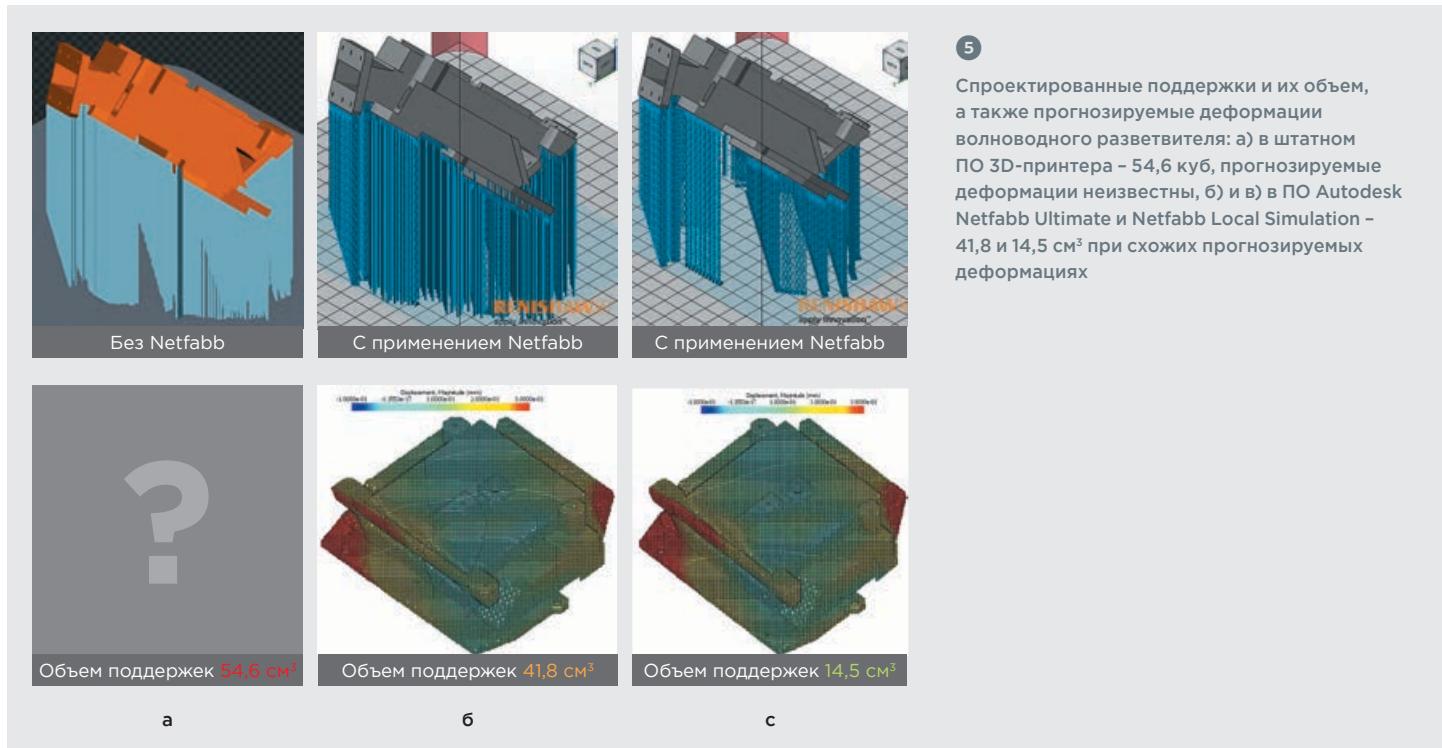
- минимизация объема поддержек, брака, времени и стоимости печати изделия: технолог видит, как спроектированные поддержки влияют на деформации детали, и может убрать практически не влияющие поддержки, оставив их только в тех местах, где они действительно необходимы;
- минимизация деформаций: если расчетная деформация превышает максимально допустимую, то, изменяя ориентацию и/или усиливая поддержки, технолог стремится уменьшить отклонения размеров до приемлемого уровня;
- компенсация деформаций: если изменением ориентации 3D-модели и/или усилением поддержек не получается добиться снижения деформаций до до-

пустимых значений, можно автоматически построить компенсированную 3D-модель, в которой учтены прогнозируемые деформации в процессе производства.

Рассмотрим возможности Netfabb Ultimate и Netfabb Local Simulation на примере подготовки к печати 3D-модели волноводного разветвителя, работающего на частоте 3,3 ГГц. Аналогично кронштейну, волноводный разветвитель состоит из 13 деталей, изготавливаемых механообработкой и соединяемых пайкой, а напечатать разветвитель можно целиком (рис 4).

Изначально поддержки проектировались в ПО, не имеющим функции моделирования процесса печати. Учитывая это, а также понятное желание технолога изготовить разветвитель с первой попытки, поддержек было заложено «с запасом», 54,6 см³ (рис 5а). Похожие поддержки были спроектированы и в Netfabb Ultimate, их объем составил 41,8 см³. Затем за несколько итераций объем поддержек был минимизирован до 14,5 см³: моделировали процесс печати в Netfabb Local Simulation, убирали поддержки, размещенные с точки зрения технолога в некритичных местах (тот самый «запас» для печати с первого раза), снова моделировали процесс печати, удаляли необязательные поддержки и т. д. Это позволило уменьшить объем поддержек с 41,8 см³ до 14,5 см³, т. е. в 2,9 раза без заметного изменения расчетных деформаций (рис 5б, 5в).

Для экспериментальной проверки крайне малой зависимости деформаций от объема поддержек при его снижении, наблюдаемой при моделировании процесса, было напечатано два волноводных разветвителя с максимальным (54,6 см³) и минимальным (14,5 см³) объемом поддержек. Исследование разветвителей, выполненное на рентгеновском компьютерном томографе Phoenix V|tome|x M300, показало, что фактические деформации наружных поверхностей и каналов различаются несущественно, тогда как объем поддержек отличается в 3,8 раза (рис 6).

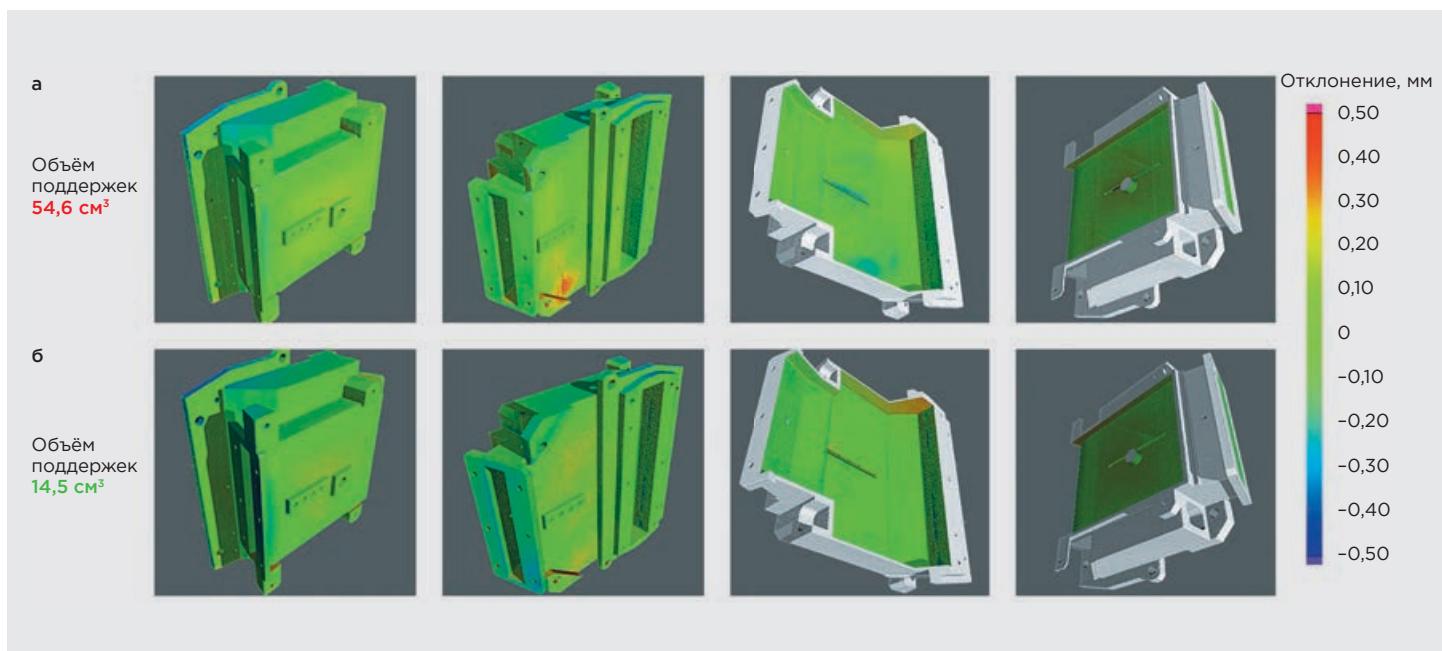


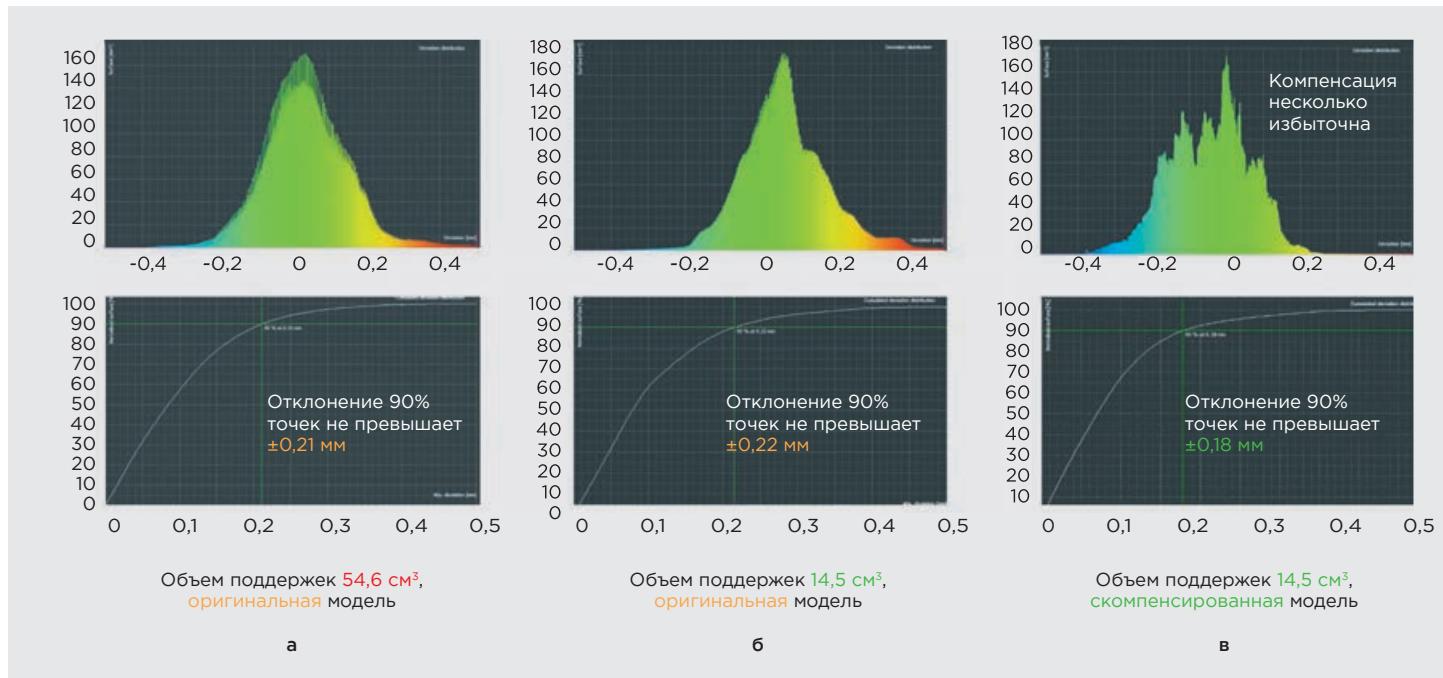
Для повышения точности изготовления была сгенерирована 3D-модель, компенсирующая деформации, возникающие в процессе аддитивного производства. Напечатанная по скомпенсированной 3D-модели деталь тоже исследовалась на томографе Phoenix V|tome|x M300. Результаты исследования показывают, что деформации в каналах разветвителя были уменьшены на 30–40 мкм (рис. 7). Смещение распределения отклонений в сторону отрицательных значений (рис. 7в) свидетельствует об избыточной компенсации, поэтому, уменьшив коэффи-

циент компенсации деформаций, можно добиться еще большего повышения точности изготовления.

Подытожим достигнутые в данном примере преимущества, обеспечиваемые моделированием печати в Netfabb Local Simulation:

- уменьшение объема поддержек в 3,8 раза;
- снижение стоимости печати на 22 %;
- сокращение времени печати на 20 %;
- уменьшение трудоемкости постобработки и объема отходов;





7

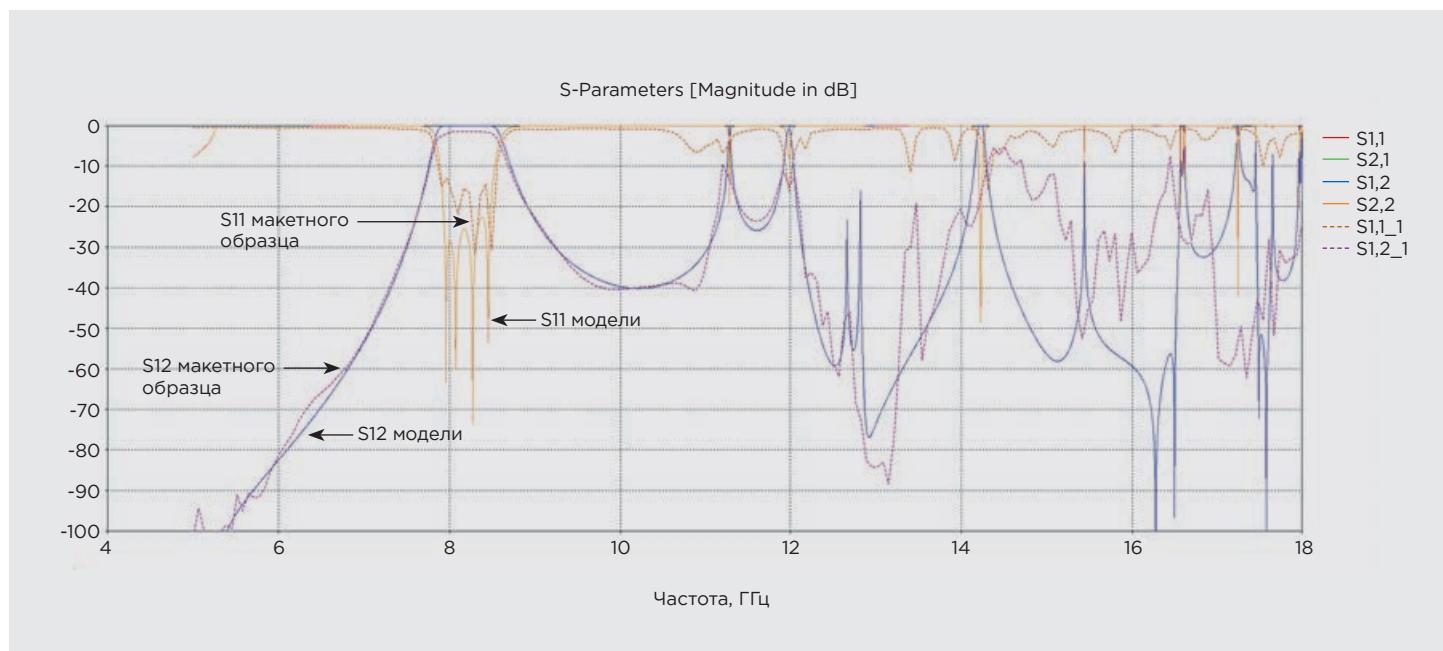
Распределения отклонений поверхности внутренних каналов от номинальных, построенные по результатам томографии волноводных разветвителей, напечатанных по оригинальной 3D-модели с $54,6 \text{ см}^3$ (а) и $14,5 \text{ см}^3$ (б) поддержек и по скомпенсированной 3D-модели с $14,5 \text{ см}^3$ поддержек (в)

- снижение отклонения напечатанной детали от CAD-модели на $\sim 18\%$ (может быть еще улучшено подбором коэффициента деформации).

Отметим, что 25% снижение стоимости и времени печати может не играть важной роли при изготовлении одного изделия, но станет существенным при серийном производстве.

СФЧ-фильтр

Коллеги из АО «РКС» обратились к нам с просьбой напечатать полосовой СВЧ-фильтр с центральной частотой $8,2 \text{ ГГц}$, чтобы измерить его электрические характеристики и определить возможность применения в ракетно-космическом приборостроении. Первым опытным образцом был выбран линейный фильтр, представляющий собой трубу прямоугольного сечения с диафрагмами. На следующей



8

Электрические характеристики лабиринтного фильтра: расчетные (сплошные линии) и измеренные (пунктирные линии) S-параметры (при калибровке в сечении SMA-разъемов)

Т 2

Сравнение стоимости, сроков изготовления линейного и лабиринтных фильтров

ПАРАМЕТР	ЛИНЕЙНЫЙ ФИЛЬТР	ЛАБИРИНТНЫЙ ФИЛЬТР	ЛАБИРИНТНЫЙ ФИЛЬТР С РЕШЕТКАМИ
Фотография			
Расположение резонаторов			
Технология изготовления	Аддитивная технология	Классическая технология	Аддитивная технология
Масса, г	155	155	93
Время изготовления:		~ 1 неделя	~ 1,5 недели
• одна деталь на платформе	19 ч 6 мин	12 ч 0 мин	9 ч 14 мин
• макс. заполнение платформы	11 ч 8 мин	7 ч 33 мин	5 ч 15 мин
Количество деталей, шт.	1	15	1
Себестоимость 1 шт., руб.	51 700*	~ 250 000	27 100*
			~ 400 000
			16 500*

* Без учета механической обработки фланцев и отверстий

итерации специалистами АО «РКС», учитывая возможности аддитивных технологий, изменено расположение резонаторов фильтра для улучшения электрических параметров (подавления второй полосы пропускания), после чего в ООО «Остек-СМТ» спроектированы и оптимизированы решетчатые структуры и уменьшена толщина фланца по результатам прочностного расчета в Netfabb (Т 2).

Электрические характеристики фильтров измерялись без обработки каналов и без нанесения покрытий. Потери линейного фильтра в полосе пропускания в сечении фланцев составили минус 0,3–0,5 дБ, лабиринтного фильтра – минус 0,2–0,25 дБ, КСВ обоих фильтров в полосе пропускания – не хуже 1,8 при калибровке в сечении SMA-разъемов (рис 8). Результаты изме-

рений электрических характеристик линейного и лабиринтного фильтра свидетельствуют о возможности их применения в приемной и передающей аппаратуре малой мощности (10–20 Вт).

В результате перепроектирования обеспечены следующие преимущества применения аддитивных технологий:

- снижение стоимости изготовления в ~10 раз (при переходе с классической технологии на аддитивную);
- снижение количества деталей в 15 раз;
- снижение массы в 2,5 раза;
- электрические характеристики (даже без дополнительной постобработки каналов) при-



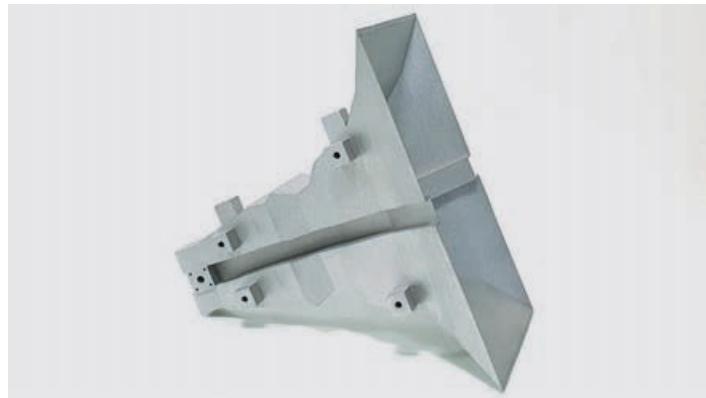
9

Один из заказов на рупорные антенны в 2020 г.

- элементы для применения в системах малой мощности;
- испытание на сжатие: при нагрузке до 1,5 т – только упругие деформации.

Рупорные антенны

В 2019 году были напечатаны первые опытные образцы рупорных антенн для АО «НИИ «Вектор». Испытания антенн подтвердили, что они удовлетворяют требованиям по электрическим характеристикам и стойкости к внешним воздействующим факторам (ГОСТ Р В 20.39.304-98, группа 2.1.3) и пригодны для эксплуатации в составе комплексов радиотехнического мониторинга морского базиро-

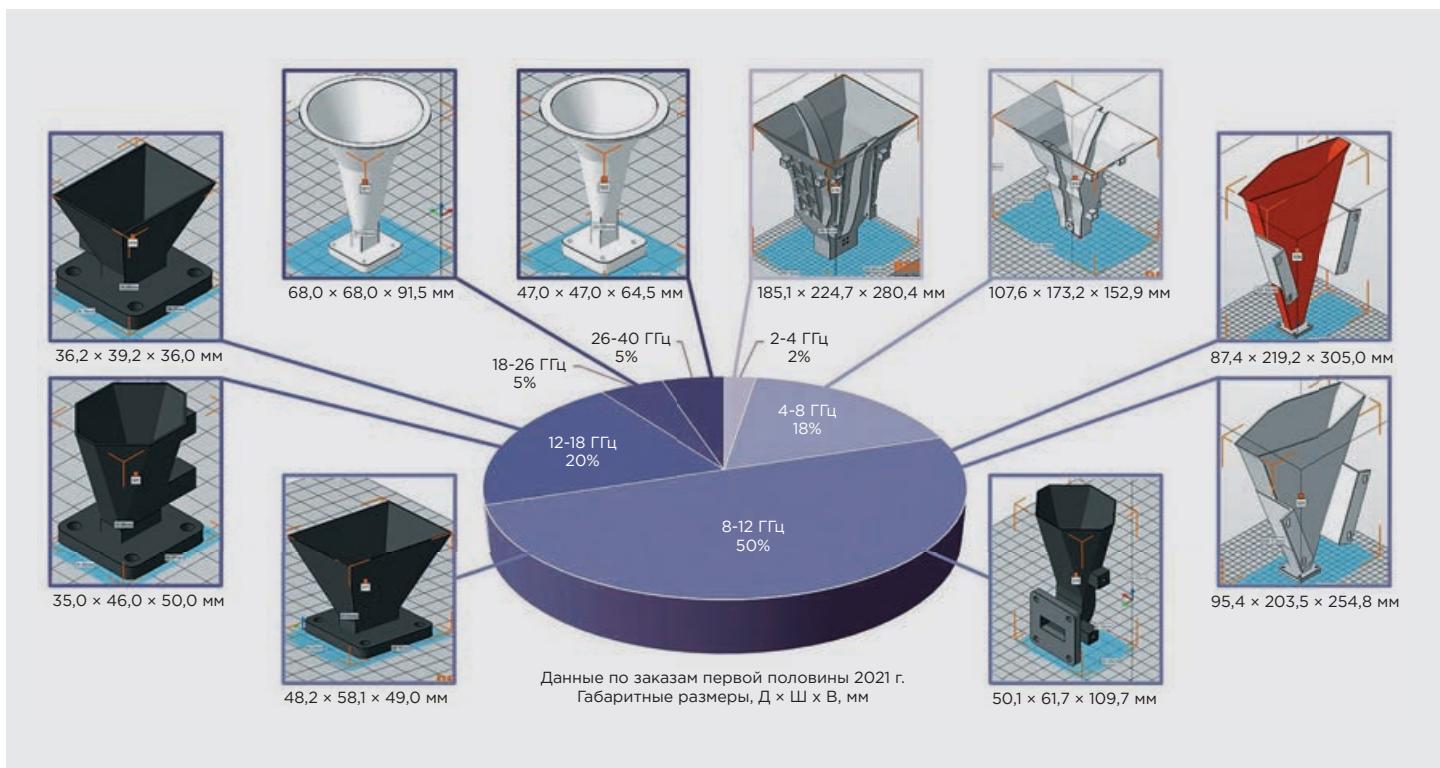


1 1

Напечатанная рупорная антenna, электрические характеристики которой приведены на рис. 12

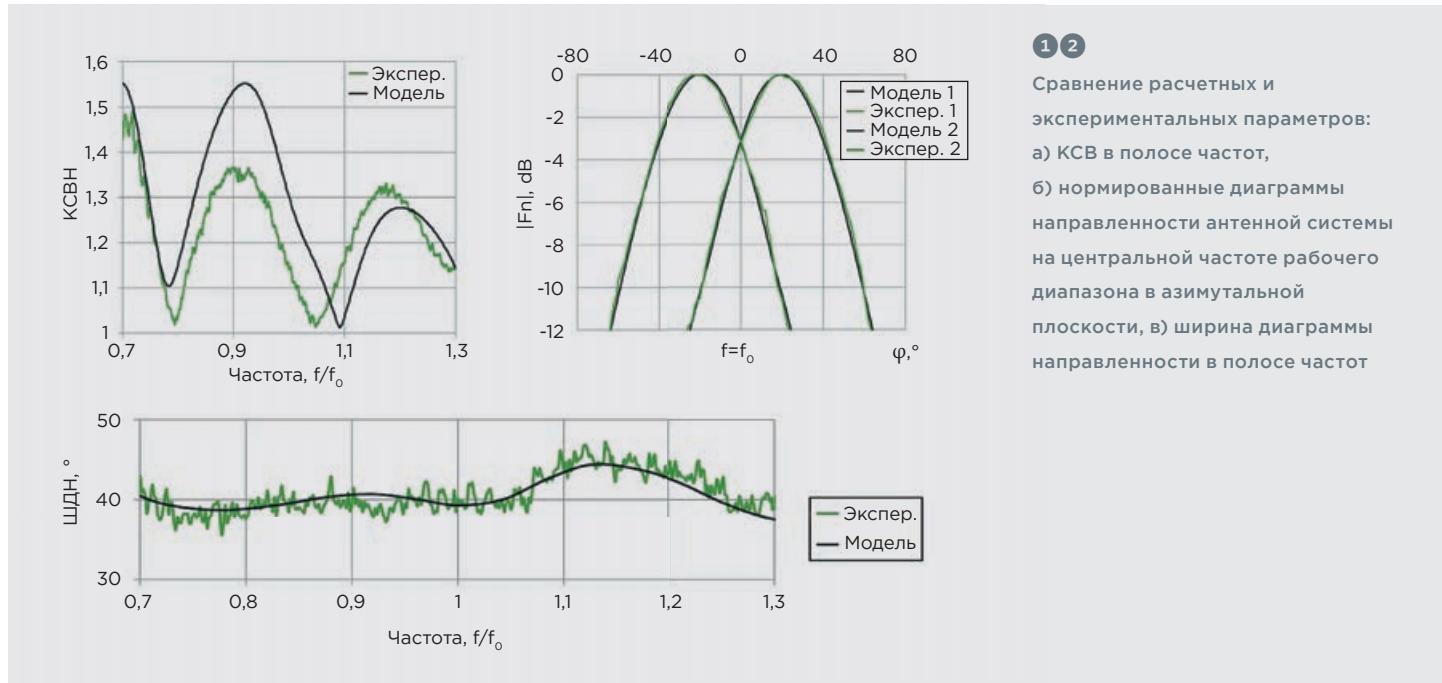
вания. В 2020 и первой половине 2021 годов в нашей лаборатории было изготовлено более 100 шт. серийных рупорных антенн. Половина антенн, изготовленных в 2021 г., работает в частотном диапазоне 8-12 ГГц, 20 % – 12-18 ГГц, 18 % – 4-8 ГГц, по 5 % – 18-26 и 26-40 ГГц и 2 % – 2-4 ГГц (рис. 10).

Сравним расчетные и измеренные электрические характеристики на примере рупора сложной формы с гребнями (рис. 11, рис. 12). Макет антенной системы представляет собой два излучателя, разнесенных на 40° относительно друг друга. Измерения излучения производятся каждой антенной независимо в азимутальной плоскости. На рис. 12а приведены результаты измерения КСВ излучателя и КСВ модели излучателя в пакете



1 0

Распределение серийных рупорных антенн, напечатанных для АО «НИИ «Вектор» в первой половине 2021 г., по частотным диапазонам



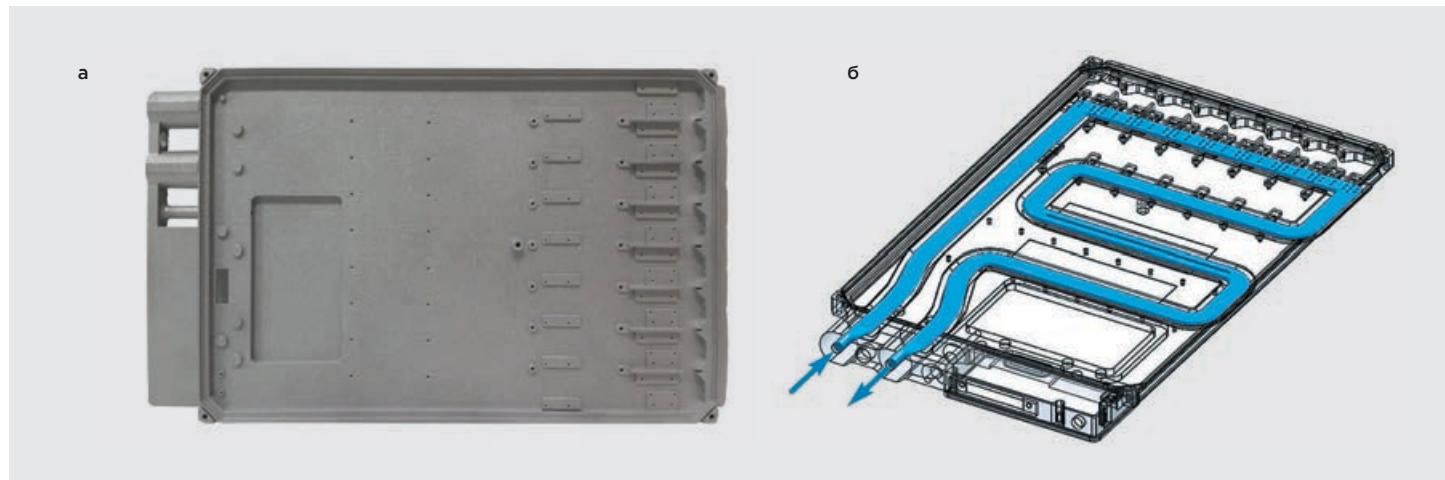
моделирования, где проводящий материал представляет собой идеальный проводник. Диаграммы направленности макета и модели антенной системы на центральной частоте диапазона показаны на РИС 1-2б. А на РИС 1-2в представлены результаты измерения ширины диаграммы направленности (ШДН) в полосе частот. Результаты измерений показывают хорошую корреляцию с теоретическими расчетами и подтверждают соответствие требований к электрическим характеристикам.

Корпуса с каналами охлаждения

В условиях повышения плотности компоновки, уменьшения габаритов элементной базы и электронных модулей обостряется проблема отвода тепла. В таких случаях для обеспечения требуемых тепловых режимов могут применяться жидкостные системы охлаждения.

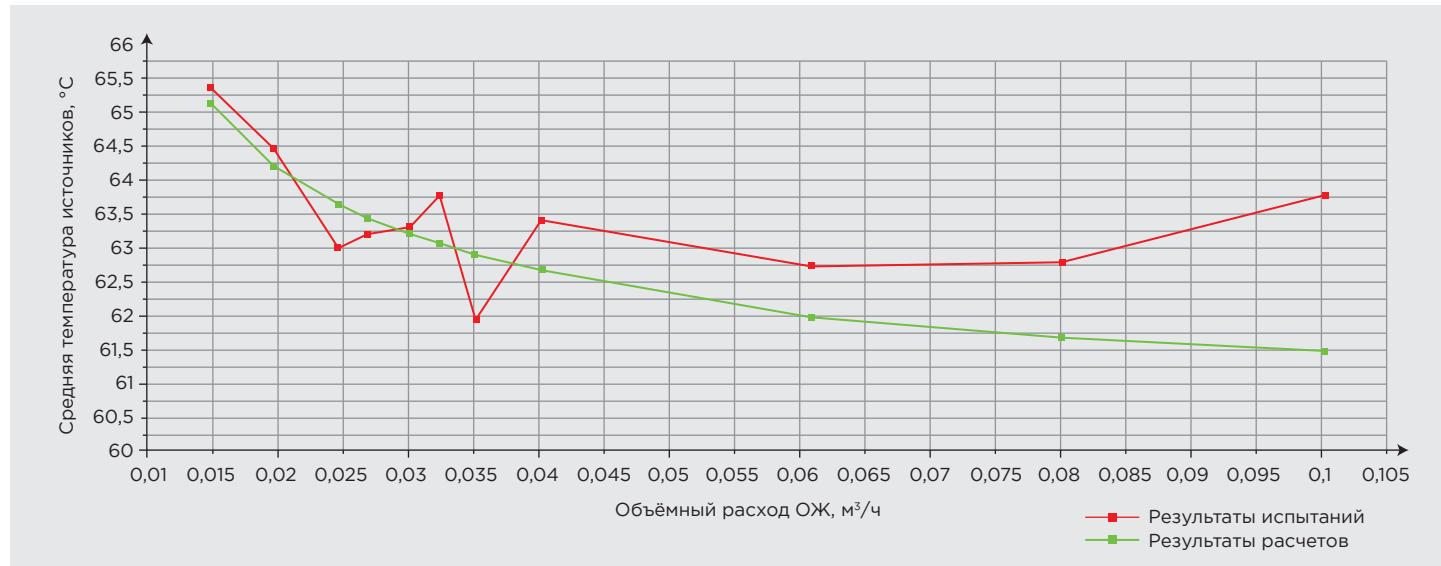
А полноценно используя возможности 3D-печати, каналы для циркуляции охлаждающей жидкости можно выполнить непосредственно в корпусе модуля, оптимизируя их форму и размещение с учетом расположения теплонагруженных элементов и требуемого теплового режима.

Такая задача, в частности, актуальна для производства активных фазированных антенных решеток (АФАР) радаров. Повышение частотных диапазонов радиолокационных систем дает более высокую разрешающую способность и точность обнаружения целей, но приводит к увеличению плотности тепловых потоков в приемо-передающих модулях АФАР (из-за уменьшения размеров модулей при почти неизменном тепловыделении). В свою очередь, перегрев СВЧ-элементов приводит к сокращению их срока службы и ухудшению радиотехнических параметров АФАР.



1 3

Корпус модуля X-диапазона: а) фотография напечатанного макета, б) расположение каналов охлаждения



1 4

Результаты испытаний макета корпуса для X-диапазона: зависимость средней температуры имитаторов (источников нагрева) от объемного расхода охлаждающей жидкости (источник: Ю.О. Соляев, МАИ)

С целью экспериментальной проверки встраивания в корпуса системы жидкостного охлаждения в МАИ были спроектированы макеты корпусов приемо-передающих модулей АФАР S-, X- и Ка-диапазона (2–4, 8–12 и 27–40 ГГц соответственно), РИС 1 3. Два последних были изготовлены в нашей лаборатории. Результаты испытаний макетов корпусов (РИС 1 4) показывают приемлемые параметры охлаждения и подтверждают применимость 3D-печати корпусов со встроенными каналами жидкостного охлаждения для АФАР.

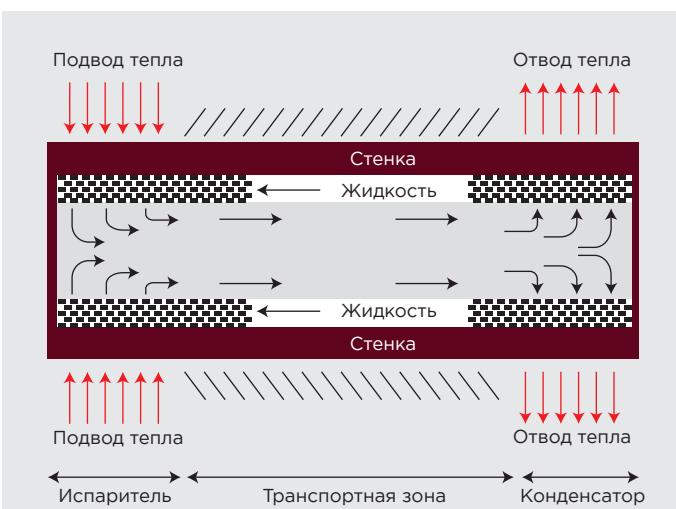
Корпуса с тепловыми трубами

Логическим продолжением и дальнейшим развитием корпусов со встроенными каналами жидкостного охлаждения являются корпуса с тепловыми трубами. Эффективная теплопроводность тепловых труб может достигать $100 \text{ кВт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, что в сотни раз превышает теплопроводность меди.

Простейшая тепловая труба представляет собой герметичный корпус, внутренние стенки которого покрыты капиллярно-пористой структурой (фитилем)². Трубы вакуумируются до остаточного давления 10^{-5} – 10^{-4} мм рт. ст. и заполняются рабочей жидкостью (например, водой, аммиаком) так, чтобы фитиль был полностью насыщен ею, а в остальном внутреннем пространстве был ее насыщенный пар. Принцип работы тепловой трубы состоит в следующем (РИС 1 5). При подводе тепла к испарителю жидкость испаряется из фитиля, поглощая тепло. Давление пара в трубе увеличивается, нарушаются динамическое равновесие системы пар-жидкость в остальной части трубы, вызывая конденсацию пара

на поверхности фитиля. При конденсации пара тепло отдается фитилю, отводится в конденсаторе, а жидкость возвращается по фитилю в испаритель за счет капиллярных сил.

Отработка режимов печати капиллярно-пористой структуры сделает возможным выращивание корпусов со встроеннымными тепловыми трубами в одном цикле построения. В результате выполненных в нашей лаборатории начальных экспериментов, направленных на оценку возможности печати капиллярно-пористой структуры, были получены такие структуры с проницаемостью 10^{-15} – 10^{-12} м^2 . Эксперимент подтвердил возможность построения капиллярно-пористых структур и требует



Источник: D. Jafari, W.W. Wits. The utilization of selective laser melting technology on heat transfer devices for thermal energy conversion applications: A review

² Алексеев В.А. Основы проектирования тепловых аккумуляторов космических аппаратов. Монография. – Курск: Науком, 2016. – 248 с., ил.

1 5

Схема идеальной одномерной модели тепловой трубы



Система селективного лазерного сплавления Renishaw AM400 в лаборатории аддитивного производства Остек-СМТ

Лаборатория аддитивных технологий

В феврале 2018 года лаборатория аддитивных технологий Остек-СМТ была оснащена 3D-принтером Renishaw AM400 и оборудованием для постобработки. За 3,5 года в лаборатории было выполнено свыше 200 циклов печати и изготовлено 2360 изделий и образцов для 60 заказчиков.

47 % объема производства лаборатории составляют элементы СВЧ-трактов, еще 12 % – кронштейны и корпуса.



дальнейшего продолжения для отработки технологии получения структуры с требуемыми свойствами. Мы открыты к сотрудничеству в данном направлении!

Заключение

За 3,5 года работы лаборатории аддитивных технологий мы увидели, как меняется отношение к 3D-печати металлом в радиоэлектронной промышленности. Изначальный скепсис и восприятие систем печати как «игрушки», годной, в лучшем случае, для изготовления макета, сменяются осторожной заинтересованностью сделать и испытать опытные образцы. Результаты испытаний опытных образцов положительно удивляют, стимулируют конструкторскую мысль перепроектировать и оптимизировать для еще большего использования потенциала аддитивных технологий. А дальше наступает этап «легализации» применения 3D-печати для производства конечных изделий. У кого-то он проходит сравнительно быстро (например, у АО «НИИ «Вектор»), и мы переходим к серийному производству изделий; у кого-то он затягивается из-за административных сложностей (хотя техническая состоятельность решения уже

доказана). Важно, что интерес к технологии заметно вырос, восприятие ее стало серьезнее, опытные образцы удовлетворяют требованиям и подтверждают применимость 3D-печати, а примеры серийного производства множатся.

Благодарим наших коллег из АО «НИИ ТП», АО «РКС», АО «НИИ «Вектор», МАИ за совместную работу над проектами и предоставленные результаты измерений электрических характеристик. □

Заявку на посещение лаборатории можно отправить по электронной почте 3D@ostec-group.ru или считав QR-код. Будем рады продемонстрировать вам примеры изделий и оборудование и обсудить возможности применения 3D-печати металлами для решения ваших задач.

3D-печать для производств радиоэлектроники



✓ СВЧ-тракты,
кронштейны,
корпуса

✓ Объединение
до 32 деталей
в одну*

✓ Снижение
массы изделия
в 2,5 раза*

✓ Уменьшение
стоимости
в 10 раз*

Преимущества работы с Остек-СМТ

- Высокие компетенции специалистов в радиоэлектронной отрасли
- Опыт перепроектирования и оптимизации изделий под аддитивные технологии
- Собственная лаборатория аддитивных технологий
- Собственный центр компьютерной томографии для контроля качества изделий

* Результаты получены в лаборатории аддитивных технологий Остек-СМТ

ТЕХПОДДЕРЖКА

**Если вы не
нашли решения,
это не значит,
что его нет!**

Сервисная служба
«Остек-ЭК»

Текст: Владимир Команов,
Иван Погорельцев

”

В обычном представлении технический сервис – это плановое обслуживание, гарантийные и постгарантийные ремонты, включая обеспечение этих работ запасными частями и необходимыми расходными материалами. В таком случае задачи сервисной службы могут решаться силами нескольких специалистов, выезжающих к заказчику в плановом порядке или по вызову при возникновении нештатной ситуации с оборудованием. В Остек-ЭК принято иное понимание задач сервисной службы. Ведь компания специализируется на реализации комплексных проектов развития технических и технологических возможностей производств электронных компонентов.

Что мы называем сервисной службой?

Мы определили для себя функции сервисной службы и круг ее ответственности, опираясь на общий подход Группы компаний Остек к работе с заказчиками. Остек-ЭК не продает оборудование – компания предоставляет готовое технологическое решение, гарантированно соответствующее как текущим, так и предвидимым потребностям предприятия-пользователя; она не обслуживает проданные машины, а решает все проблемы заказчика, так или иначе связанные с его технологическим процессом и эксплуатацией задействованных в нем установок.

Такой подход особенно актуален именно в той области, в которой специализируется Остек-ЭК – в микроэлектронике. Нет никакого секрета в том, что почти вся индустрия страны пережила многолетнюю стагнацию, а в некоторых аспектах и прямую деградацию. За это время технологии ушли далеко вперед, и если в более консервативных отраслях образовавшееся отставание может быть сравнительно легко преодолено, то для микроэлектроники оно особенно критично. Потерянные годы привели к тому, что компании, решившие приступить к выпуску микроэлектронных устройств либо вывести имеющееся производство на новый технологический уровень, могут недостаточно полно представлять себе рынок оборудования, тонкости технологии, испытывать дефицит сотрудников с необходимым профилем и уровнем знаний. Им нужен квалифицированный помощник, способный быстро понять проблему и обеспечить всё необходимое для ее решения: от консультаций по составу технологической линейки до оперативной поставки запчастей и расходных материалов. Именно таким помощником является сервисная служба ООО «Остек-ЭК».

Наши ресурсы: знания, опыт, ответственность

Наша компания уже 30 лет осуществляет проектирование технологических процессов, поставку оборудования и материалов, пусконаладку и обслуживание установок и линий для производства микроэлектроники самых разных направлений – от бытовых приборов до военной техники – в России и СНГ. Костяк нашей сервисной команды составляют специалисты (рис. 1), обученные представителями советской инженерной школы – их компания ищет по всей стране. Они передают молодым коллегам свои знания, которых не найдешь в институтских учебниках.

Большинство инженеров компании более 10 лет работают с тем оборудованием, на котором специализируются, и обладают ценнейшим опытом. Практика сервисной службы дает тому множество подтверждений. В качестве одного из них можно привести случай, когда компания Остек-ЭК впервые должна была ввести в строй настольную установку резистивной



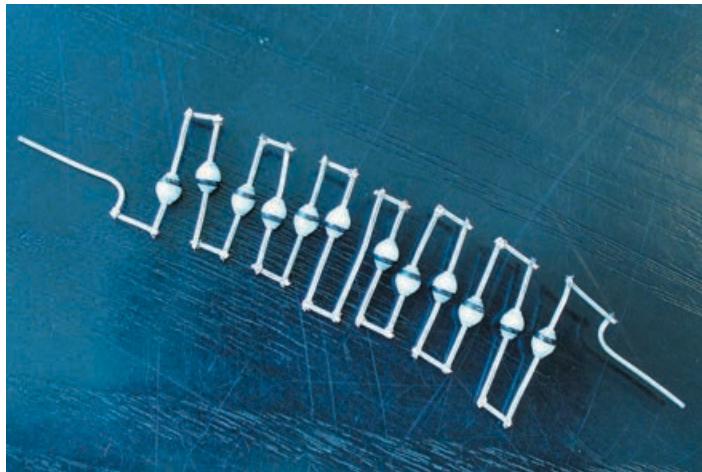
1

Инженеры сервисной службы

сварки с оппозитными электродами для контактной сварки выводных электронных компонентов.

По инициативе клиента проверка работоспособности установки производилась на диодах с никелированными штыревыми выводами. Задача состояла в том, чтобы сварить их вывод на вывод, выполнял ее специалист сервисной службы Остек-ЭК в присутствии нескольких инженеров предприятия-заказчика. В зависимости от материала изделия, его покрытия и габаритов режимы сварки отличаются. Например, температура плавления меди и никеля разная: как только медь начинает плавиться, никель все еще остается твердым, как только никелевое покрытие расплывается, из-за повышенных параметров и приложенной силы сварки это приводит к сильному искрообразованию.

В нашем случае заказчик не знал толщину покрытия, поэтому сначала были установлены невысокие значения тока, напряжения и мощности сварки, при которых технологический процесс проходил, но сварки не произошло. При третьем или четвертом повышении параметров сварное соединение образовалось, но очень слабое. А при следующем повышении выводы диодов соскользнули с электродов, и последние в яркой вспышке накрепко сварились между собой. Такой эффект произошел из-за того, что диаметры электродов близки к диаметрам вывода диода. С установкой ничего не случилось, ведь короткое замыкание является обычным режимом ее работы; электроды раскусили кусачками, их торцы отполировали. Данный случай объясняет, что при сварке образцов необходимо использовать параметры с длительным временем нарастания тока, что приводит к более контролируемому нагреву, и риск искрообразования будет снижен. Однако полное избавление от искр возможно только путем изменения покрытия. Инцидент имел единственное серьезное последствие: вывод о том, что при настройке сварки надо сначала увели-



2

Результат разварки диодов



3

Установка атомно-слоевого осаждения

чивать продолжительность контакта и усилие сжатия, а ток – в последнюю очередь. Именно так в дальнейшем и был отложен эффективный и надежный процесс сварки, при котором слипания электродов не происходило даже тогда, когда с них соскальзывали выводы компонента. Заказчик получил работающее оборудование и понимание корректного подхода к подбору параметров процесса сварки в случае необходимости его перенастройки.

Инженеры сервисной службы посещают заводы производителей оборудования, семинары и мастер-классы, знакомятся с последними мировыми достижениями в своей области, постоянно общаются с поставщиками, контакты с которыми принимают форму дружественного взаимодействия, основанного на взаимном доверии. Такие отношения порой оказываются очень полезным для оперативного решения возникающих проблем. Так, на одном из предприятий-заказчиков ввод оборудования в эксплуатацию планировалось проводить совместно с изготовившими его партнерами из Республики Корея. Однако из-за эпидемических ограничений приезд партнеров оказался невозможным. Так как помимо пусконаладочных работ оборудования для заказчика необходимо было проводить обучение, сотрудники отдела сервиса оперативно прошли дистанционное обучение совместно с корейскими партнерами по обслуживанию и эксплуатации оборудования, а также по работе программного обеспечения и написания технологических рецептов. Благодаря накопленному опыту удалось быстро усвоить материал и обучить персонал заказчика в короткие сроки.

В ходе выполнения работ были проведены тестовые процессы по осаждению оксида алюминия для формирования пассивирующего слоя на GaN-подложках (рис. 2) из прекурсора TMA (триметилалюминий). В ходе выполнения этих работ персоналу заказчика были даны все инструкции по работе с

опасными прекурсорами, описан процесс подготовки оборудования перед установкой или демонтажем емкостей с опасными веществами. В ходе отладки процесса осаждения атомарных пленок оксида алюминия были отработаны температурные режимы подложкодержателя и время подачи прекурсора и кислорода в камеру для получения наилучшей равномерности пленок.

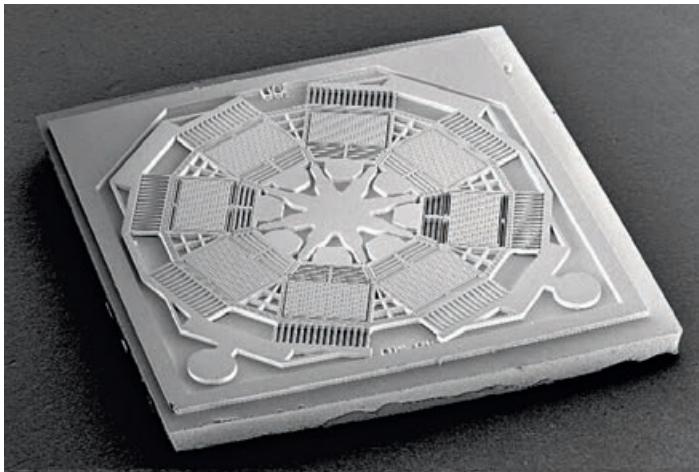
Оборудование было подключено в кратчайшие сроки – за три дня, после чего в течение двух недель был полностью отложен технологический процесс (рис. 3).

Что мы предлагаем

Спектр услуг, которые предлагает сервисная служба Остек-ЭК, соответствует широкому пониманию ее предназначения.

Подготовка проекта. Участие сервисной службы в проекте заказчика может начинаться на самых ранних его этапах. Сервисный инженер – это специалист, имеющий опыт работы с технологической базой многих предприятий, выпускающих продукцию разного технического уровня, с различными требованиями к технологии, объемами выпуска, организацией контроля. Он лучше всех знаком с тонкостями конструкции и функционирования различных моделей того класса оборудования, на котором специализируется, и использует эти знания на самых ранних стадиях совместной с заказчиком работы над проектом – уже в процессе уточнения технического задания и составления спецификации оборудования, предполагаемого к закупке.

Запуск нового производства. Успех и сроки завершения работ по пусконаладке вновь установленной линии в значительной степени зависят от того, как сервисная служба определяет свою роль в этом процессе. Известно, что на рынке сложного технологического оборудования поставщик часто выпол-



4

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) – устройства, объединяющие микроэлектронные и микромеханические компоненты

няет роль перекупщика. Не располагая надежной сервисной службой и знанием особенностей техники и технологии, он после включения линии и проверки на эталонном образце, который зачастую весьма далек от продукции заказчика, оставляет последнего один на один с установленными машинами.

В отличие от такой практики Остек-ЭК действует как поставщик-интегратор – как главное звено в цепи создания комплексного решения под ключ для конечного заказчика, ведь именно системный интегратор не просто поставляет оборудование, программное обеспечение, материалы, но и, обладая необходимым опытом и компетенциями, выполняет проектирование, монтаж и пусконаладку решения, отработку технологии, а также предлагает заказчику гарантийное и сервисное обслуживание. Именно специалисты Остек-ЭК общаются с заказчиком, снимают задачу и на основе задачи находят необходимое решение. Этот процесс основан не только на опыте специалистов Остек-ЭК, но и на опыте производителей оборудования, инженеров, технологов иностранных предприятий, которые уже сейчас решают задачу заказчикам, опираясь на полученные данные, готовят комплексное техническое решение. Силами своей сервисной службы компания с самого начала активно сотрудничает с технологами заказчика. Большой опыт внедрения позволяет отработать корректную технологию и настроить параметры оборудования для эффективного производства. Максимально ответственное отношение к взятым по контракту обязательствам выражается в том, что по желанию заказчика подписание закрывающих документов может происходить после получения годных образцов его собственных изделий с подтверждением требуемых характеристик как продукта, так и процесса его изготовления.

Хорошим примером может служить история проекта, выполненного для клиента, который решил орга-



5

Оборудование для автоматической УЗ-разварки тонкой проволокой

низовать производство МЭМС (микроэлектромеханические системы, рис. 4) по известной ему зарубежной технологии. Это был полный цикл сборки: резка пластин, монтаж, плазменная очистка и разварка кристаллов, разрушающий контроль, оптическая инспекция и т. д. – вплоть до герметизации в корпус.

Проект был интересный, команда менеджеров, технологов и сервисных инженеров Остек-ЭК быстро проработала его и подобрала необходимый состав линии. Оборудование приходило от производителя согласно графику, но некоторое время пришлось хранить его на складе компании, поскольку заказчик не успевал достроить чистую комнату. По ее готовности оборудование было в течение двух недель завезено на площадку, установлено и подготовлено к работе. Проверка оборудования на тестовых образцах дала прекрасные результаты. Проблема возникла тогда, когда наступило время пробного запуска штатного изделия заказчика: этап разварки кристаллов тонкой проволокой давал нестабильные результаты, и все попытки подобрать режим к успеху не привели.

В таких случаях следует внимательно изучить предыдущие операции. В первую очередь, обратили внимание на плазменную очистку поверхностей – подозрение не подтвердились. Проверили операцию монтажа кристаллов: может быть клей при полимеризации попадает на контактные площадки? Нет, здесь тоже всё было в порядке.

Причину нашли на этапе резки пластин. Выяснилось, что не соответствовали требованиям вытяжка и вода, подаваемая в зону резки для охлаждения режущего диска и вымывания образовавшейся при резании крошки: вытяжка была слабой, а давление воды – недостаточным. Во время резки кремниевая пыль оседала на контактных площадках, и потом никакая плазменная очистка не могла с ней справиться.

Прямое решение было невозможно реализовать – особенности инфраструктуры производствен-



6

Отработка режимов шовно-роликовой герметизации в демозале компании Остек на образцах заказчика

ного помещения не позволяли изменить параметры вытяжки и системы подачи воды. Выход был найден в доработке технологического маршрута – в него ввели операцию защиты поверхностей перед резкой: на пластину наносится тонкий слой полимерного материала, который после резки отмывается вместе с пылью.

После введения дополнительной операции партия годных изделий из номенклатуры заказчика была получена (рис. 5).

Перевод выпуска продукции на новую технологическую основу. Стоит отметить, что особую сложность представляют случаи, когда нужно перевести на новое оборудование уже работающее производство с определившейся номенклатурой продукции и кругом поставщиков материалов и комплектующих.

Проблемы возникают, в частности, в связи с качеством материалов: чаще всего оно не соответствует тем материалам, на которых производители установок отрабатывали рекомендуемые режимы их работы. В таких случаях помочь опытных инженеров сервисной службы Остек-ЭК, взявших на себя ответственность за получение конечного результата, оказывается особенно полезной (рис. 6).

Сервисная служба поддерживает технологическое сотрудничество с заказчиком независимо от того, приобреталось ли оборудование в рамках контракта с компанией или самостоятельно. В любом случае служба готова помочь усовершенствовать технологию или отработать новую, увеличить выход годной продукции, оптимизировать весь производственный процесс.

Аудит производства. Для решения последней задачи предлагается такая услуга, как технологический аудит производства – многоэтапный анализ всех производственных процессов, который учитывает конструкцию изделий, технологию, оборудование, используемые расходные материалы и инструменты,

квалификацию персонала и многое другое. По результатам аудита даются рекомендации, и здесь опыт инженеров сервисной службы, участвовавших в реализации множества проектов, позволяет выбрать вариант действий, дающий максимальный эффект при минимальных затратах. Это может быть корректировка режимов установки, подбор материала, незначительное изменение конструкции изделия, устраняющее возникшую технологическую проблему, и так далее.

Модернизация технологических установок.

Часто у предприятия возникает необходимость адаптации своего технологического оснащения к изменению или расширению номенклатуры изготавливаемых изделий. Здесь также будет весьма полезна помощь сервисного инженера с большим стажем, не только досконально знающего конкретный класс машин со всеми входящими в него моделями, с опциями, предлагаемыми производителями, но и знакомого с порядком до- и переоснащения установок, особенностями организационного взаимодействия с различными вендорами и т. д. Он может предложить варианты модернизации оборудования вместо приобретения нового, что позволит увеличить до необходимого уровня технологические возможности производства, при этом значительно, зачастую кратно, уменьшив затраты и продлив срок эксплуатации оборудования.

Сервисная служба Остек-ЭК предлагает полный комплекс услуг, обеспечивающий всю необходимую помощь в любой сложной ситуации.

Это диагностика – оценка текущего состояния оборудования, позволяющая определить риски его дальнейшего использования и принять превентивные меры для недопущения поломок и снижения эффективности работы установок.

Это ремонт – комплекс операций по восстановлению характеристик машин с заменой неисправных деталей, а также возвращение к рабочим настройкам при их допустимом износе.

И это, конечно, плановое техническое обслуживание. Согласно статистике компании, в 50 % случаев причиной отказов сложной техники является отсутствие регулярного технического обслуживания. Отдельно стоят ситуации с оборудованием, которое редко используется и потому, казалось бы, не требует внимания сервисного специалиста – его поломки воспринимаются как неожиданные, но в действительности являются прямым следствием отсутствия регулярного технического обслуживания.

Сервисная служба Остек-ЭК использует только оригинальные запасные части с гарантией производителя. Сформирована библиотека сервисных работ, в которой фиксируется история каждой единицы оборудования, прошедшей через ремонт или находящейся на техническом обслуживании компании. Это помогает заказчику

и исполнителю ориентироваться в проведенных работах, видах и количестве использованных запасных частей, объеме затраченных средств. В библиотеке обобщен многолетний опыт поддержки клиентов, что позволяет найти решение практически для любой проблемы. Кроме того, по ее данным проводится анализ сервисных случаев по всем вендорам и моделям оборудования.

Сервис вокруг сервиса

Большое внимание в сервисной службе компании уделено скорости выполнения работ. Для этого реализована складская программа (4 000 наименований), заказчику предлагается формирование комплектов критически важных запасных частей. Срок поставки запчастей «под заказ» – от пяти дней, это самый лучший показатель в отрасли.

Помимо выполнения работ силами собственных специалистов, сервисная служба проводит обучение операторов работе с оборудованием, поставляемым Остек-ЭК. Для инженеров и технологов предлагаются курсы повышения квалификации на основе индивидуальных программ, разработанных с учетом специфики оборудования и потребностей конкретного производства.

Создаем будущее вместе с вами!

В Остек-ЭК любят сложные задачи, которые для других могут показаться невыполнимыми, ведь именно такие задачи позволяют получать знания, без которых невозможно быть лучшими на рынке. Опытом, который мы получаем при выполнении разноплановых работ при решении нетривиальных проблем зачастую в условиях специфических ограничений сегодняшнего дня, мы делимся с нашими заказчиками, а еще – с молодыми специалистами, которых с удовольствием возьмем в свою команду и будем развивать как высококвалифицированных сервисных инженеров. 

30-летний опыт компании-лидера позволяет с гордостью оглядываться на прошлое и с уверенностью смотреть в будущее. Мы будем рады сотрудничеству и всегда готовы помочь в реализации ваших проектов и решении интересных задач.

www.ostec-micro.ru

Цифровые коммуникации – возможности или ограничения?



Текст: Наталия Мосолова

”

Больше года назад мы еще не могли представить, что переведем свою жизнь в онлайн-режим, что у многих из нас единственным собеседником внезапно станет компьютер. Что теперь всё – от еды и предметов первой необходимости до квартир и домов – мы будем покупать онлайн. А главное, что у нас появится свободное время, которое можно посвятить своему развитию и образованию – также в формате онлайн.



Проведение онлайн-семинара

Видеоконференции и онлайн-семинары (вебинары) давно вошли в нашу жизнь. Однако более комфортными и продуктивными большинству участников рынка казались очные встречи, переговоры, посещения демозалов и производств, выставок и семинаров, неформальное общение с партнерами. Онлайн-формат был не столь популярен.

Но когда в один день все остановилось, нам пришлось поменять приоритеты. Не отказаться от всего – а поменять формат.

Тенденция перехода мероприятий в онлайн захватила весь мир. Как показывают цифры, во время пандемии COVID-19 с начала 2020 года видеоконференции и вебинары начали пользоваться таким успехом, какого никогда не было. Один из популярных интернет-ресурсов для проведения онлайн-мероприятий¹ подсчитал, что в марте 2019 году на его платформе провели 60 000 вебинаров с общей аудиторией 870 579 человек, а в марте 2020 года число мероприятий выросло в 5 раз – до 300 000 с общим числом слушателей 3 203 035 человек. А это был только первый месяц пандемии!

В чем же отличие онлайн-формата семинара (вебинара) от традиционного? Разница только в месте проведения: при онлайн-формате участники не собираются в реальном зале или офисе, им достаточно иметь под рукой компьютер или даже телефон с выходом в интернет. В остальном – отличий нет. На вебинаре, так же, как и на семинаре, выступают один или несколько спикеров, экспертов в своей области, которые представляют обозначенную тему слушателям. Рассказ сопровождается демонстрацией презентаций, фото, видео и других материалов, проведением опросов и голосований. Спикеры могут предоставлять слово партнерам из любой точки мира, включая онлайн-демонстрацию работы оборудования, и вести дискуссию с участниками.

Мероприятия в онлайне, конечно, лишают нас живого контакта и общения, но, с другой стороны, экономят время и дают возможность неограниченного самообучения 24/7 из любой точки мира с возможностью в любой момент пересмотреть запись или отвлечься на важный звонок.

Статистика – вещь упрямая и говорит сама за себя: онлайн-общение продолжает тенденцию к дальнейшему развитию. Очень многие на своем опыте убедились, что это удобно. Конечно, есть и те, кто предпочитает очные мероприятия и иные способы получения информации, или даже категорично настроены к онлайн-формату, утверждая – «вебинары не эффективны, их скучно смотреть, нужна практика!»

Давайте рассмотрим наиболее частые возражения и постараемся их развеять.

5 мифов о технологических вебинарах

1. Нет привычного диалога между участниками и спикерами

› Нет, это не совсем так.

На всех современных вебинарных площадках предусмотрены чаты, где участники на протяжении онлайн-мероприятия общаются между собой, задают вопросы спикерам и получают обратную связь, могут поделиться своим мнением или кейсом. Остек-СМТ за один эфир получает до тысячи сообщений, и порой блок ответов и комментариев длится дольше, чем теоретическая и практическая части вебинара.

2. Нет практической части и тактильного контакта

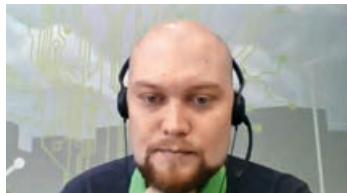
› Отчасти верно, но не совсем.

Стремление сделать каждый вебинар интересным, насыщенным и информативным заставляет организаторов подкреплять теоретическую часть практической – демонстрациями решений, кейсами. Более того, участники могут в мгновение очутиться в любой точке мира, чтобы взять мастер-класс у специалиста, задать профессиональные вопросы.

Остек-СМТ на своих вебинарах проводит демонстрации оборудования как из собственных демозалов и лабо-

Вебинар: блок вопрос-ответ

¹ <https://blog.clickmeeting.com/ru/pandemic-webinars-report>



Вебинар: практическая часть. Прямое включение из Швейцарии, компания Essemtec



Вебинар: стрим из Центра развития технологий Остек-СМТ

раторий, так и с производственных площадок партнеров и производителей из стран Европы и Азии.

3. Мало новой информации

- › Отчасти верно.

Ведь велосипед уже был изобретен до нас, и мы заново его уже придумать не сможем, только лишь усовершенствовать. Это справедливо практически для любой отрасли. Наши партнеры предоставляют нам пул информации по особенностям работы с оборудованием и, обновляя его, делятся с нами новыми знаниями, а мы их транслируем на наших вебинарах, подкрепляя информацию собственным опытом, успешными кейсами наших клиентов.

Большинство участников наших вебинаров – специалисты и руководители с многолетним стажем и профессиональным опытом. Однако закрепление знаний, понимание проблем специалистов других предприятий отрасли, возможность задать вопрос – немаловажный фактор в профессиональном развитии.

4. Реклама, а не полезная информация

- › Нет, это не так.

Конечно, цель большинства мероприятий – рассказать о возможностях тех или иных систем, о собственной экспертизе, новинках. Организаторы таких мероприятий понимают важность внимания аудитории и тщательно подходят к подготовке контента, делая его полезным и информативным.

Вебинары Остек-СМТ, как правило, начинаются с исчерпывающей теоретической части по технологии, затем идет

практическая часть с привлечением специалистов ведущих производителей оборудования и в финале – блок вопрос-ответ. Также после мероприятия мы отправляем участникам полезные материалы по теме.

5. Отсутствие времени на участие

- › Нет, в большинстве случаев это не так.

«Учиться, учиться и еще раз учиться» – своему образованию и повышению квалификации мы должны уделять не меньше времени, чем образованию детей.

В реальности на участие в вебинаре уходит гораздо меньше времени, чем на любой живой формат общения. Смотреть и слушать вебинар вы можете, находясь на рабочем месте, на отдыхе, даже в дороге – достаточно иметь под рукой телефон и стабильный интернет. А в случае занятости или возникновения аврала вебинар можно посмотреть в записи. Это удобно, поэтому именно сверхзанятые люди по всему миру предпочитают дистанционный формат.

А что на практике?

Остек-СМТ за сезон осень-весна 2020-2021 провел серию вебинаров, в которых суммарно приняли участие более 1 000 человек – специалистов и руководителей сборочно-монтажных производств отрасли радиоэлектроники. Это хороший показатель с учетом того, что в первое время нам приходилось бороться со скепсисом в отношении онлайн-формата. И теперь мы уверены, что технологические вебинары пришли к нам не на время, а займут весомое место в системе обучения и повышения квалификации. ─

А. Злобин: «Спасибо за качественную подготовку и подачу материала. Всегда с интересом посещаю семинары и конференции от вашей компании. В вебинарах участвовал впервые, слышал, но всегда предпочитал живое общение. Сейчас с уверенностью могу сказать, что получаю новые знания и опыт, не отрываясь от работы. Удачи вам!»

А. Будашиев: «Впервые участвовал в таком формате общения. Было интересно. Возможно, не хватило тактильного контакта с оборудованием, но после просмотра вебинара и ответов на все вопросы пришло понимание, что это именно то оборудование, которое подходит нашему производству».

Е. Вепрякова: «Организация хорошая, материал подан доступно. Партнеры из Швейцарии подробно показали работу оборудования. Большой плюс, что ваш спикер вел синхронный перевод, тем самым исключив языковые преграды, особенно, что касается технического сленга».

АКАДЕМИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОСТЕК-СМТ ПРИГЛАШАЕТ

ОНЛАЙН-СЕМИНАРЫ

30 сентября
11:00 ЦИФРОВОЕ СБОРОЧНО-МОНТАЖНОЕ ПРОИЗВОДСТВО РЭА
Демонстрация работы элементов решения



06 октября
11:00 3D-ПЕЧАТЬ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ
Демонстрация напечатанных изделий



07 октября
10:00 КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА СБОРКИ
Прямое включение из демозала Viscom, Германия



14 октября
10:00 СКЛАД 4.0: КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА
Прямое включение из демозала Essegì, Италия



21 октября
10:00 МОДУЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА FUJI AIMEX ДЛЯ УСТАНОВКИ КОМПОНЕНТОВ
Демонстрация работы модульной платформы AIMEX III

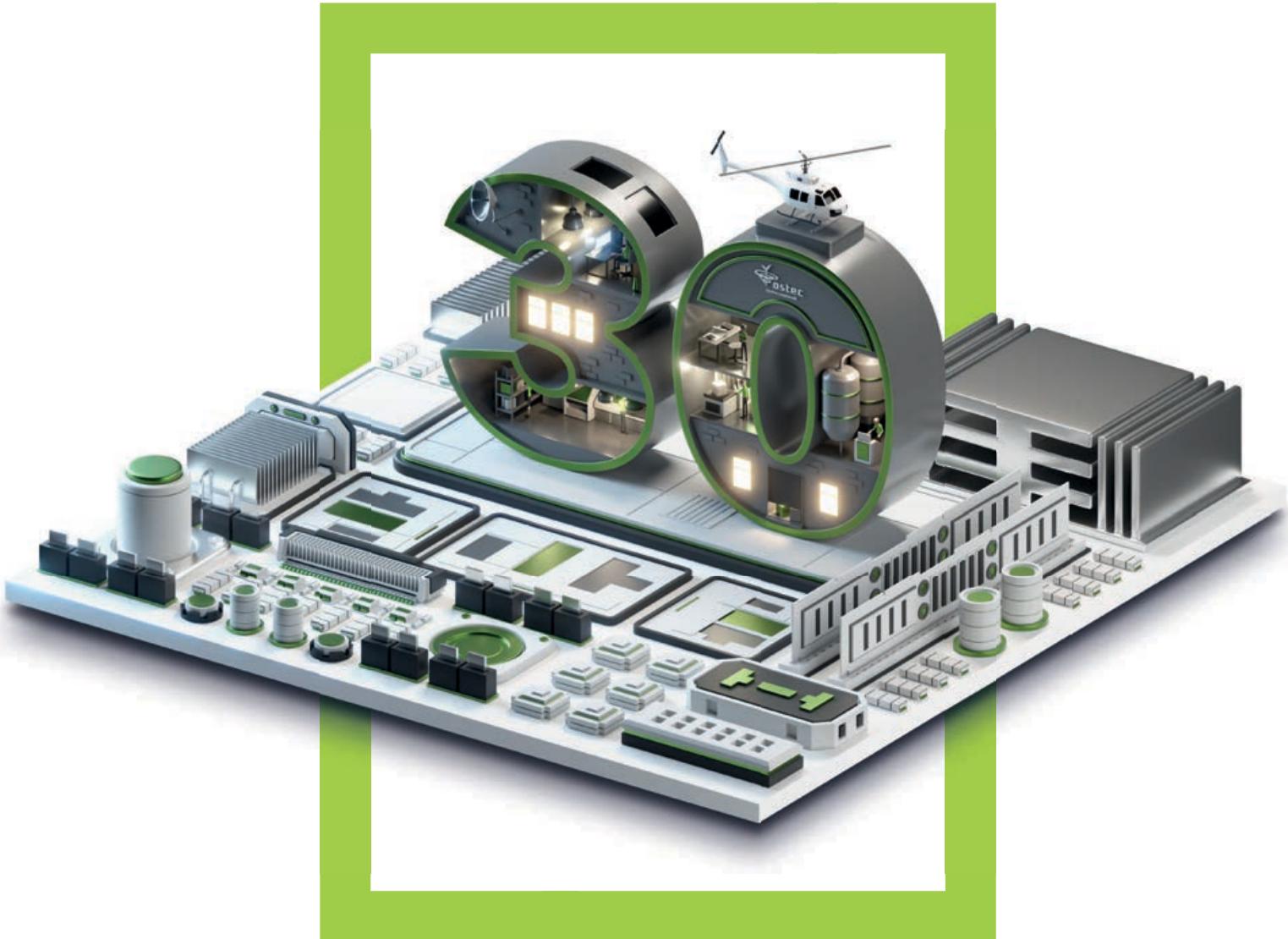


28 октября
10:00 МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СБОРОЧНЫЕ ЦЕНТРЫ
Прямое включение из демозала Essemtec, Швейцария



Онлайн-формат встреч – это удобно и информативно!
Будем рады видеть вас на наших мероприятиях!

Тридцать лет содействуем развитию ● ● ●



Отлаживая производство новых технологий, запуская оборудование заказчиков, разрабатывая новые программные продукты - мы содействуем развитию. Развитию своих сотрудников, бизнеса клиентов, электроники и других отраслей. Победы Остека за прошедшие 30 лет – это результат совместных усилий большого числа людей. Мы благодарны всем энтузиастам своего дела, увлеченным профессионалам, кто помогал и поддерживал. Мы вместе создаем будущее, которым можно гордиться!