

04 (04) ноябрь 2013

# ВЕКТОР

ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ  
Научно-практический журнал

## ПЕРСПЕКТИВЫ

Филип Плонски

8

ВСТРАИВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ  
В ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ  
И ПОДЛОЖКИ —  
СИТУАЦИЯ И ТЕНДЕНЦИИ  
НА ОБЩЕМИРОВЫХ РЫНКАХ

## ТЕХНОЛОГИИ

Евгений Борисов

41

СПИНТРОНИКА.  
КУДА ДВИГАТЬСЯ ДАЛЬШЕ?

## ОПТИМИЗАЦИЯ

Роман Кондратюк

52

ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ  
РАБОЧИХ ТЕМПЕРАТУР  
СИЛИКОНОВЫХ  
ЭЛАСТОМЕРОВ ДЛЯ  
ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ  
ЭЛЕКТРОНИКИ



НАПРАВЛЕНИЕ  
ПРОИЗВОДСТВ  
ЭЛЕКТРОННЫХ  
КОМПОНЕНТОВ



через

лет

**требования  
к миниатюризации  
изделий  
микроэлектроники  
возрастут  
на порядок.**

Во многих секторах российской экономики очевидна тенденция роста доли и значимости высокотехнологичной продукции микроэлектроники. Учитывая это, мы разработали комплексные решения, которые многократно увеличивают степень интеграции производственных процессов. Они позволяют улучшить функциональные возможности

**Решения,  
позволяющие  
их выполнить,  
мы предлагаем  
уже сейчас**

конечного продукта, а также снизить массогабаритные характеристики, благодаря чему на рынок поступают новые, действительно конкурентные, продукты. Наши решения учитывают все особенности российского рынка и позволяют достигать самых высоких технологических результатов при максимальной экономии средств в сжатые сроки.

УЗНАЙТЕ БОЛЬШЕ



Тел.: (495) 788-44-44  
info@ostec-group.ru



**будущее  
создается**

[www.ostec-group.ru](http://www.ostec-group.ru)



### Уважаемые читатели!

«Передовая технология», «передовое оборудование» — эти и подобные определения настолько часто можно встретить в отраслевых журналах, посвященных технологиям и оборудованию для производства электроники и радиоэлектроники, что их хочется просто запретить использовать.

Гораздо больше смысла появляется в употреблении этого понятия, если определить передовые технологии как технологии, основанные на последних достижениях науки и техники, высокоточных средств и методов, а также информационных технологий. В сочетании с высокопроизводительной рабочей силой и организационными моделями такие технологии позволяют совершенствовать существующие или создавать совершенно новые материалы, продукты и процессы.

По-моему, немаловажные дополнительные критерии оценки того, является ли технология действительно передовой, предложены организацией IDA в отчете «Emerging Global Trends in Advanced Manufacturing».

Приведу некоторые из них.

- Потенциал стать технологической платформой. Это критерий способности технологии или процесса выступать в качестве платформы, на которой могут быть построены другие технологии или процессы. Технологическая платформа является комбинацией оборудования, методов и других технологий, у которых есть потенциал, чтобы привести к скачку в производительности и возможностях.

- Критичность для национальной безопасности. Национальная безопасность интерпретируется в широком смысле и включает в себя военные, экономические, энергетические, экологические, политические и социальные вопросы безопасности. Производство и достижения в области производства имеют решающее значение для национальной безопасности по многим причинам: чтобы обеспечить поставку товаров и услуг для защиты, удовлетворить коммерческие потребности, обеспечить целостность цепочки поставок, занятость и экономический рост.

- Объем инвестиций в НИОКР в странах, считающихся мировыми технологическими лидерами. Высокий уровень инвестиций не обязательно означает, что технология будет иметь решающее значение для будущего, это позволяет предположить, что правительства данных стран и глобальные рынки определили, что технологии имеют высокую вероятность коммерческого успеха.

В четвертом выпуске «Вектора высоких технологий» несколько статей посвящены передовым технологиям, и всем нам будет особенно интересно взглянуть на эти статьи с учетом предложенных критериев.

**Антон Большаков, директор по маркетингу**

Научно-практический журнал «Вектор высоких технологий»,  
свидетельство регистрации: ПИ № ФС 77 - 55527 от 07.10.2013, учредитель ЗАО Предприятие Остек.

Редакционная группа: Большаков Антон, Волкова Ирина.

121467, Москва, Молдавская ул., д. 5, стр. 2.

E-mail: [marketing@ostec-group.ru](mailto:marketing@ostec-group.ru)

тел.: 8 (495) 788-44-44

факс: 8 (495) 788-44-42

Оформить бесплатную подписку на журнал можно на сайте [www.ostec-press.ru](http://www.ostec-press.ru)



# В НОМЕРЕ

## НОВОСТИ

- |   |   |
|---|---|
| <p>4 ПРОШЛА ПЕРВАЯ РОССИЙСКАЯ 3D-MID КОНФЕРЕНЦИЯ</p> <p>6 КОМПАНИЯ INDIUM ПРЕДСТАВЛЯЕТ НОВУЮ ВОДОСМЫВАЕМУЮ ПАЯЛЬНУЮ ПАСТУ INDIUM6.4</p> | <p>6 ПАРТНЕРСКОЕ СОГЛАШЕНИЕ МЕЖДУ ЗАО «ОСТЕК-ТЕСТ» И КОМПАНИЕЙ AZ-BIL TELSTAR</p> <p>7 НОВАЯ УСТАНОВКА ТЕСТИРОВАНИЯ МИКРОСОЕДИНЕНИЙ DAGE 4000OPTIMA</p> |
|---|---|



## ПЕРСПЕКТИВЫ

**ВСТРАИВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ В ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ И ПОДЛОЖКИ — СИТУАЦИЯ И ТЕНДЕНЦИИ НА ОБЩЕМИРОВЫХ РЫНКАХ** ..... 8

Автор: Филип Плонски

**МИР В НОВОМ СВЕТЕ** ..... 24

Автор: Николай Павлов

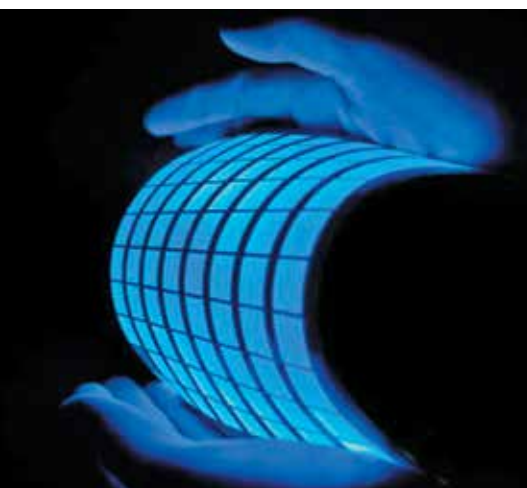
## ТЕХНОЛОГИИ

**ПАЙКА В ПАРОВОЙ ФАЗЕ – ДРУГ ИЛИ ВРАГ? ЧАСТЬ 2** ..... 32

Автор: Василий Афанасьев

**СПИНТРОНИКА. КУДА ДВИГАТЬСЯ ДАЛЬШЕ?** ..... 41

Автор: Евгений Борисов



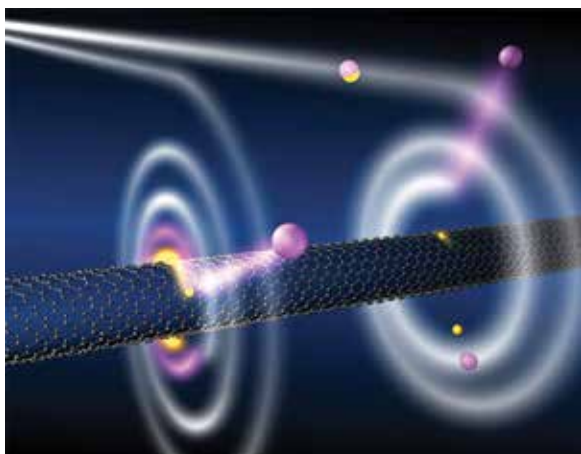
ПЕРСПЕКТИВЫ стр. 24

ТЕХНОЛОГИИ стр. 32





ТЕХПОДДЕРЖКА стр. 66



ТЕХНОЛОГИИ стр. 41

## АВТОРЫ НОМЕРА

- Филип Плонски**  
Управляющий партнер Prismark Partners  
partners@prismark.com
- Николай Павлов**  
Главный специалист отдела печатной  
электроники ЗАО «НИИИТ»  
edu@ostec-group.ru
- Василий Афанасьев**  
Начальник региональной группы 2  
ЗАО «Остек-СМТ»  
lines@ostec-group.ru
- Евгений Борисов**  
Ведущий специалист отдела микроэлектроники  
ЗАО «Остек-ЭК»  
micro@ostec-group.ru
- Леонид Чанов**  
Главный редактор журнала  
«Электронные компоненты»  
info@elcp.ru
- Роман Кондратюк**  
Начальник отдела технической поддержки  
ООО «Остек-Интегра»  
materials@ostec-group.ru
- Владимир Филаткин**  
ЗАО «Остек-ЭТК»  
cable@ostec-group.ru

## КАЧЕСТВО

### ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА. ТОЧКА ЗРЕНИЯ ОСТЕКА ..... 46

Автор: Леонид Чанов

## ОПТИМИЗАЦИЯ

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ РАБОЧИХ ТЕМПЕРАТУР СИЛИКОНОВЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОНИКИ ..... 52

Автор: Роман Кондратюк

## ТЕХПОДДЕРЖКА

### ЗАЛИВКА. ПОДВОДНЫЕ КАМНИ. ЧАСТЬ 2 ..... 58

Автор: Владимир Филаткин

# НОВОСТИ

## ПРОШЛА ПЕРВАЯ РОССИЙСКАЯ 3D-MID КОНФЕРЕНЦИЯ

23-24 октября 2013 года в Конгресс-центре ЦМТ на Красной Пресне прошла Первая Российская 3D-MID конференция, посвящённая только одной технологии – созданию электронных устройств на пластиках.

Впервые эта технология была представлена на Международном симпозиуме Асолд 2012 и вызвала большой интерес. На основе заданных участниками Асолда вопросов сформировалась основная задача октябрьской конференции: представить российским инженерам технологию создания трехмерных схем на пластиках, подробно раскрыв ее возможности и ограничения, а также продемонстрировать уже наработанный мировой опыт создания 3D-MID устройств и переработки традиционных изделий под

возможности этой новой технологии. В итоге на Конференции были максимально полно рассмотрены все аспекты технологии: от идеи до этапа финишных испытаний готовой продукции.

Наше стремление продемонстрировать технологию 3D-MID российским специалистам получило понимание и поддержку у ведущих европейских компаний, разрабатывающих и развивающих эту технологию. Конференция прошла при поддержке немецкой Научно-исследовательской ассоциации производителей 3D-MID устройств (Forschungsvereinigung 3-D MID e.V.), объединяющей наиболее активные и прогрессивные европейские (не только немецкие) компании, активно участвующие как в развитии технологии, так и оказывающие

услуги в области контрактного производства 3D-MID устройств.

Конференция открылась вступительным словом Игоря Волкова (Группа компаний Остек), в котором он представил технологию, рассказал об истории ее возникновения и перспективных путях развития.

В следующих докладах были рассмотрены практически все шаги создания MID устройств: от идеи и конструирования изделия до сборки и испытаний.

Максимилиан Барз и его коллега Томас Гюнтер из немецкого Института микросборочных технологий (HSG-IMAT) рассказали о подходах к проектированию и прототипированию MID-устройств, а также продемонстрировали свой опыт переработки изделий, созданных по традиционным технологиям, на новые системы на пластиках.

Большой интерес у участников вызвал доклад представителя компании LPKF Дирка Бэккера о технологии прямого лазерного структурирования пластика для создания электронных схем. Компания LPKF является разработчиком запатентованной технологии LDS – наиболее гибкой, востребованной и распространённой для создания 3D-MID устройств. Дирк рассказал о принципах лазерного структурирования материалов, возможностях используемого оборудования и требованиях к проектированию устройств, применяемых материалах.



Дмитрий Костенников (Группа компаний Остек) рассказал о решениях организации процессов химической металлизации пластиков и технологических особенностях утилизации использованных материалов.

Представители компаний Hacker Automation – Уве Шульц и Хенон – д-р Хартмут Фрейтаг рассказали о возможностях сборки MID устройств на уровне компонентов и устройств в целом от мелкосерийного многономенклатурного производства до массового с демонстрацией предлагаемых ими решений и методов контроля качества на всех этапах производства.

Андрей Насонов (Группа компаний Остек) подробно изложил требования к проектированию и изготовлению MID изделий с точки зрения их готовности к электрическому и функциональному тесту для гарантирования высочайших результатов по надежности продуктов на всех этапах их жизненного цикла.

Одним из интересных докладчиков был Нухад Бачнак, компания Cisor, представитель наиболее компетентной среды – контрактного производителя 3D-MID устройств. Нухад продвигает 3D-MID технологию в Европе и обладает большим опытом реализации проектов. Его доклад содержал не только примеры воплощения проектов, но и философские аспекты создания

изделий, выявления ценностей заказчика: миниатюризации, упрощения, надежности, свободы дизайна и их реализации в конечных изделиях.

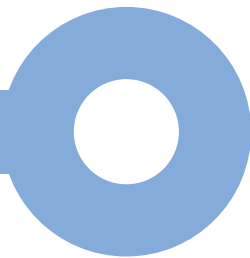
Также на Конференции было уделено внимание организации и проведению автоматической оптической инспекции трехмерных схем: Хольгер Хансманн, компания Viscom AG, рассказал о возможностях современных инспекционных систем и их реализаций для трехмерных носителей. Рассматривались современные материалы для MID устройств, возможности и особенности литья пластиковых оснований на современном литевом оборудовании, особенности химических процессов и т.д.

Общение участников не ограничивалось докладами и вопросами и

ответами. Во время перерывов все участники могли свободно общаться и обмениваться мнениями со всеми выступающими в непринужденной обстановке.

Подводя итог, стоит отметить, что основная цель мероприятия была достигнута – российские инженеры получили информацию о технологии 3D-MID и особенностях и способах её реализации «из первых рук». Общение со специалистами после конференции показало, что интерес значителен, и у технологии есть будущее в России. Значит, через совместное общение и взаимодействие нам надо двигаться дальше: пройти от идеи до изделия, осваивая по пути все премудрости создания трехмерных устройств на пластике. Будущее создается! ▣





## КОМПАНИЯ INDIUM ПРЕДСТАВЛЯЕТ НОВУЮ ВОДОСМЫВАЕМУЮ ПАЯЛЬНУЮ ПАСТУ INDIUM6.4

Водосмываемая паяльная паста Indium6.4 разработана на базе паяльной пасты Indium6.3, которая поставляется компанией Остек на российский рынок в течение 5 лет. Indium6.3 хорошо зарекомендовала себя у ведущих производителей электроники как надежный и высококачественный продукт.

Существенным преимуществом новой паяльной пасты Indium6.4 является увеличенный срок годности - до 6 месяцев с даты производства.

Применение пасты Indium6.4 актуально там, где необходимо уменьшить количество пустот в паяных соединениях. Это особенно проявляется при пайке микросхем в корпусах QFN и BGA. Использование паяльной пасты Indium6.4 позволяет существенно уменьшить количество пустот до 5%.

Паяльная паста Indium6.4 уже прошла испытания у ведущих российских производителей электроники. По результатам испытаний зафиксировано значительное снижение пустот при пайке BGA и увеличение времени работы на принтере трафаретной печати.

Отличительные особенности новой водосмываемой паяльной пасты Indium6.4:


- меньшее количество пустот в паяных соединениях;
- меньший размер пустот;
- срок годности пасты — 6 месяцев с даты производства;

- хорошая смачиваемость и паяемость по любым типам покрытий;
- лучшая реология – хорошая наполняемость апертур при трафаретной печати;
- увеличенное время работы паяльной пасты при трафаретной печати;
- исключительная стойкость к растеканию отпечатков даже при неблагоприятных условиях работы – повышенная температура и влажность окружающей среды во время трафаретной печати.

Паяльная паста Indium6.4 производится со стандартными сплавами Sn63 (олово63\свинец37), Sn62 и Indalloy100 (сплавы с использованием олова, свинца и серебра) и размером частиц тип 3.

Паяльная паста Indium6.4 будет поставляться на российский рынок с 1 квартала 2014 года и уже доступна для заказа.



Более подробную информацию о паяльной пасте Indium6.4 можно узнать на нашем сайте. 



## ПАРТНЕРСКОЕ СОГЛАШЕНИЕ МЕЖДУ ЗАО «ОСТЕК-ТЕСТ» И КОМПАНИЕЙ AZBIL TELSTAR

ЗАО «Остек-Тест» в течение 2012-2013 г.г. осуществило поставку, запуск и аттестацию ряда камер производства компании Azbil Telstar (Испания) для проведения испытаний на воздействие пониженного атмосферного давления и температуры. Заказчики дали высокую оценку качеству поставленного оборудования и уровню технической поддержки. В результате, 12 сентября 2013 года было подписано эксклюзивное соглашение между ЗАО «Остек-Тест» и Azbil Telstar.

На рынке системных решений в сфере вакуумных технологий компания Telstar работает уже 50 лет. Основные направления деятельности компании:

- проектирование и изготовление высоковакуумного оборудования;
- изготовление оснастки и инструментов для высоковакуумного оборудования (течеискатели, вакуумные насосы, клапаны, запорно-регулируемая арматура).


Telstar предлагает термовакуумные камеры (имитаторы космического пространства) от объемов менее 1 м<sup>3</sup> до камер для испытаний спутников в сборе. Помимо испытаний космической техники на стойкость к воздействию температуры и пониженного давления опционально возможно оснастить камеру источниками ИК излучения, имитаторами солнечного излучения. С помощью камеры можно измерять термиче-



## НОВАЯ УСТАНОВКА ТЕСТИРОВАНИЯ МИКРОСОЕДИНЕНИЙ DAGE 4000OPTIMA



ские характеристики при тепловых нагрузках, проводить измерения деформации образцов с применением фотометрических и других методов.

Партнерское взаимодействие компаний позволит реализовать проекты любой сложности по оснащению предприятий аэрокосмической отрасли передовым испытательным оборудованием, отвечающим всем требованиям российских стандартов. 

Компания Nordson Dage, лидер в области разработки и производства систем механического разрушающего контроля, представила новую установку тестирования, предназначенную для проведения наиболее востребованных тестовых испытаний сварных микросоединений на сдвиг и отрыв. Система, получившая название DAGE 4000Optima, по конструкции идентична хорошо известной системе DAGE 4000Plus (обеспечена корреляция данных между системами), однако новая установка имеет ряд функциональных ограничений. В отличие от DAGE4000Plus на ней не реализована функция проведения испытаний материалов, тестирования шариковых контактов на отрыв в нагретом состоянии, тестирования на сдвиг с большой нагрузкой и тестирования на направленный отрыв.


Гибкость DAGE 4000Optima достигается за счет возможности перемещения по осям XY от 160 до 300 мм, а также уникального набора применяемых картриджей, включающего картриджи с нагрузкой при нажиме до 50 кг, картриджи на отрыв до 50 кг и картриджи на сдвиг до 200 кг. Наличие же многофункциональных картриджей, совместимых с системой DAGE4000Plus, позволяет экономить время и проводить комбинированные испытания сложных микросборок.

Для обеспечения комфортных условий проведения испытаний в установке реализован новый джойстик-контроллер перемещения рабочего

стола, пульт управления и крепление оптической системы, обеспечивающие отсутствие вибраций.

Повторяемость и воспроизводимость результатов испытаний точно такие же, как и для установки DAGE4000Plus, т.е.  $\pm 0,1\%$  от номинальной нагрузки. Система DAGE 4000Optima откалибрована в соответствии с международными стандартами, что обеспечивает полное единство измерений и достоверность при испытаниях продукта. Калибровка выполняется по классу M1 международной организации законодательной метрологии O.I.M.L., а также в полном соответствии с российскими стандартами.

Особенности многофункциональных картриджей для DAGE 4000Optima/Plus:

- три вида испытаний в одном картридже;
- полная взаимозаменяемость установок серии DAGE;
- наличие «парковочной позиции» рабочего инструмента, обеспечивающей сохранность инструмента при транспортировке;
- эргономичный дизайн картриджа;
- патентованная технология использования воздушных подшипников;
- автоматическое электромагнитное торможение при низких нагрузках;
- наличие специализированной оснастки для калибровки. 

# ПЕРСПЕКТИВЫ

## Встраивание компонентов в печатные платы и подложки — ситуация и тенденции на общемировых рынках

Текст: Филип Плонски

### Введение

Одной из многообещающих современных тенденций в проектировании и производстве электронных устройств является встраивание компонентов внутрь монтажного основания — печатной платы или подложки. Основание в этом случае объединяет в своем составе несколько конструктивных уровней — бескорпусного полупроводникового кристалла, компонента и сборки, реализуя готовый электронный модуль. Такой подход должен обеспечить небывало высокий уровень миниатюризации, а также объединить функциональные возможности различных устройств в рамках единого компактного модуля.

Однако то, что хорошо выглядит в теории, не всегда полностью реализуемо на практике, и тем более не всегда может удовлетворить как производителя, так и заказчика с точки зрения соотношения стоимости и эффективности решения. Разработчику, чтобы принять правильное решение по выбору конкретной технологии встраивания компонентов для своего изделия из всего многообразия предлагаемых на рынке, или же обосновать свой отказ от нее в пользу проверенных временем и заведомо рентабельных альтернатив, требуется хорошее знание современного состояния рынка технологий

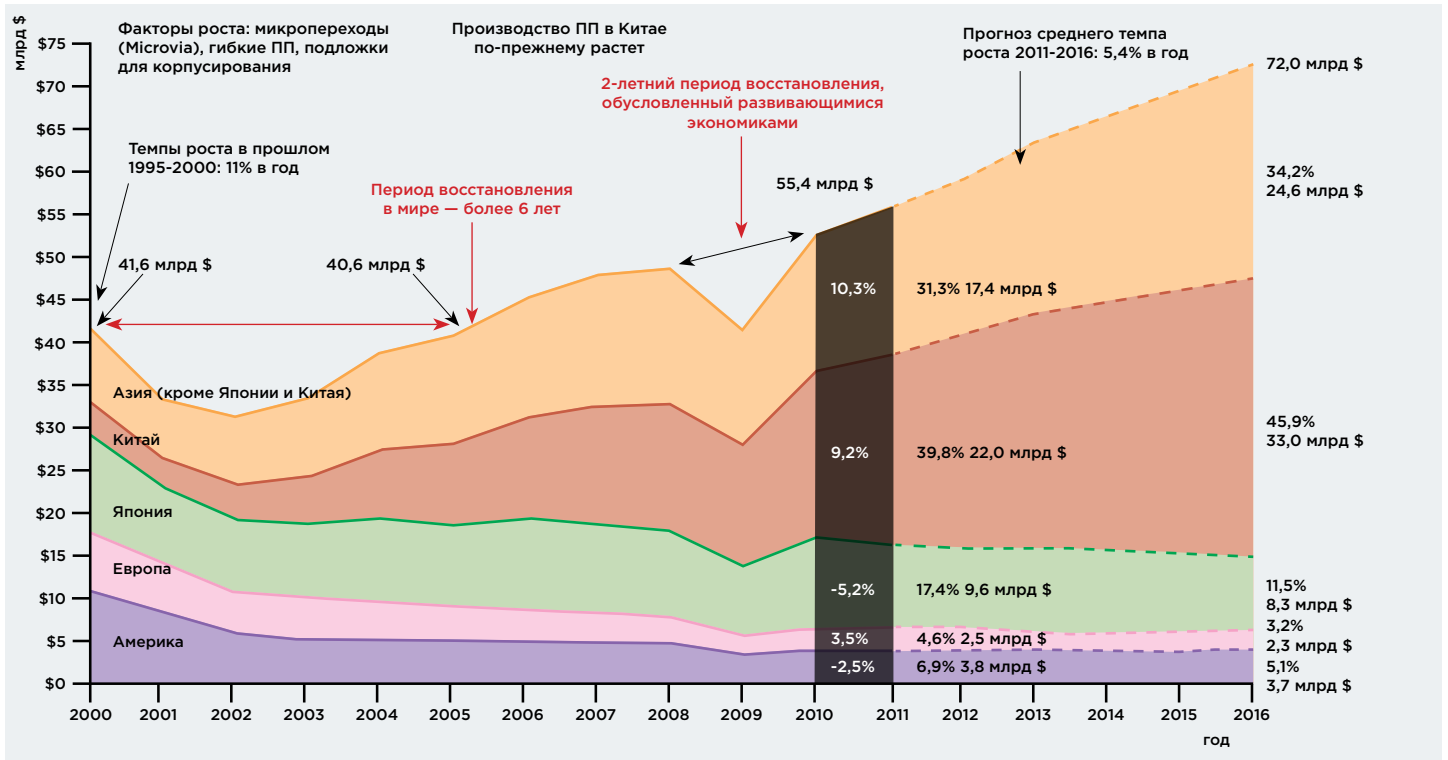
встраивания и его участников, а также возможность и умение сравнивать альтернативные варианты между собой.

В данной статье приведен обзор современного состояния рынка корпусирования, в том числе с использованием встраивания компонентов, с учетом эффективности таких решений и возможных альтернатив.

### Обзор рынка печатных плат и подложек для корпусирования

Прежде чем начать говорить непосредственно о технологиях встраивания компонентов, необходимо обратиться к основе — рынку печатных плат [рис 1](#).

Западные регионы, к которым относятся Северная Америка и Европа, к 2012 г. сократили свои производственные мощности по выпуску печатных плат, а Восток, включая Китай и прочие страны Азии — прежде всего, Тайвань и Южную Корею — напротив, произвел гигантские инвестиции в наращивание производства. Такое положение дел привело к миграции объемов производства и новых технологий из мест своего традици-



1 Исторический обзор и прогноз регионального производства печатных плат по состоянию на март 2012 г.

онного пребывания и создания — а это, прежде всего, Европа и США — в данные азиатские регионы. Отдельно можно выделить Японию, которая в целом сохраняет свои позиции, развивая одновременно ряд перспективных технологий.

В 2012 году суммарный объем производства незаполненных печатных плат в денежном исчислении превысил 55 млрд долл., при этом тенденция к его росту продолжает сохраняться (цифры относятся к платам, изготавливаемым по традиционным технологиям без встраиваемых компонентов).

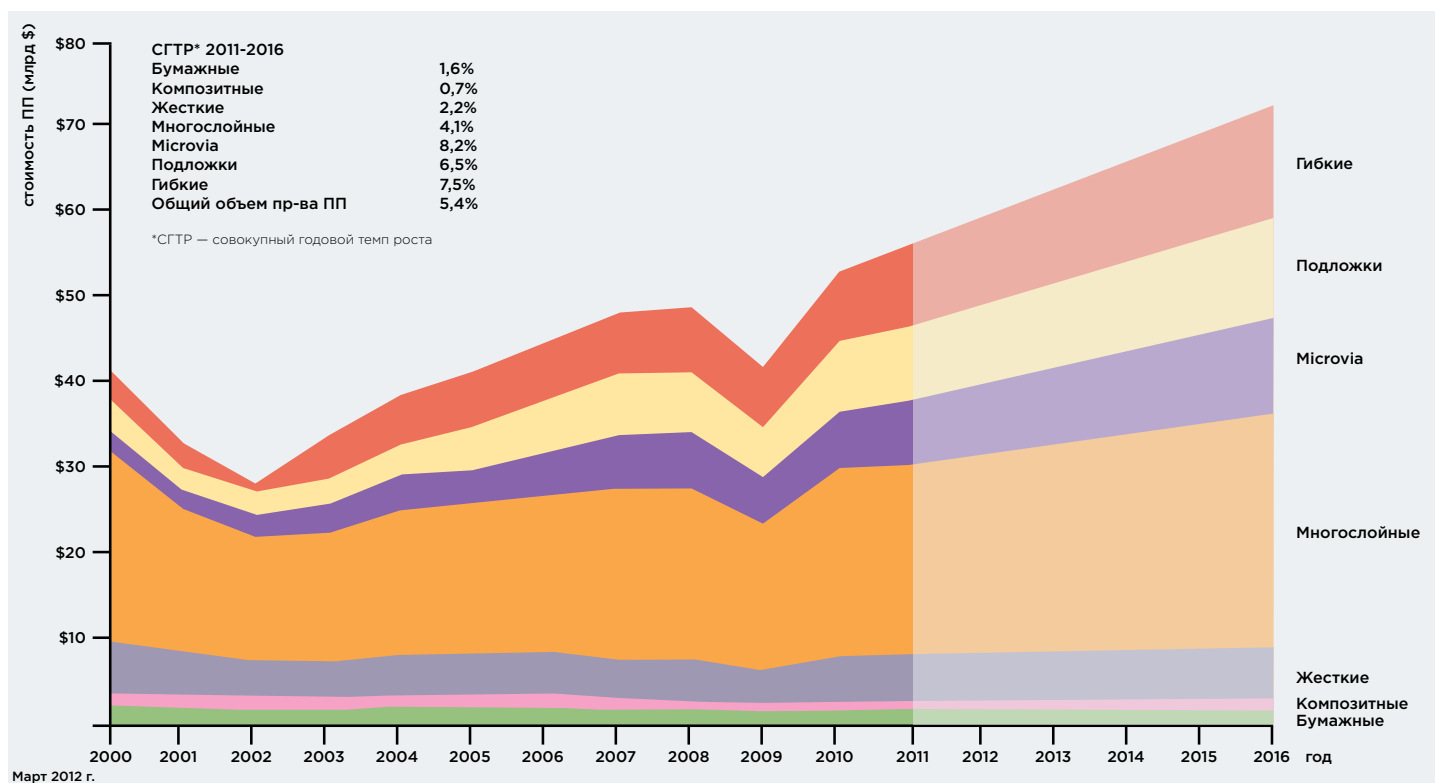
На основе данных исследований, проведенных компанией PrismaMark **рис 2**, можно выявить причины роста производства плат и подложек. Значительную часть общемирового объема выпуска до сих пор составляют платы, изготавливаемые по традиционным технологиям (нижняя часть графика).

Что же будет служить основным движущим фактором отрасли? Прежде всего, это сложность выпускаемых изделий и ее постоянное увеличение. Соответственно, основной подъем производства печатных плат связан преимущественно с технологиями, предназначенными для изготовления изделий высокого уровня сложно-

сти. Такие технологии имеют дело с миниатюрными элементами, тонкими проводниками, высокой плотностью компоновки. Здесь следует выделить технологии производства тонких, гибких плат, подложек микросхем на кремниевой основе, а также технологию microvia — глухих металлизированных микропереходных отверстий, обычно выполняемых с помощью лазера либо механическим способом в тонких основаниях. Эти технологии образуют верхнюю, растущую область графика на **рис 2**.

Вместе с тем, развитие перспективных технологий не отменяет необходимости применения традиционных решений, по которым также наблюдается увеличение спроса и, соответственно, некоторый рост объемов производства.

Согласно исследованиям компании PrismaMark **т 1**, за период 2011 — 2016 гг. отрасль плат в целом ожидает среднегодовой рост на 5,4%. При этом ожидается, что новые технологии продемонстрируют рост выше этого среднего показателя — это платы с микропереходными отверстиями (8,2%), подложки для ИС (6,5%), а также гибкие платы (7,5%). Подъем традиционных технологий произойдет на уровне, уступающем среднему значению



2 Ретроспектива, современное состояние и прогноз роста производства печатных плат по категориям на период 2011 — 2016 гг.

по отрасли, однако вклад этих технологий в общий объем рынка останется большим.

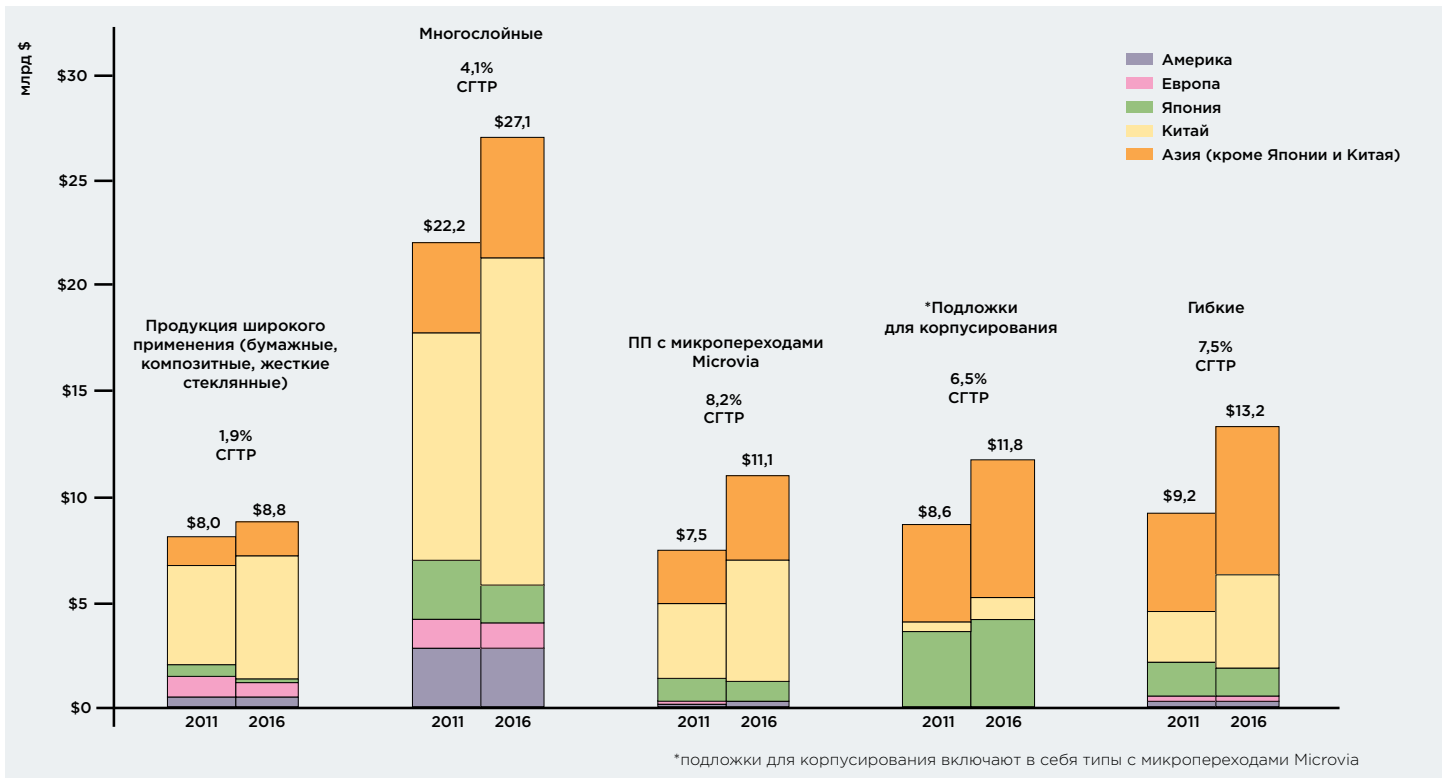
Данный прогноз подъема рынка сделан на основе анализа современных требований к разрабатываемым системам, а также объемам инвестиций, которые направляются в области передовых технологий.

Где же территориально произойдет этот рост? Упомянутые выше новые технологии повсеместно освоены

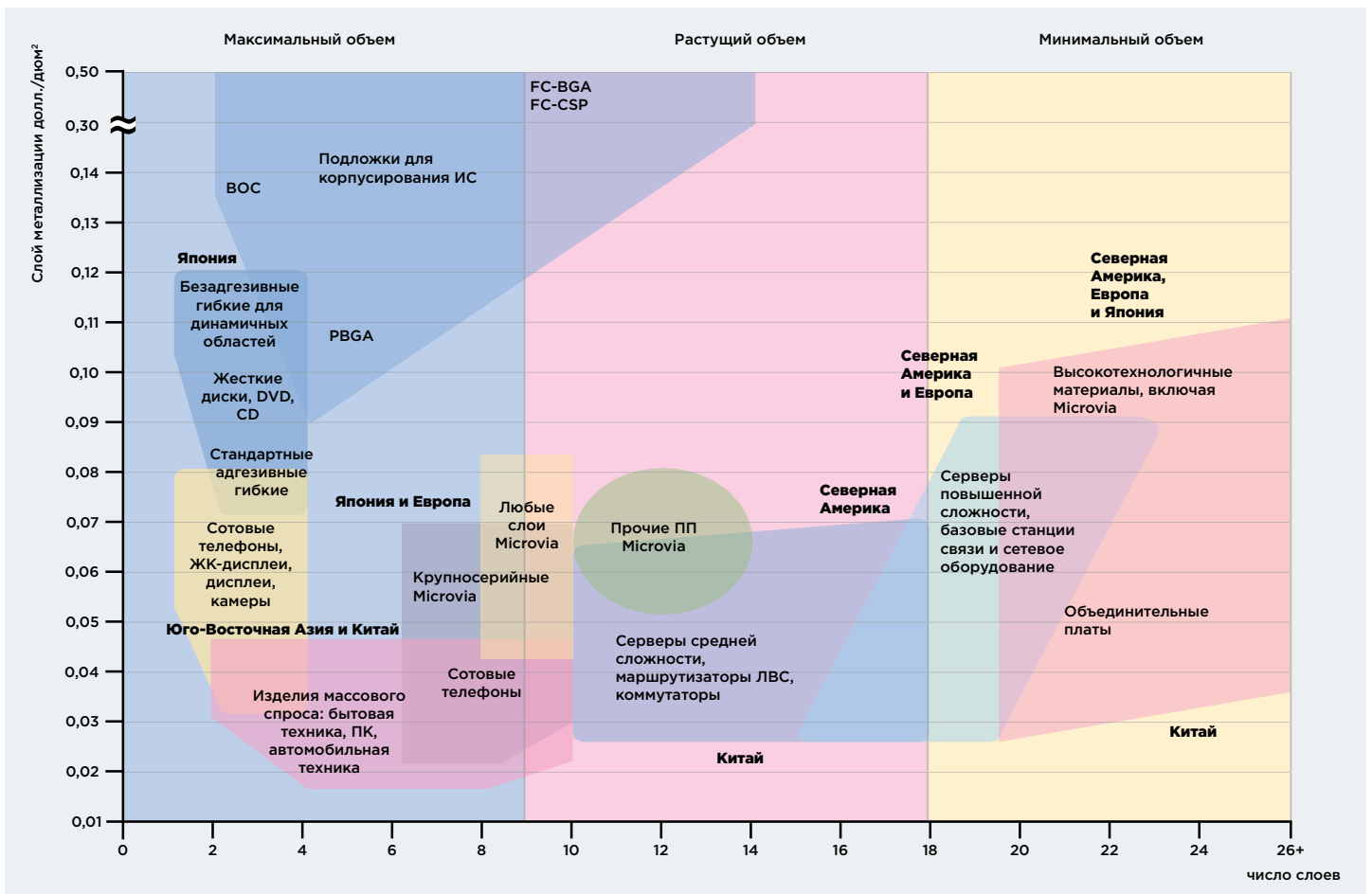
на производствах в регионах Азии (кроме Китая) и Японии, в противовес их значительно меньшему присутствию в Европе и США рис 3. Что же касается Китая, то ему также принадлежит значительная роль в освоении новых технологий — преимущественно выполнения микропереходных отверстий и производства гибких плат, в то время как в области подложек для корпусирования его позиции не столь прочны.

Т 1 Объем глобального рынка печатных плат по технологиям

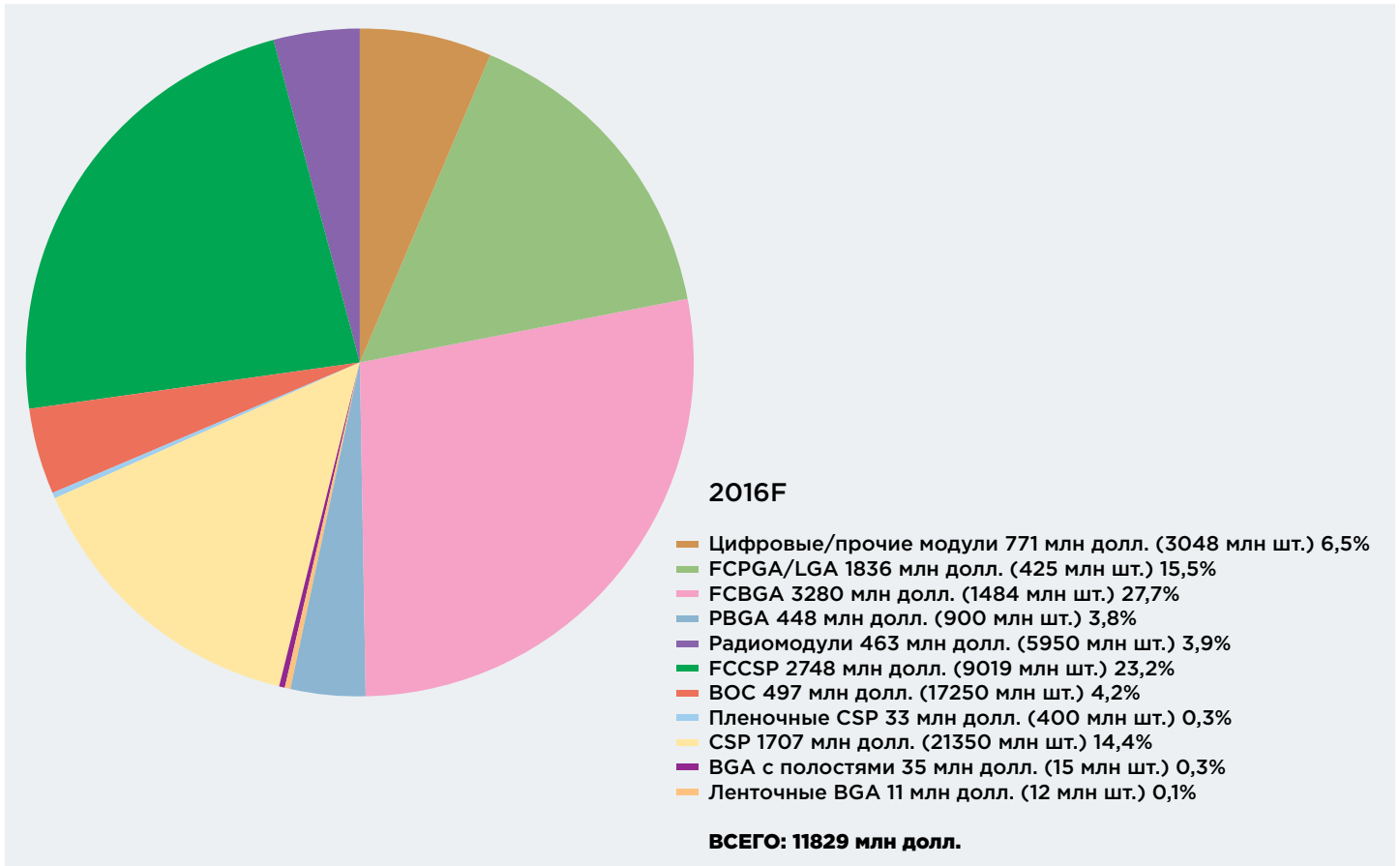
Млн. долл.	2011	2012	2016 прогноз	Среднегод. рост за 2011-2016 гг.
Бумажные	\$1 484	\$1 452	\$1 609	1,6%
Композитные	\$1 113	\$1 069	\$1 154	0,7%
Жесткие DS	\$5 380	\$5 232	\$6 008	2,2%
4-слойные	\$7 962	\$7 665	\$9 743	4,1%
6-слойные	\$6 293	\$6 030	\$7 704	4,1%
8...16-слойные	\$6 668	\$6 541	\$8 263	4,4%
Более 18 слоев	\$1 182	\$1 161	\$1 371	3,0%
Microvia	\$7 486	\$8 295	\$11 081	8,2%
На кремниевой основе	\$8 636	\$9 073	\$11 829	6,5%
Гибкие	\$9 205	\$10 643	\$13 245	7,5%
Всего	\$55 409	\$57 160	\$72 007	5,4%



3 Современное состояние и прогноз роста производства печатных плат по регионам на период 2011 — 2016 гг.



4 Себестоимость производства печатных плат в I полугодии 2012 г.



5

Рынок органических подложек для корпусирования

В то же время показательно, что большое количество подложек для корпусирования компонентов, потенциально привлекательных для встраивания, исторически ведут свое происхождение из Японии — их разработка ведется в незначительных объемах в США и совершенно не ведется в Европе, а производство таких компонентов весьма медленно внедряется в остальных регионах, находящихся за пределами Японии.

На распространение конкретной технологии, а также на объемы производства изделий огромное влияние оказывает себестоимость. Средневзвешенную себестоимость производства плат в зависимости от количества слоев платы можно оценить по данным рис 4. Здесь платы сгруппированы по назначению изделий и регионам выпуска, а себестоимость количественно выражена в долларах на кв. дюйм слоя металлизации.

Данный график позволяет оценить с позиции разработчика нового изделия, какова будет для него себестоимость больших объемов производства коммутационной платы на мировом рынке. Из рисунка видно, что «стоимость» традиционных технологий весьма невелика, в то время как себестоимость изделия, созданного и произведенного по передовым технологиям, таким как, например, сложные многослойные подложки для корпусирования ИС, гораздо выше. Это необходимо

иметь в виду, поскольку многие решения, связанные с использованием в изделиях встраиваемых компонентов, настолько высоко поднимают ценовую планку изделия, что такая высокая себестоимость заслоняет собой и мешает осознать все преимущества новых технологий.

### Современные тенденции корпусирования и рынок органических подложек

Проиллюстрировать вышесказанное можно на примере 8,6-миллиардного рынка подложек из органических материалов для корпусирования микросхем и технологиях, которые помогают сделать их пригодными для встраивания компонентов рис 5.

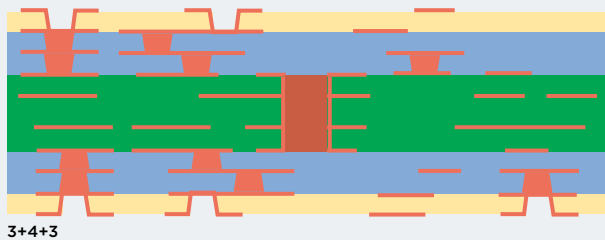
Органические подложки применяются в конструкциях многих изделий — от уже ставших традиционными компонентов PGA, flip chip, BGA, CSP, компонентов памяти до модулей — ПЧ, цифровых и т.д. Многие перечисленные технологии применяются и для встраивания компонентов. Такие подложки, осуществляющие соединения кристалла с печатной платой, очень сложны по структуре и обладают весьма малой толщиной. Технологии их производства быстро эволюционируют, а сами

### Упрощение конструкции и снижение стоимости

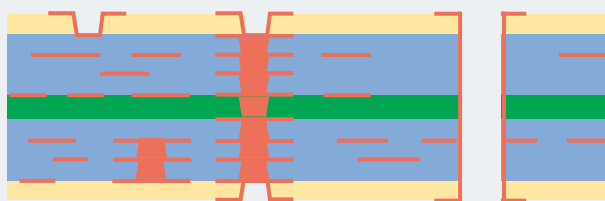
- Уменьшенная толщина
- Сокращенный срок разработки
- Сокращенное время подготовки образца
- Сниженная общая стоимость

10 слоев

Типовая конструкция HDI:  
 • L/S = 50 - 75 мкм / 50 - 75 мкм  
 • Сквозн.отв./конт.плоск. = 100/250 мкм  
 • Толщ.платы = 0,8 мм



3+4+3

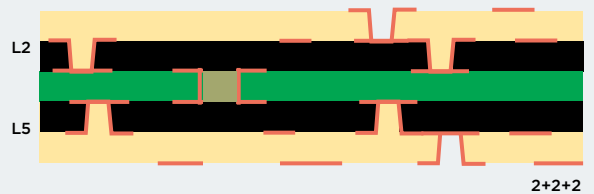


ELIC

Сверхтонкая  
шина  
в слоях 2/5

6 слоев

Новая конструкция со встроенными дорожками:  
 • L/S = 25 мкм / 25 мкм  
 • Сквозн.отв./конт.плоск. = 75/150 мкм  
 • Толщ.платы = 0,45 мм



L2

L5

2+2+2

- диэлектрик
- медь
- RCC
- внутренний слой
- промежуточный изоляционный слой между проводящими слоями

6

Решения компании Unimicron по сокращению числа слоев платы с 10 до 6 и сокращению стоимости. Источник: Unimicron.

подложки постоянно удешевляются, и эта тенденция хорошо прослеживается на примере одного из крупнейших мировых производителей печатных плат с производствами в Тайване и Китае — компании Unimicron.

Традиционные конструкции в данном примере рис 6 — это 10-слойная плата, которую чаще всего можно встретить в мобильных телефонах и другой портативной электронике. На рисунке показаны типичные размеры проводников и зазора между ними. Плата может изготавливаться по технологии наращивания слоев на основание.

В результате проведенных работ компания Unimicron, используя более тонкие материалы, меньшие по размеру отверстия, проводники и зазоры, смогла сократить 10-слойную конструкцию до 6-слойной с учетом экономических аспектов этого решения. С позиции

материалов компания применила более тонкие диэлектрики и медную фольгу, а также улучшила процессы сборки слоев, сверления и металлизации маленьких отверстий. Это лишь один из примеров упрощения конструкции и снижения стоимости благодаря применению более тонких и потенциально менее дорогих материалов в меньшем количестве.

В Т 2 приведены данные по объему и росту рынков, связанных с различными технологиями корпусирования. В настоящее время наибольший объем (более 4 млрд \$ на 2012 г.) принадлежит традиционному сегменту рынка, который представлен компонентами FCPGA/LGA/BGA. Этот сегмент также испытывает подъем, однако темпы его роста гораздо ниже ожидаемых в среднем для всей совокупности органических подложек. Самый быстрый подъем демонстрируют

Т 2

Рост рынка органических подложек в денежном эквиваленте

Объем, млн долл.	2011	Рост в 2012/2011 гг.	2012	2016, прогноз	Среднегод. рост за 2011-2016 гг.
FCPGA/LGA/BGA	\$4 152	3,1%	\$4 278	\$5 116	4,3%
FCCSP	\$1 029	40,2%	\$1 443	\$2 748	21,7%
WB PBGA/CSP	\$2 494	1,9%	\$2 540	\$2 731	1,8%
Модульные	\$962	5,4%	\$1 013	\$1 234	5,1%
Всего	\$8 636	7,4%	\$9 275	\$11 829	6,5%

## Т 3

Рост рынка органических подложек в объемах выпускаемой продукции

Объем, млн шт.	2011	Рост в 2012/2011 гг.	2012	2016, прогноз	Среднегод. рост за 2011-2016 гг.
FCPGA/LGA/BGA	1 337	5,9%	1 416	1 909	7,4%
FCCSP	1 715	74,8%	2 997	9 019	39,4%
WB PBGA/CSP	30 632	6,4%	32 593	39 927	5,4%
Модульные	6 062	8,4%	6 569	8 998	8,2%
Всего	39 746	9,6%	43 575	59 853	8,5%

подложки на базе FC-CSP. Так как стартовый объем этого сегмента невелик, в ближайшем будущем ожидается его взрывной рост.

Что касается традиционных технологий (PBGA с межсоединениями, выполненными проволочными выводами (WB) и компонентов CSP), то сокращения этого рыночного сегмента не происходит — данные технологии также занимают большую долю рынка (около 2,5 млрд \$ в 2011 г.), которая все еще продолжает понемногу расти.

Очевиден также подъем сегмента изделий, которые, возможно, более всех заинтересованы в технологии встраивания компонентов — сегмент модулей. Однако следует помнить, что в мире уже наработано множество решений, связанных с функциональной интеграцией в рамках одного кремниевого кристалла — например, соединения проволочными выводами, технология flip chip и пр. Наличие и проработанность таких решений может затормозить внедрение многокристальных модулей.

В Т 3 приведены данные по суммарному выпуску соответствующих компонентов.

## Существующие и перспективные решения в области корпусирования

Для создания изделий существует множество альтернативных методов, часть из которых приведена в Т 4. Таблица показывает, какие производственные операции необходимы для реализации конструкции изделия по данной технологии.

Например, если речь идет о технологии flip chip, то сначала изготавливается плата, кристалл монтируется пайкой оплавлением и далее проводится подзаловка корпуса на плате. Если речь идет о компоненте CSP, то применяется аналогичный процесс: создание соединений кристалла может производиться с помощью проволочных выводов или по технологии flip chip, после чего кристалл герметизируется и монтируется на плату с помощью шариковых выводов. В технологии с выводной рамкой применяется полупроводниковый кристалл и какой-либо вид герметизации. При монтаже бескорпусных кристаллов коммутация чаще всего выполняется проволочными выводами и также используется герметизация. Этот метод типичен для изготовления электронных модулей, например, часов и калькуляторов.

## Т 4

Альтернативные методы корпусирования/сборки

Встраиваемый кристалл	СОВ (монтаж бескорпусных кристаллов на печатной плате)	Выводная рамка	CSP (корпус с размерами кристалла)	Монтаж методом перевернутого кристалла
1. Изготовление платы (внутренних слоев основания)	1. Изготовление платы	1. Изготовление платы	1. Изготовление платы	1. Изготовление платы
2. Создание углубления в плате	2. Присоединение кристалла	2. Изготовление выводной рамки	2. Изготовление подложки CSP	2. Монтаж полупроводниковой пластины
3. Присоединение кристалла	3. Соединение проволочных выводов	3. Присоединение кристалла	3. Присоединение кристалла	3. (Подзаловка)
4. Герметизация	4. Герметизация	4. Соединение проволочных выводов	4. Соединение проволочных выводов	
5. Обеспечение доступа с помощью микропереходных отверстий (Microvia)		5. Герметизация	5. Герметизация	
		6. Сборка на плате	6. Присоединение шариковых выводов BGA	
			7. Сборка на плате	



<b>Активные компоненты</b>	Si	GaAs	SiGe		
<b>Пассивные компоненты</b>	Дискретные	Интеграл. LTCC	Интеграл. тонкие пленки	Интеграл ПП	
<b>Подложка</b>	Толсто плен. керамика	LTCC	ПП	Выводная рамка	Гибкая
<b>Терморегулирование</b>	Крепление кристалла к подложке	Переверн. кристалл на подложке	Задняя поверхность кристалла на корпусе		
<b>Технология сборки</b>	Поверхностный монтаж	Проволочное соединение	Перевернутый кристалл	Формирование многоуровневой структуры	
<b>Защита</b>	Крышка	Заливка без формы	Прессованная масса		
<b>Испытание</b>	Испытание при пост. токе	РЧ-испытание			

7 Решения по корпусированию модулей

Переходя же к технологии встраиваемого кристалла, мы должны изготовить плату, затем выполнить в ней полость для присоединения кристалла, провести герметизацию и решить еще одну довольно сложную задачу — обеспечить доступ к кристаллу с помощью технологий создания межсоединений, чаще всего — микропереходных отверстий, но также могут применяться технологии связей через кремний (TSV), заливку или корпус.

Решения по корпусированию рис 7 позволяют смешивать в рамках одного модуля различные типы компонентов: активные компоненты на основе различных полупроводниковых материалов — Si, GaAs, SiGe, пассивные компоненты в различных сочетаниях — дискретные компоненты, интегральные LTCC-модули и тонкопленочные компоненты и пр. Существуют также варианты выбора подложки: она может быть керамической, LTCC, из традиционного материала печатной платы, штампованной рамкой выводов или гибким основанием.

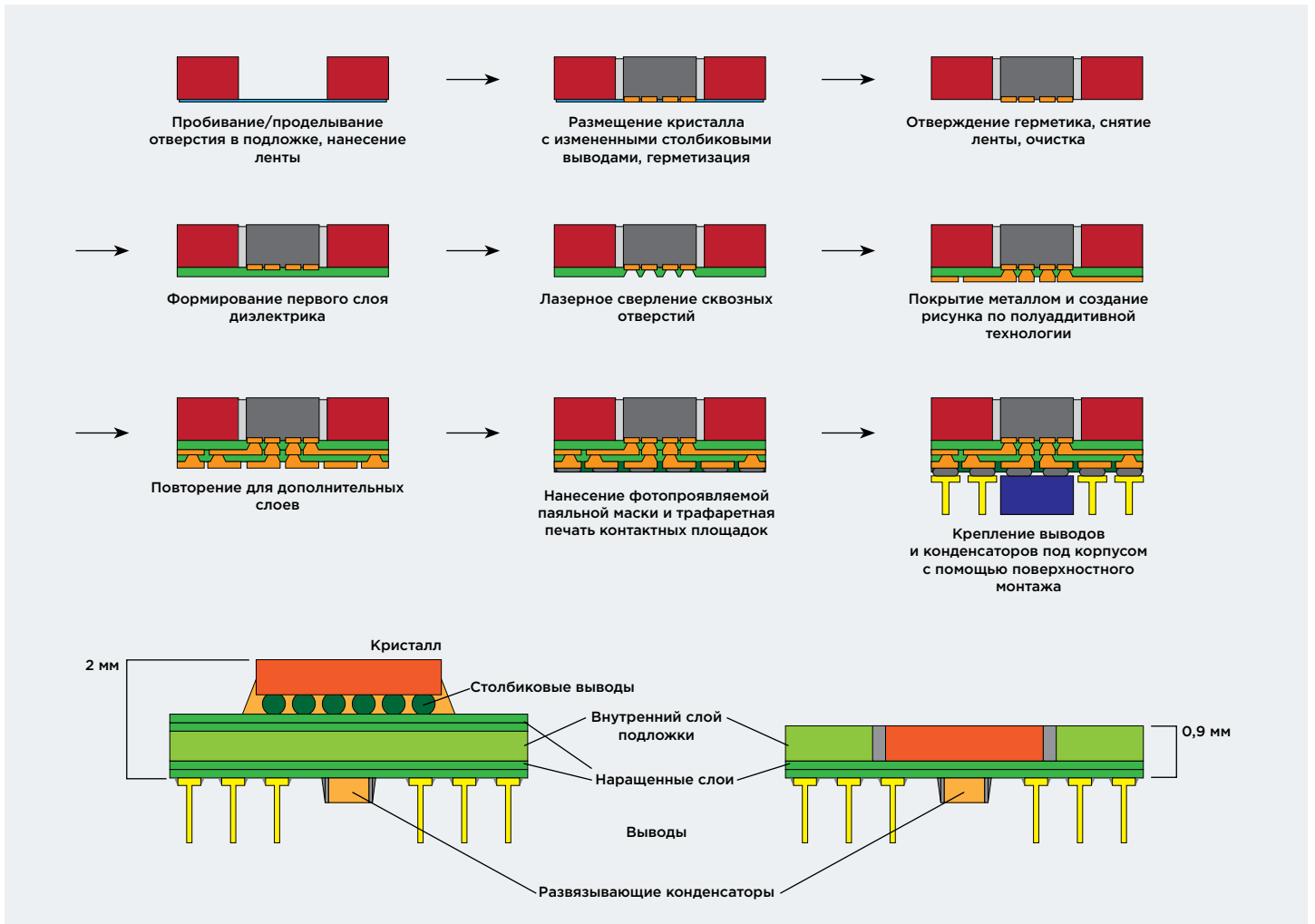
Важным вопросом при проектировании является управление тепловыми режимами, при этом необходимо отталкиваться от известной способности несущей кристалл подложки поглощать тепло. Терморегулирование можно реализовать с помощью различных методов, например, технологии flip chip или же присоединением обратной стороны кристалла к корпусу.

Используемая технология сборки, независимо от того, относится ли она к встраиваемым или нет, также предусматривает выбор. Возможно использование традиционных не останавливающихся в развитии технологий: поверхностный монтаж, разварка проволочных вы-

водов, в разряд традиционных переходит и технология flip chip. В рамках активно развивающейся 3D-концепции можно воспользоваться штабелированием кристаллов (PoP).

Таким образом, развитие технологий не только уменьшает габариты, толщину и размер элементов печатных плат, но также приводит к объединению двух технологий — изготовления платы и присоединения кристалла. Следует понимать, что технологии присоединения кристалла существенно отличаются от применяемых при производстве плат, и большинство компаний-изготовителей плат с ними не знакомы.

Необходимо отметить, что наилучший подход к принятию оптимального решения по модулям продиктован не столько их функциональными возможностями и эксплуатационными характеристиками, сколько возможностями и ресурсами конкретной компании. Принимая решение о выборе технологии корпусирования, помимо рассмотрения традиционных аспектов (производительности, миниатюризации и т.д.) следует задаться вопросом, будет ли технология встраивания компонентов эффективна для данного конкретного изделия, прежде всего, с экономической точки зрения. Компании, внедряющей у себя технологию встраиваемых компонентов, необходимо также отдавать себе отчет в том, кто будет нести на себе риски и ответственность. Существует подход, когда компания берет на себя ответственность за весь корпус, включая вопрос приобретения компонентов, их контроля, пригодности к сборке, а также гарантию работоспособности готового модуля.



8

Технологический процесс встраивания кристалла BVUL от компании Intel

**Корпус MicroSiP 2,9 x 2,3 x 1 мм**

- Преобразователь постоянного тока в постоянный в корпусе PicoStar:

- WLCSP толщиной 140 мкм без шариков;
- встраивается в печатную плату толщиной 250 мкм;
- шариковые контактные площадки для кристалла Microvia.

- Пассивные компоненты SMT сверху:

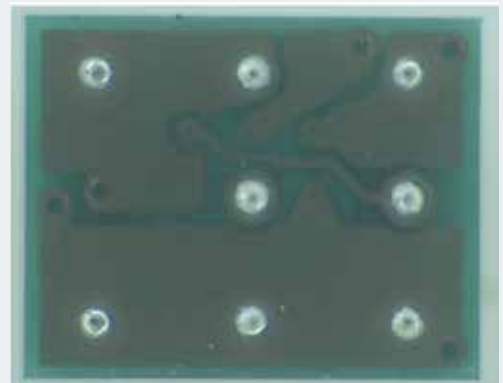
- два конденсатора 0402;
- одна катушка индуктивности 0804.

- Шарики припоя без содержания свинца с шагом 0,8 мм.

- Для сборки на главной плате подзаловка не требуется.

- Используется процесс ECP® AT&S.

- PicoStar представляет собой решение WLCSP от TI.



9

Источник питания TI MicroSiP на основе встраиваемого компонента. Фото: Prismark / Университет Бингемптона

## Примеры реализации технологии встраивания компонентов

Встраивание компонентов имеет глубокие исторические корни. Концепция размещения кристалла внутри печатной платы с целью экономии пространства, улучшения рабочих характеристик или устранения проблем с теплоотводом была предложена, в частности, компанией Intel уже более 10 лет назад в технологии Bumpless Build-up Layer (BBUL — технология наращивания слоев без обрамления кристалла столбиковыми выводами). В данной опытной разработке рис. 8 было реализовано практически все, что выполняется в настоящее время для встраивания компонентов: выполнение полости, формирование диэлектрических слоев, размещение кристалла, обеспечение доступа к нему с помощью выполненных лазером отверстий, металлизация, формирование дополнительных слоев и т.д., а в данном конкретном примере еще и опциональное присоединение выводов.

Ниже будет рассмотрено несколько современных вариантов реализации этого классического подхода. Хорошим примером реализованного проекта служит изделие компании TI рис. 9 — это миниатюрный источник питания, преобразующий постоянный ток в постоянный

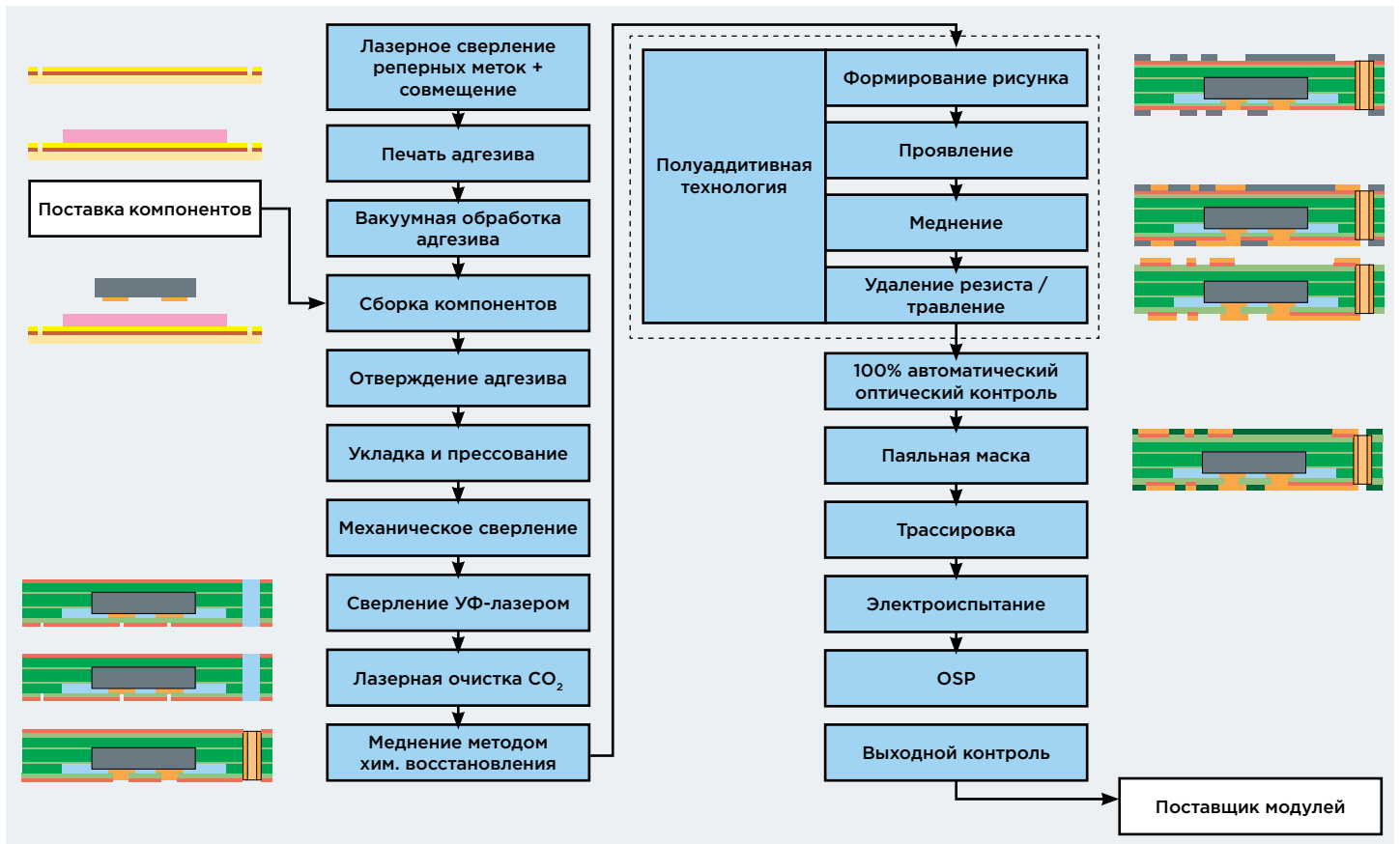
в корпусе PicoStar. В данном устройстве компонент WLCSP PicoStar™ толщиной 140 мкм без шариковых выводов встраивается в печатную плату толщиной 250 мкм, а сверху устанавливается крупная и тяжелая индуктивность в чип-исполнении.

В этом примере применяется технологический процесс встраивания компонентов ECP® от компании AT&S рис. 10, который реализует концепцию компании Intel на современном уровне технологий корпусирования.

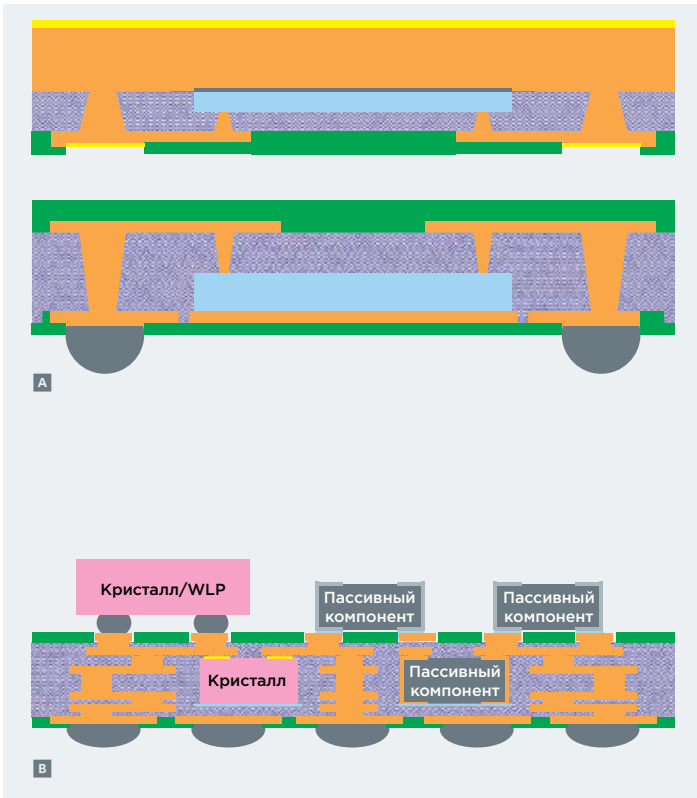
На рис. 11 представлена концепция возможностей тайваньской компании ASE по встраиванию внутрь печатной платы одного или нескольких кристаллов, располагаемых рядом и тем самым составляющих модуль.

На рис. 12 представлена технологическая концепция и изготовленная плата со встроенным кристаллом — разработка финской компании Imbera.

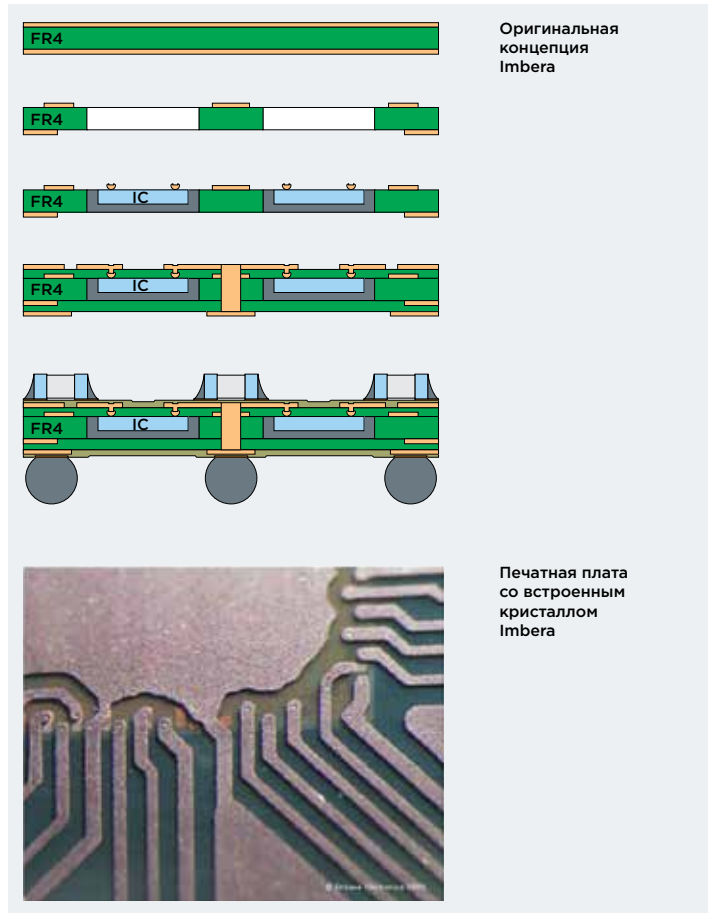
Характерна ситуация, когда компания (например, упоминавшаяся выше Unimicron) хорошо освоила встраивание пассивных компонентов и готовит технологию встраивания активных кристаллов, выпуская опытные образцы.



10 Технологический процесс корпусирования встраиваемых компонентов ECP®, разработанный компанией AT&S.



11 Разработка компанией ASE технологии подложки со встроенными компонентами- изделие a-EASI:  
**A** одиночный модуль со одним или несколькими встроенными кристаллами;  
**B** модуль в виде подложки с одним или несколькими встроенными активными/пассивными компонентами и посадочными местами для монтажа других компонентов по технологии поверхностного монтажа.

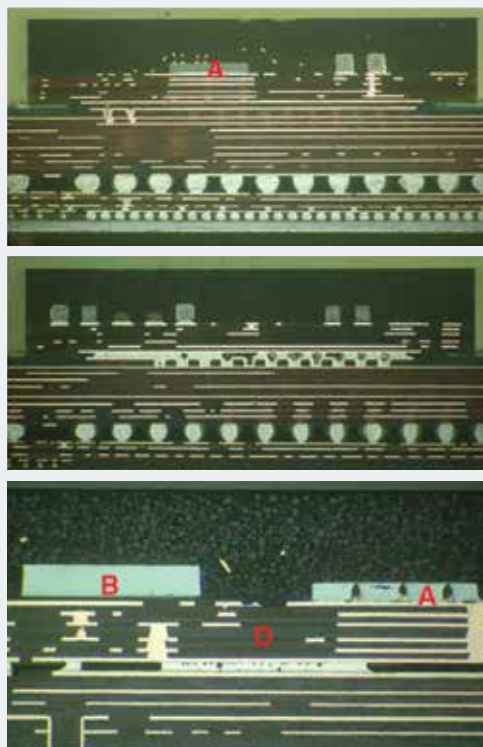


12 Печатные платы со встроенными кристаллами — проекты компании Imbera

**Гибридный многорежимный многополосный усилитель мощности:**  
 - четыре блока GSM/EDGE;  
 - три WCDMA/HSPA/LTE (I, V, VIII);  
 - отдельные блоки нижнего/верхнего диапазонов и 2G/3G PA.

Модуль LGA 7 x 5 x 0,9 мм

- A.** Кристалл InGaP PA Skyworks с проволочными выводами
- B.** Кристалл управления/смещения Si CMOS с проволочными выводами
- C.** Пассивные компоненты SMT, 01005
- D.** 6-слойная подложка Microvia
- E.** В оболочке



13 Усилительный модуль MMB PA разработки компании SKYWORKS. Фото: Prismark / Университет Бингемптона

## Современные технологии корпусирования, не использующие встраиваемые компоненты

Выбор технологии встраивания компонентов для изготовления конкретного изделия оправдан далеко не всегда. Ниже будет рассмотрен ряд современных и достаточно сложных решений, тем не менее не использующих встраиваемые в плату компоненты.

В этом ряду находится изделие компании Skyworks — американского производителя многорежимных широкополосных модулей усилителей мощности рис 13. Данный модуль применяется в настоящее время в мобильных телефонах. Структура сочетает в себе несколько технологий: в ее состав входят два полупроводниковых кристалла с проволочными выводами, 6-слойная подложка с микропереходными отверстиями, а также традиционные пассивные компоненты поверхностного монтажа сверхмалого типоразмера (01005). Весь полученный корпус смонтирован пайкой оплавлением на 10-слойной печатной плате. Перераспределение тепла осуществляется с помощью слоев теплопроводящего материала. Этот модуль, хотя и выполнен согласно 3D-концепции, не содержит платы со встроенными компонентами — компоненты просто интегрированы в модуль и затем герметизированы заливкой сверху.

Сходные решения есть и у японских компаний. Например, на рис 14 представлено изделие компании Murata — интегральный беспроводной модуль WLAN/

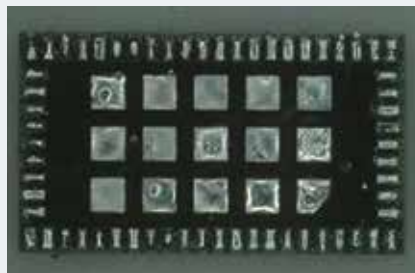
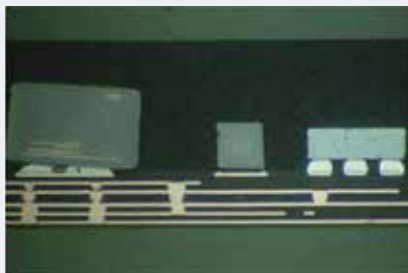
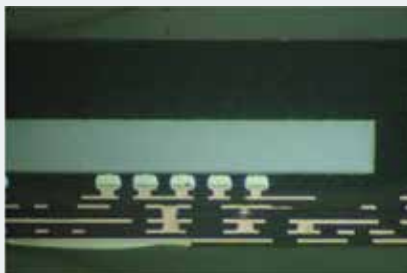
BLUETOOTH/FM на основе кристалла Broadcom для использования в мобильных телефонах Samsung Galaxy S2 и iPhone 4S. Здесь применена традиционная технология поверхностного монтажа — достаточно миниатюрные и тонкие SMD-компоненты, включая кристалл и пассивные компоненты, не встроены в 6-слойную подложку, а просто подвергнуты заливке.

Заливка модулей зачастую вызывает необходимость осуществления соединений непосредственно через нее. Подобно технологии связей сквозь кремний TSV, существует также и технология выполнения отверстий сквозь заливку (Through Mold Via, TMV), которую можно рассмотреть на примере изделия компании AMKOR из Южной Кореи. В настоящее время эта компания занимается исследованиями вариантов реализации технологии PoP с отверстиями сквозь слой заливки органическим компаундом.

В устройстве рис 15 используется залитый кристалл flip chip (также это может быть, например, штабель кристаллов) с дополнительными компонентами. Соединения с верхним компонентом, представляющим собой штабелированный кристалл с разваркой проволочных выводов и двухслойной подложкой в стандартном корпусе BGA, выполняются через компаунд: после заливки в компаунде формируются отверстия (показаны серым),

Основан на Broadcom BCM4330:

- ячейка 26 мм<sup>2</sup>, 65 нм;
- на 28% меньше BCM4329 вследствие совместного использования цепей;
- впервые использовался в Samsung Galaxy S2;
- в iPhone 4S используется BCM4330, но в другом модуле Murata.



открывающие контактные площадки внутри корпуса. Эти переходные отверстия заполняются проводящим материалом, чтобы впоследствии облегчить монтаж верхнего компонента. Законченное устройство представляет собой систему PoP, а все компоненты при этом доступны для проведения электрического контроля. Исследования компании AMKOR продемонстрировали, что такой процесс обладает более высокой эффективностью и практичностью, чем встраивание.

### Преимущества и проблемы встраивания компонентов

Еще раз следует подчеркнуть, что производитель, решившийся на внедрение технологии встраивания, должен быть экспертом в технологиях на уровне бескорпусного кристалла, а также в процессах формирования микропереходных отверстий. Обычно эти два процесса не реализуются в рамках одного производителя: исторически процессы на уровне платы выполнялись в одной компании, а работа с кристаллом и его корпусирование — в другой.

Одним из основных факторов, определяющих стоимость решения по встраиванию, является выход годных. Очевидно, что выход годных кристаллов для встраивания не составляет 100%, если только не используются заведомо годные кристаллы. В то же время, если дефектный кристалл будет установлен внутрь платы, то дефектным окажется весь модуль. Вследствие этого, с точки зрения повышения выхода годных модулей лучше использовать для встраивания небольшие проверенные кристаллы с высоким показателем выхода годных и ограничивать количество одновременно встраиваемых кристаллов.

Следует также ограничить затраты на подложку, применяя подложки меньших размеров с меньшим числом слоев и относительно простой геометрией рисунка. Необходимо помнить, что при принятии решения о встраивании компонентов целью является простота конструкции, поэтому не нужно использовать самое дорогое решение, например, применять самые тонкие подложки из возможных, так как в этом случае выход годных окажется невысоким. Аналогично, для поддержания высокого выхода годных переходных микроотверстий лучше выбирать кристаллы с меньшим количеством входов/выходов и несложным шагом, которые не потребуют большого количества отверстий.

### Современное состояние рынка модулей со встраиваемыми компонентами

Отвечая на вопрос о том, в каком регионе мира принимается большинство решений о встраивании компонентов или применении передовых технологий корпусирования в целом, необходимо обратиться к Японии, Тайваню и Южной Корее — тем регионам, где разрабатываются данные производственные технологии.

Общий объем производства подложек всех типов (включая flip chip, разварку проволочных выводов и пр.) представлен в **Т 5** (в долларовом эквиваленте) и **Т 6** (доля в производстве). Можно отметить, что максимум выпуска все еще приходится на Японию. Согласно исследованиям компании PrismaMark, представленное соотношение будет сохраняться, и ни один из регионов не уменьшит свою долю в производстве. Некоторые японские компании перемещают свои ресурсы в Тайвань, Китай и другие страны Азии, а тайваньские компа-

**Т 5**

Развитие производства подложек по регионам (объем рынка в денежном исчислении)

Млн. долл. США	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2016, прогноз
Япония	\$2 453	\$2 948	\$3 148	\$3 114	\$2 620	\$3 643	\$3 490	\$4 103
Тайвань/Китай	\$1 574	\$2 288	\$2 433	\$2 450	\$2 085	\$2 760	\$3 140	\$4 517
Корея	\$676	\$926	\$1 136	\$1 081	\$942	\$1 355	\$1 615	\$2 656
Америка	\$53	\$50	\$62	\$45	\$35	\$35	\$30	\$25
Европа	\$6	\$5	\$6	\$5	\$4	\$4	\$4	\$3
Другие страны (Филиппины, Сингапур)	\$215	\$250	\$273	\$264	\$225	\$305	\$357	\$525
Всего	\$4 977	\$6 467	\$7 058	\$6 959	\$5 911	\$8 102	\$8 636	\$11 829
Годовой прирост	39,6%	29,9%	9,1%	-1,4%	-15,1%	37,1%	6,6%	



## T 7

Печатные платы со встроенными компонентами в Японии

Компания	Особенности	Компоненты	Приложения	Продажи/объем	Место производства	Метод внутренних соединений
Dai Nippon Printing (DNP)	B <sup>2</sup> it, толщина 0,45 мм	WLP, пассивные компоненты	Беспроводной модуль, модуль камеры	6 млрд иен в 2011 г.	Kuki	Пайка
CMK	Наращивание	WLP, бескорп. кристаллы, формованные пассивные компоненты	Модуль ТВ-тюнера Oneseg, другие модули	-10 млрд иен	Isezaki	Покрытие медью
OKI Printed Circuit	Наращивание (увеличенное наращивание)	WLP, пассивные компоненты	Модуль питания, беспроводной модуль	4 млрд иен в 2012 г.	Atago	Пайка, ACF
Taiyo Yuden	EOMIN***	Пассивные компоненты, WLP	Модуль камеры, модуль питания, беспроводной модуль			Покрытие медью
Clover Electronics	B <sup>2</sup> it	Бескорпусные кристаллы, WLP, пассивные компоненты	Радиочастотный модуль	200000-300000 модулей в месяц	Eniwa	Пайка, NCP
NEC Toppan Circuit Solutions	6 слоев (0,34 мм), 8 слоев (0,145 мм)	WLP, пассивные компоненты	Модуль ТВ-тюнера 1Seg	2 млрд иен в 2012 г.	Toyama	Покрытие медью
OK Print Circuits	PALAP**, на основе FR-4	Формованные пассивные компоненты и ZBC*	Радиочастотный модуль, автомобильные модули	—	Kokubunji	Только прототип
TDK	Наращивание, 0,3 мм SESub****	Бескорпусные интегральные схемы, WLP	Модуль питания, подложка для корпусирования	Несколько млн модулей в месяц	Kofu	Патентованная технология

\*ZBC: формованные конденсаторы

\*\*PALAP: процесс укладки промежуточных изоляционных слоев между проводящими слоями по схеме

\*\*\*EOMIN: нанотехнология с использованием встроенного органического модуля

\*\*\*\*SESub: подложка со встроенными полупроводниками


недавние успешные разработки включают также модули для управления питанием и передачи данных.

При этом с точки зрения рынков наибольший объем инвестиций принадлежит Японии, за ней следует Южная Корея. Многие другие компании, в числе которых азиатские поставщики печатных плат, занимают выжидательную позицию. При этом ежегодное количество производимых модулей во всем мире оценивается на уровне десятков миллионов.

Вместе с тем, ряд компаний отказывается от продвижения и разработки печатных плат со встроенными компонентами, что, как правило, связано с большей привлекательностью альтернативных решений — например, по технологии PoP.

В T 7 приведено сегодняшнее состояние разработки и производства изделий со встраиваемыми компонентами в Японии. В проектах, многие из которых успешны на рынке, задействовано множество технологий, при этом встраиваются как пассивные компоненты, так и кристаллы WLP. Производимые изделия в основном относятся к модулям — беспроводным, силовым, модулям ТВ-тюнеров и камер.

## Заключение

Технологии встраивания компонентов в печатные платы и подложки продолжают развиваться вместе с технологиями корпусирования в рамках общих тенденций к миниатюризации и объединению функциональных возможностей в едином законченном модуле. Обратиться ли к этому перспективному направлению или реализовать изделие на основе проверенных временем технологий — это решение должно приниматься разработчиком прежде всего с учетом максимальной простоты конструктивного исполнения, требуемого выхода годных и, самое главное, стоимости изготовления. Неуклонное совершенствование технологий вместе с постоянным удешевлением предлагаемых решений дает все основания предполагать, что встраивание компонентов станет одной из ключевых тенденций будущего развития электроники. 

ПО МАТЕРИАЛАМ ПРЕЗЕНТАЦИИ, ПРЕДСТАВЛЕННОЙ НА МЕЖДУНАРОДНОМ СИМПОЗИУМЕ АСОЛД 2012.  
ВСЕ ГРАФИКИ И ТАБЛИЦЫ ПРЕДОСТАВЛЕНЫ КОМПАНИЕЙ PRISMARK PARTNERS LLC, ЕСЛИ НЕ УКАЗАНО ИНОЕ.





НАПРАВЛЕНИЕ  
РАЗВИТИЯ  
ОБРАЗОВАНИЯ  
И ПРИКЛАДНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

через



лет

**студенты будут иметь дело с технологиями, которые еще не созданы.**

**Дать им нужное для этого образование мы помогаем уже сейчас**

Технологии, которые завтра будут в цехах, сегодня – в головах разработчиков. Но к моменту, когда они будут созданы, понадобятся люди, которые смогут их использовать и развивать. Мы заботимся о том, чтобы такие специалисты появились вовремя. В партнерстве с отечественными предприятиями, учебными заведениями и зарубежными

исследовательскими центрами мы развиваем научно-образовательные центры, научные и учебно-производственные лаборатории, поддерживаем прикладные исследования в вузах, внедряем перспективные разработки в области электроники в производство. Мы не ждем, когда наступит будущее, мы его создаем.

УЗНАЙТЕ БОЛЬШЕ



Тел.: (495) 788-44-44  
info@ostec-group.ru



будущее  
создается

[www.ostec-group.ru](http://www.ostec-group.ru)

# Мир В НОВОМ СВЕТЕ



Текст: Николай Павлов

”

Во всех областях жизни нас каждую минуту сопровождает освещение той или иной яркости и интенсивности. Человек многое воспринимает через цвет: удивительно, но доказано — цвет формы спортсменов влияет на решения судей. Футбольная команда, одетая в красную форму, имеет большие шансы на победу при игре на своем поле<sup>1</sup>. Правильная комбинация цвета и его яркости может как заинтересовать, так и отпугнуть человека. Создание «удачного» и универсального источника света — одна из важных задач в промышленности и лабораториях. Вероятно именно поэтому многие передовые технологии примеряются, в первую очередь, именно к светотехнике. Не стала исключением и печатная электроника: одно из наиболее активно развивающихся направлений — это OLED-техника.

Органические светодиодные источники света (OLED — Organic Light Emitting Diode) являются наиболее перспективными с точки зрения экономии электроэнергии, не выделяют тепло (лампы накаливания), не требуют дополнительных устройств для старта (стартеры и дроссели у ламп дневного света). Величина светового потока у светодиодов аналогична соответствующим показателям «классических» ламп. Примеры замены «классических» ламп на светодиодные источники света приведены на рис 1.

Многие производители уже предлагают первые лампы на технологии OLED, а в ближайшем будущем все крупные фирмы планируют переходить на массовое производство таких систем освещения рис 2.

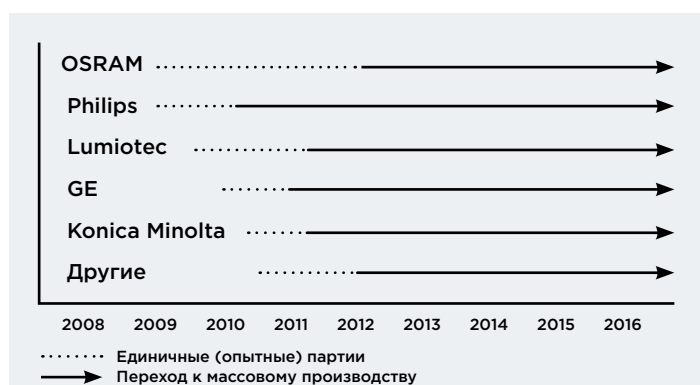
Возможно использование этих изделий не только в качестве единичных (точечных) источников света, но и в качестве целых поверхностей, излучающих свет. Причем такие системы могут менять не только свой уровень светимости, но и становиться прозрачными или матовыми в зависимости от времени суток. Учитывая все ключевые параметры имеющихся и будущих OLED-систем, Ассоциация Органической и Печатной Электроники (OE-A) дала прогноз развития рынка, представленный в таблице и на рис 3.

OLED-светодиод впервые появился в 1987 году, когда исследователи компании Kodak Чин Танг и Стив Слайк продемонстрировали разработанный ими новый материал: при пропускании электрического тока тонкий слой вещества испускал достаточно яркий свет. Дальнейшее развитие материалов и технологии проходило очень активно. Уже в 1998 году появилось первое серийное устройство с OLED-дисплеем, он применялся в автомаг-



1 Печатные светодиодные аналоги «классических» ламп

нитоле в качестве желто-черного монохромного экрана размером 256x64 точки. Всего через год появился первый полноценный многоцветный дисплей. На сегодняшний день многие электронные устройства если имеют устройства вывода, то это именно OLED-дисплеи. Возможность нанесения всей структуры методами печатных технологий по праву может считаться следующим шагом в развитии направления.



2 Тенденции развития печатных светодиодных источников света

Т 1 Прогноз развития рынка OLED-систем

Поколение	Описание продукта	Рынок	Доступность на рынке
1	Малогобаритный модуль на стеклянном основании с разъемом, низкая световая отдача 10-20 Лм/Вт, 100 см <sup>2</sup>	Дизайнерское освещение (ограниченная серия)	2010-2011
2	Светильник с элементами управления, небольшой разброс яркости по площади, 30 Лм/Вт, 1 000 см <sup>2</sup>	Декоративное освещение	2012
3	Легкий светильник, высокая световая отдача >50 Лм/Вт, время жизни 25 000 ч	Общее освещение	2014 +
4	Гибкие светодиоды на пластиковом и металлическом основании, толщина <<1мм	Архитектура, вывески, автоэлектроника	2015 +

1 <http://lenta.ru/news/2008/07/10/unfair/>

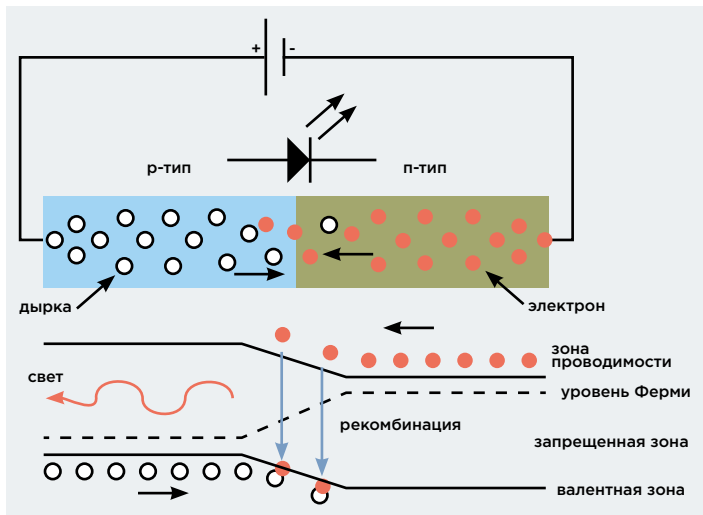


3 Тенденции развития печатных светодиодов по прогнозам ОЕ-А



4 Разница LCD и OLED

У многих возникает вопрос: а зачем нужен OLED, если есть LCD, и в чем их различие. Их основное различие в четкости изображения и в величине энергопотребления, габаритах, электрических параметрах. Потребляет OLED значительно меньше, и его объемная структура значительно тоньше, что позволяет делать экраны и излучающие поверхности не только тоньше, но и легче. О разности в четкости изображений можно получить представление по иллюстрации на рис 4. У OLED нет «слепых» зон обзора, время отклика составляет всего 10 мкс, против 10 мс у LCD. Отдельной строкой стоят параметры рабочих температур: OLED спокойно функционируют в диапазоне от минус 40°C до плюс 70°C, а ЖК-панели эксплуатировать на холоде крайне нежелательно.



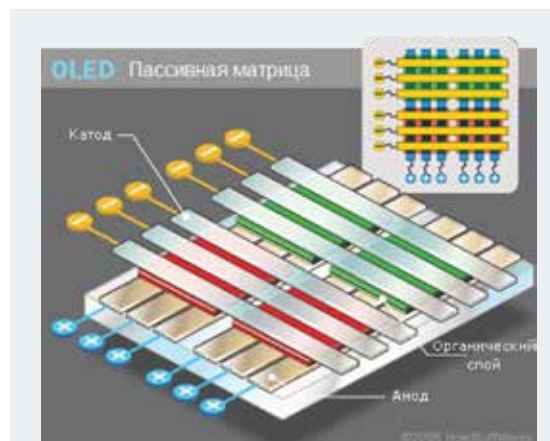
5 Принцип излучения света полупроводниковым элементом

Как же происходит излучение фотонов и как добиться различных цветов? После подключения к структуре OLED питающего напряжения, анод и катод начинают одновременно инжектировать дырки (положительные заряды) и электроны (отрицательные заряды) в органический слой, где происходит их рекомбинация, в результате чего выделяется энергия, большая часть которой высвобождается в форме света рис 5. Вполне логично, что яркость зависит от типа используемого в OLED материала и приложенного напряжения питания. Минимальное свечение начинается при напряжении от 2-2,5 В, а при 10 В яркость достигает уже 1000 Кд/м². Цвет светодиодов определяется длиной волны излучаемого света, который, в свою очередь, зависит от смеси по-

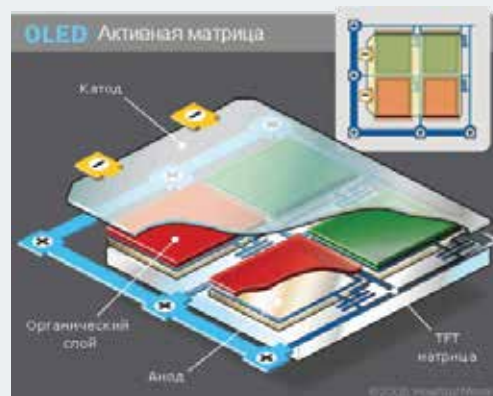
**Т 2**  
 Типы полупроводниковых материалов, используемых для получения различных цветов в «классических» светодиодах

Характеристики цветных светодиодов			
Полупроводники	Длина волны, нм	Цвет	Напряжение питания (20 мА), В
GaAs	850-940	инфракрасный	1,2
GaAsP	630-660	красный	1,8
GaAsP	605-620	янтарный	2,0
GaAsP:N	585-595	желтый	2,2
AlGaP	550-570	зеленый	3,5
SiC	430-505	синий	3,6
GaN	450	белый	4,0

лупроводников, использующихся в формировании точки р-п перехода во время производства светодиодов. Набор цветов достаточно широк: красный, янтарный, желтый и зеленый. Можно добиться синего и белого цветов, но, как правило, такой цвет увеличивает стоимость процесса производства, так как надо точно смешать несколько цветов для их получения. Главными компонентами являются галлий (Ga) и мышьяк (As). Типы полупроводниковых материалов, используемых для получения различных цветов в «классических» светодиодах, приведены в **Т 2**<sup>2</sup>. Различным типам полупроводниковых элементов для излучения света соответствующей длины волны требуется различное напряжение питания. В таблице приведены лишь некоторые виды полупроводниковых элементов, на сегодняшний день их значительно больше. Основным недостатком разноцветных светоизлучающих материалов следует считать даже не различное рабочее напряжение питания, а долговечность. Так, светоизлучающие материалы синего спектра выдержат порядка 10 000–14 000 часов работы, а зеленые и красные — от 46 000 до 230 000 часов. Но работы над выравниванием сроков службы различных материалов ведутся очень активно многими разработчиками. Единичные светоизлучающие элементы объединяются в матрицы для создания полноразмерных светоизлучающих поверхностей. Сами OLED-матрицы могут быть активными и пассивными. В пассивной матрице светоизлучающие ячейки находятся на пересечении анодов и катодов, при подаче напряжения на них матрица начинает светиться **рис 6**. При этом для поддержания картинки требуется постоянное приложение напряжения. Недостатки такой матрицы формируются из ограничений разрешения получаемого рисунка, обусловленных невозможностью высокоточного нанесения электродов и ограничением в потреблении электричества.



**6**  
 OLED с пассивной матрицей



**7**  
 OLED с активной матрицей

2 [http://www.supersvetodiод.narod.ru/novosti/cvet\\_svetodiодov.htm](http://www.supersvetodiод.narod.ru/novosti/cvet_svetodiодov.htm)



8  
TOLED, используемый в часах/таймере



9  
TOLED, используемый в активном экране навигации самолета (проект)



10  
FOLED — гибкие OLED

В активной матрице светоизлучающая ячейка привязана к тонкопленочному транзистору, однократная подача напряжения на который приведет к её «загоранию» до подачи другой управляющей команды рис 7. Такая матрица позволяет добиться большего разрешения, уменьшенного времени отклика и меньшего энергопотребления. При этом возникает другое ограничение — значительное увеличение стоимости такой матрицы по сравнению с пассивной.

Кроме различных типов матриц, с помощью которых осуществляется управление подачей цвета, существуют также различные типы самих OLED по типу и назначению. Рассмотрим следующие типы OLED:

- прозрачные OLED (Transparent OLED — TOLED);
- гибкие OLED (Flexible OLED — FOLED);
- наборные OLED (Stacked OLED — SOLED).

Прозрачные OLED имеют характерную особенность — прозрачность всех составляющих частей. Без подачи питающего напряжения структуры OLED остаются прозрачными. Области применения таких типов экранов очень разнообразны и включают в себя изделия от потребительской электроники до спецтехники рис 8, рис 9.

Гибкие OLED имеют другое существенное отличие — гибкость основания, на котором выполнен дисплей, и пластичность всех структур, способных выдерживать усилие на изгиб. Удобство таких систем можно оценить, представив нашивку на рубашке, выводящую, к примеру, карту вашего передвижения. Пример такого дисплея приведен на рис 10.

Причем гибкость таких экранов может измеряться не небольшими углами изгиба, а количествами оборотов вокруг собственной оси рис 11.

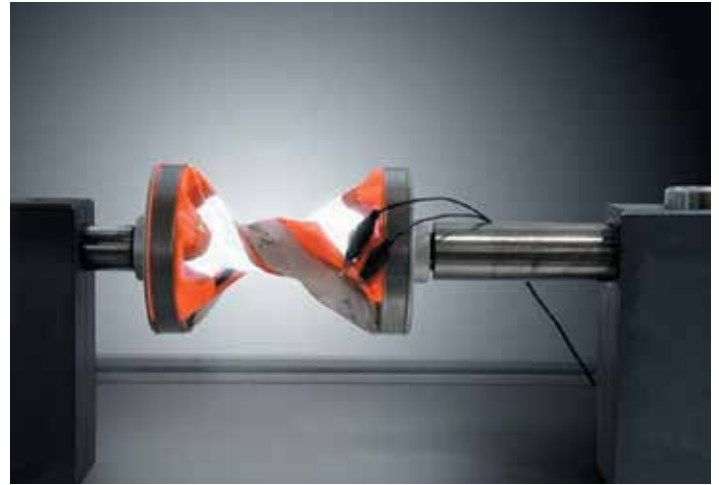
Наборные OLED, представленные фирмой Universal Display Corporation, характеризуются несколько нестандартной структурой формирования цвета. Обычно все цвета формируются из комбинации трех основных — красного, синего и зеленого — ячейка матрицы светодиода объединяет именно их. Сгруппированы эти источники света в одной плоскости, в результате чего при рассмотрении с близкого расстояния можно увидеть не только сам объект, но и цветовые ячейки, формирующие тот или иной рисунок рис 12.

В SOLED использованы TOLED, расположенные друг над другом, то есть светоизлучающие ячейки сгруппированы не по горизонтали, а по вертикали. Это позволило получить ряд очевидных преимуществ: независимо от расстояния и увеличения, с которых вы рассматриваете рисунок, трехцветные ячейки не увидишь. Это дополнительная возможность увеличить разрешение экрана и, соответственно, значительно улучшить цветопередачу.

Отдельно стоит упомянуть класс белых OLED. Реализация такой структуры значительно проще, поскольку нет необходимости в создании пикселей и управляющих матриц. Получаемый свет можно варьировать по уровню яркости, а по своим свойствам он более комфортен, чем



11 Гибкость FOLED



свет флуоресцентных ламп. Используя слой светофильтра, можно получить лампу любого цвета. При этом сам элемент получается очень экономичным.

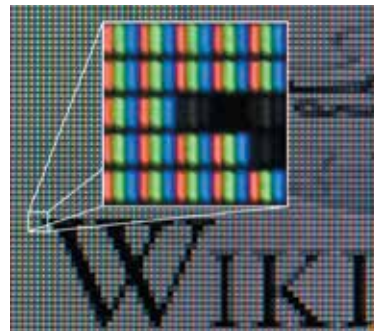
Все представленные типы OLED могут быть выполнены по печатным технологиям уже на текущем этапе развития, хотя многие только как лабораторные прототипы. При этом несомненными преимуществами печатных технологий следует считать широкий выбор оснований, на которых могут быть сделаны OLED, универсальность и скорость процесса, позволяющие за один цикл сформировать всю структуру. В зависимости от типа OLED можно применять различные технологии печати.

Структура печатных OLED будет состоять из слоев, представленных на рис. 13. При этом формирование слоев может проводиться не только печатными методами, можно использовать несколько технологий.

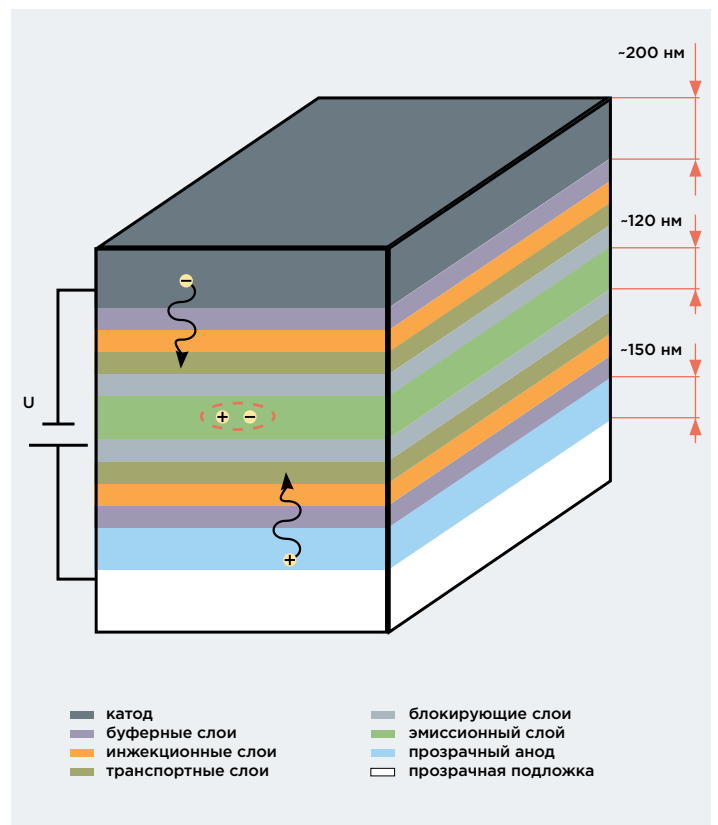
Одним из основных недостатков органических светодиодов является их «капризность» — любой контакт с окружающей средой может привести к деградации и снижению ключевых параметров. При попадании влаги ячейка просто-напросто разбухает, а при взаимодействии с кислородом — окисляется, что в любом случае ведет к нарушению работоспособности. Поэтому OLED-излучателю требуется стопроцентная герметизация. Пример обеспечения такого уровня герметичности был показан Хольст-Центром на выставке LOPEC 2013 рис. 14.

Перспектива получения гибких лент и экранов OLED разного назначения широка. Примеры использования простых светящихся лент высокой гибкости уже приводились Хольст-Центром рис. 15. Более сложные дисплеи можно использовать не только в качестве телевизора, но и, например, в качестве электронных обоев, способных воспроизводить любую картинку, в том числе и телевизионную.

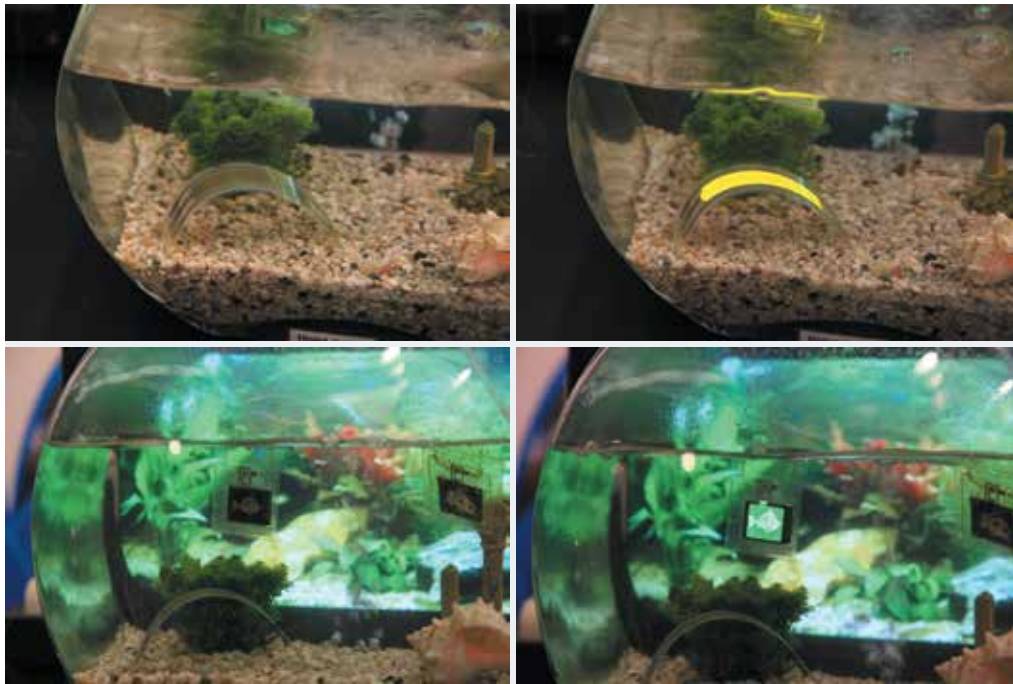
Различные печатные технологии позволяют изготавливать такие изделия. Некоторые только как лабораторные образцы, некоторые в качестве опытных и малых серий. К примеру, технологии трафаретной



12 Цветовые ячейки, формирующие рисунок



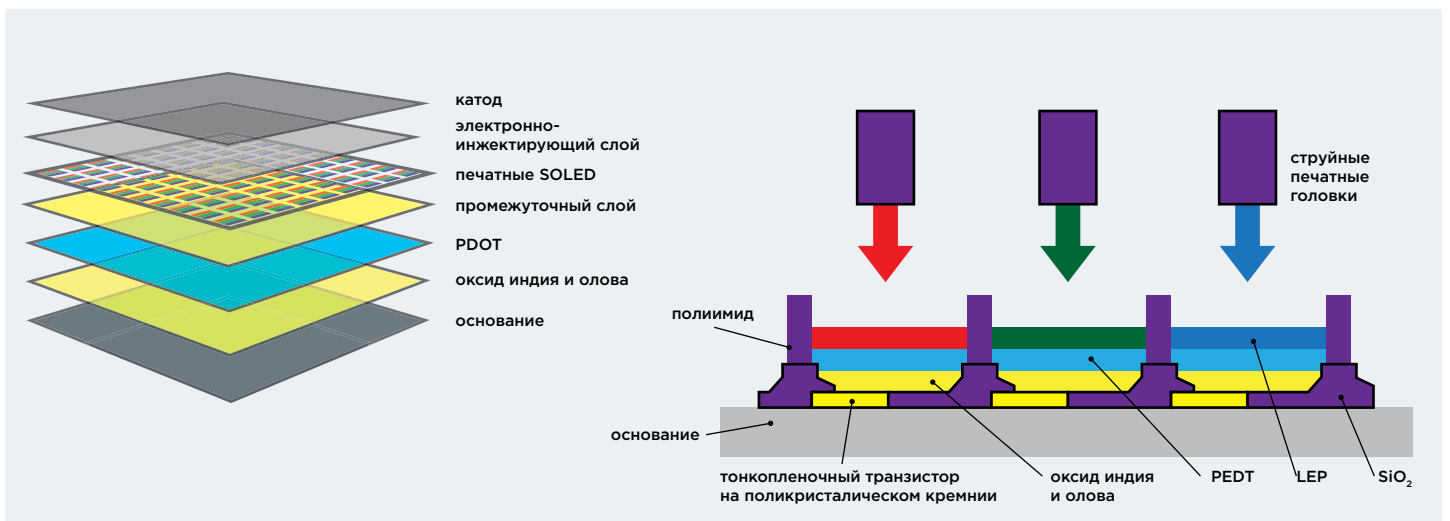
13 Структура OLED



14 OLED, изолированные от воздействия воды



15 Примеры гибких OLED светильников



16 Технология изготовления OLED с нанесением светоформирующих ячеек струйной печатью: Cathode — катод, EIL — электронно инжектирующий слой, Printable smOLED — печатные smOLED, Interlayer — промежуточный слой, Polyimide — полиимид, Substrate — основание, Polysilicon TFT — тонкопленочный транзистор на поликристаллическом кремнии, ITO — оксид индия и олова, LEP — светоизлучающий полимер, Ink jet printed heads — струйные печатные головки

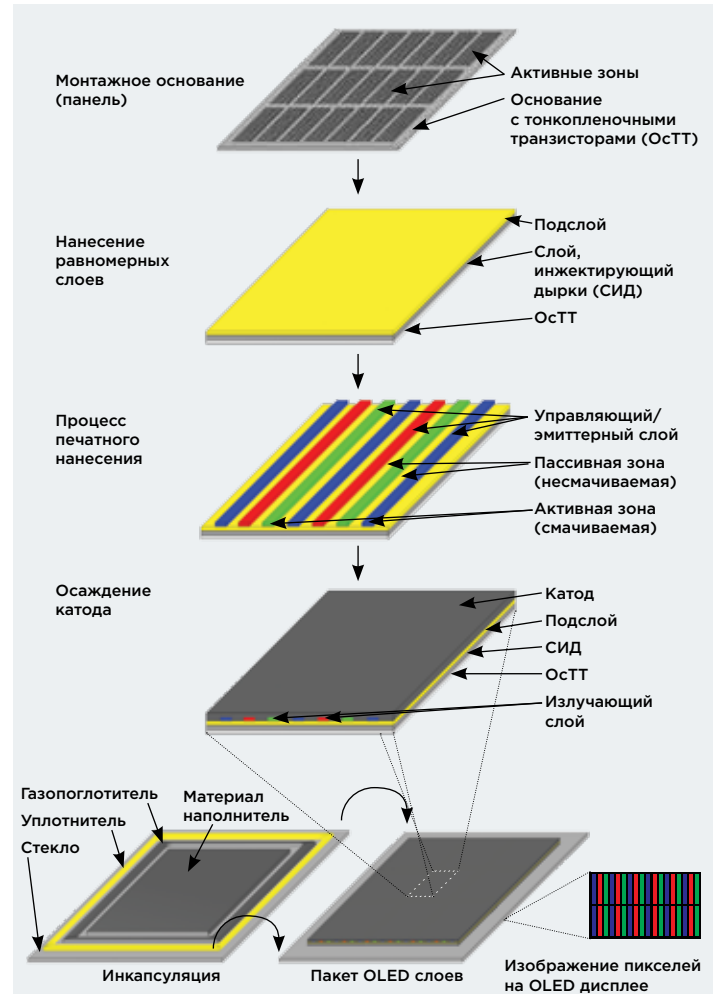


печати подходят для формирования OLED источников света (равномерных), поскольку данная технология оптимальна для нанесения больших по площади слоев с несложной структурой. Струйная печать позволяет с высокой точностью формировать достаточно сложные структуры, такую технологию стоит рассматривать в качестве приоритетной для многоцветных экранов. Один из примеров последовательности нанесения слоев при формировании многоцветного экрана приведен на рис 16.

Как видно на рисунке, на текущем этапе развития технологий вполне оправданным можно считать некое слияние «классических» и печатных технологий. Так, в качестве оснований и разделителей ячеек выступают соединения кремния и полиимид, выполненные по «классическим» технологиям, а заполнение ячеек происходит с помощью струйной печати. Пример такого совмещения в одном цикле изготовления приведен на рис 17. Однако вопросы разработки новых материалов и технологий не стоят на месте, ведь сворачиваемый экран невозможно выполнить на кристаллических подложках. Образцы проектов и готовых изделий с гибкими OLED структурами приведены на рис 18.

Гибкость OLED, их способность быть прозрачными или матовыми, светящимися ярко или рассеивающими равномерный приглушенный свет, способность комбинировать различные цвета и формировать картинку высокой четкости — это лишь некоторые преимущества, которые позволят в ближайшем будущем рассматривать OLED в качестве универсальных источников света и экранов.

Печатные технологии — путь к получению таких изделий. □



17 Технология изготовления OLED с использованием струйной печати



18 Примеры изделий с гибкими OLED: а - OLED, изготовленный на линии Roll-to-roll, б - OLED-дисплей фирмы Dupont, в - гибкий OLED, вшитый в нарукавник, г - гибкий экран Sony OLED

## ТЕХНОЛОГИИ



# Пайка в паровой фазе — друг или Враг?



Текст: **Василий Афанасьев**



В первой части статьи («Вектор высоких технологий» № 3 (03) сентябрь 2013) мы познакомились с системами пайки начального уровня компании IBL, а также рассмотрели достоинства и ограничения технологии пайки в паровой фазе в целом. Настало время представить вам системы класса Премиум — установки конденсационной пайки, для которых никаких ограничений не существует.



1 Система пайки SLC609 с конвейерным модулем

## Системы пайки класса «Премиум»

В системах пайки класса «Премиум» реализованы самые современные технические решения в области парофазной пайки. Модельный ряд систем позволяет подобрать необходимую установку под конкретные задачи, исходя из требуемой производительности, площадей и габаритных размеров печатных узлов **T 1**. Особенно стоит отметить, что данные установки могут быть оборудованы конвейерной системой для встраивания в линию **рис 1**.

И здесь уже начинаются ключевые особенности систем пайки IBL. Каждая из указанных установок может быть изначально поставлена в автономном исполнении, но оборудована впоследствии конвейером для встраивания в производственную линию. И это может быть осуществлено на территории заказчика!

## Другие отличительные особенности систем «Премиум» IBL.

### РЕЖИМ SOFT VAPOR PHASE

Основная особенность «Премиум» систем, это, конечно, метод реализации технологии пайки в паровой фазе. Если в установках класса «Эконом» температурный профиль реализуется только за счет программирования мощности нагревателя и времени на разных стадиях, то в классе «Премиум» еще существует возможность регулирования платы по высоте!

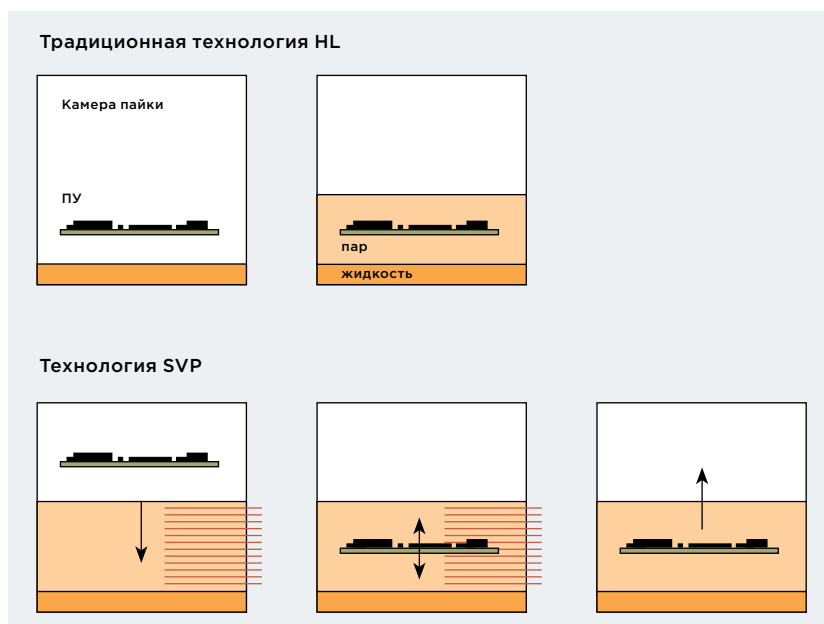
Для наглядности попробуем представить установку пайки в паровой фазе в виде кипящей кастрюли с водой, стоящей на электрической плите. Мощность плиты на среднем уровне, вода кипит. Поместим свою ладонь в облако пара над кастрюлей. Горячо? Конечно. Думаю, что двух мнений быть не может. Ладонь это имитация платы, а сам процесс — это некая имитация предварительного подогрева. Теперь добавим мощности электрической плиты. Парообразование стало интенсивнее, а ладонь уже невозможно держать над кастрюлей. Процесс пайки в паровой фазе, можно представить именно так (хоть и несколько грубовато). Именно за счет изменения мощности нагревателя в ней реализуется необходимый температурный профиль. А сразу ли вода в кастрюле начинает кипеть интенсивнее на электрической плите при повышении мощности? Нет, проходит некоторое время, равно как и наоборот — при переходе от высокой мощности к пониженной. Аналогичная ситуация и в установках пайки — интенсивность кипения снижается/повышается не сразу, поэтому данный метод считается не самым эффективным, хотя и достаточно простым в реализации.

А теперь подумаем о том, что будет, если вместо изменения мощности нагревателя у нас появляется возможность изменить положение руки по высоте. Подняли руку повыше — не так горячо, опустили пониже — совсем жарко, причем изменение температуры на руке

**T 1**

Модельный ряд систем пайки класса «Премиум»

Модель	Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	Макс. размеры обрабатываемого печатного узла (напольное исполнение), мм	Макс. размеры обрабатываемого печатного узла (конвейерное исполнение), мм
SLC 309	1760x940x1320	300x340	300x300
SLC 509	1760x1190x1320	540x340	540x300
SLC 609	1760x1290x1320	640x340	640x300
SCL 809	1760x1490x1320	840x340	840x300
BLC 509	1960x1290x1320	540x540	540x400
BLC 609	1960x1290x1320	640x540	640x400
BLC 809	1960x1490x1320	840x540	840x400



2 Сравнение традиционной технологии и технологии SVP

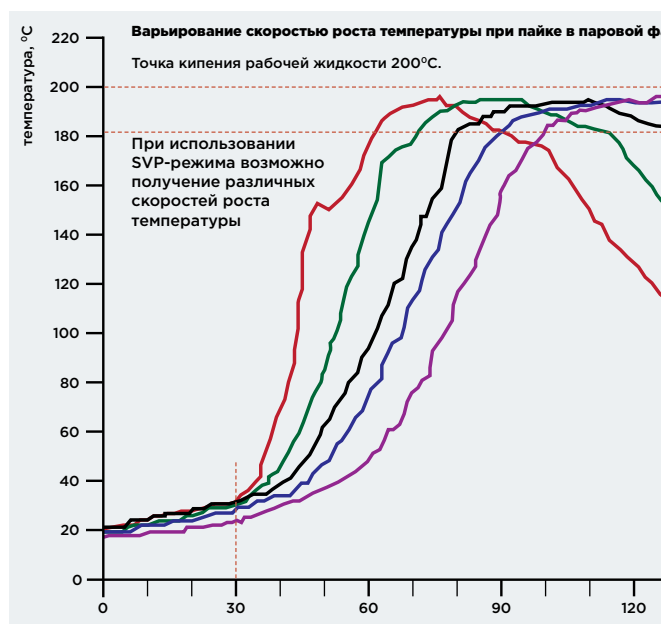
в таком случае происходит быстрее, чем при регулировке мощности плиты.

И, наконец, представим, что есть возможность комбинировать два метода: изменение высоты и регулировку мощности! На максимальной интенсивности кипения мы можем держать руку на такой высоте, что тепла не будет чувствоваться, и, опуская ниже, будем ощущать нагрев. На минимальной интенсивности мы можем опустить ее вплотную к воде и чувствовать как повышается температура. Мы можем варьировать процесс как угодно. Именно так работают системы пайки «Премиум» компании IBL. Данный запатентованный режим работы называется SVP (Soft Vapor Phase — мягкая паровая фаза).

В режиме SVP в одной рабочей программе можно задать до 20 значений по мощности, высоте платы и температуре рис 2!

Если говорить более точно, установки серии «Премиум» могут работать в нескольких режимах:

- режим HL — передача энергии печатному узлу контролируется путем регулировки мощности нагревательных элементов — как и в серии «Эконом» задается несколько ступеней мощности и время. На рис 3 показано изменение градиента на одной и той же плате при различной мощности нагревателя после 5-ти измерений;
- режим SVP — в котором помимо задания мощности нагревателя и времени, возможно медленное ступенчатое опускание печатного узла в пар и возможна остановка печатного узла в различных позициях на необходимое время. Перемещение печатного узла в паровой фазе вверх и вниз может программироваться;

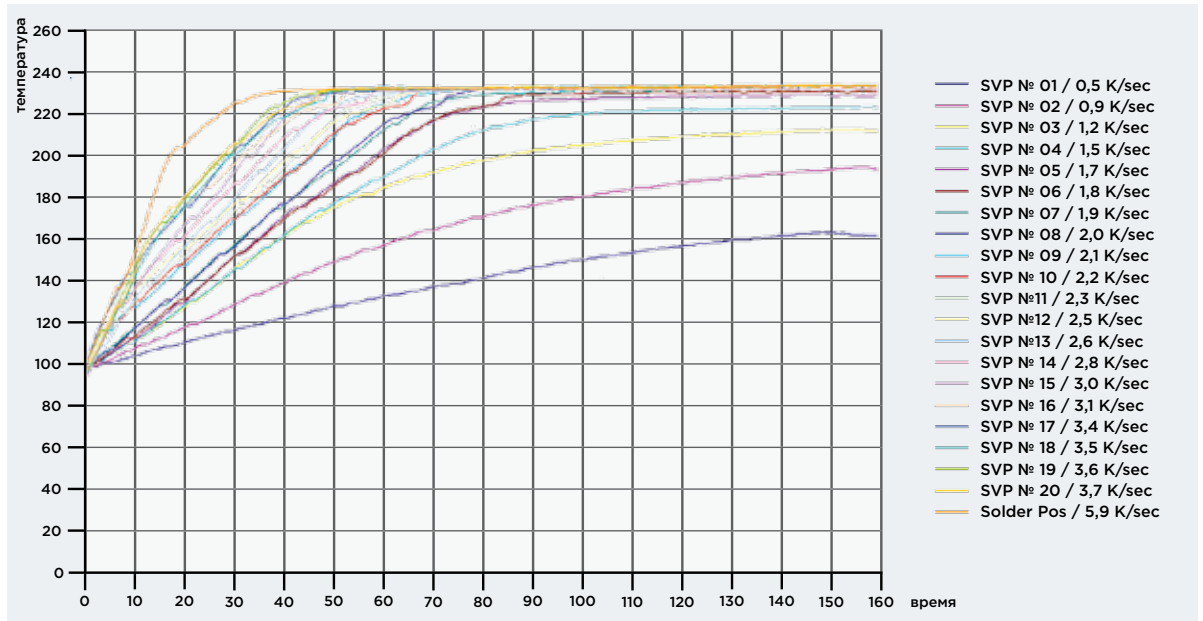
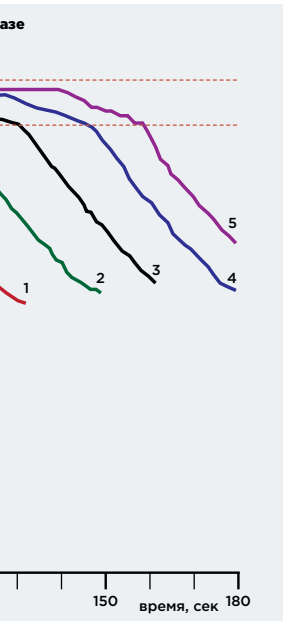


3 Изменение градиента на одной и той же плате при различной мощности после 5 измерений

- режим PSA (premium solder automatic), который может быть активирован в дополнение к двум вышеописанным режимам. Данный режим автоматически управляет временем нахождения печатного узла в камере пайки после наступления фазы оплавления припоя (фазы, когда температура платы становится равной температуре окружающей среды или заданной оператором температуре).
- режим SVTC (Soft Vapor Temperature Control) — в котором, помимо задания мощности нагревателя и времени, возможно медленное ступенчатое опускание печатного узла в пар и возможна остановка печатного узла в различных позициях на необходимое время или до достижения необходимой температуры.
- режим SVTCP (Soft Vapor Temperature Control Pilot) — «пилотный режим», о котором речь пойдет ниже.

На рис 4 показано изменение градиента температуры в каждом из 20 положений печатной платы по высоте. Из графика видно, что в зависимости от изменения высоты платы в облаке пара, градиент температуры может варьироваться от 0,5 до 5,9°C в секунду.

Использование упомянутых режимов дает колоссальные возможности по программированию и позволяет добиться реализации абсолютно любого температурного профиля. Если простая плата имеет достаточно линейный профиль, не требующий сложных настроек — можно использовать HL режим с минимумом параметров. Если плата сложная, то необходимо тщательно формировать градиент температуры, установить зону стабилизации определенной длины — и для этого есть все инструменты! Комбинация из регулировки по мощности и по высоте



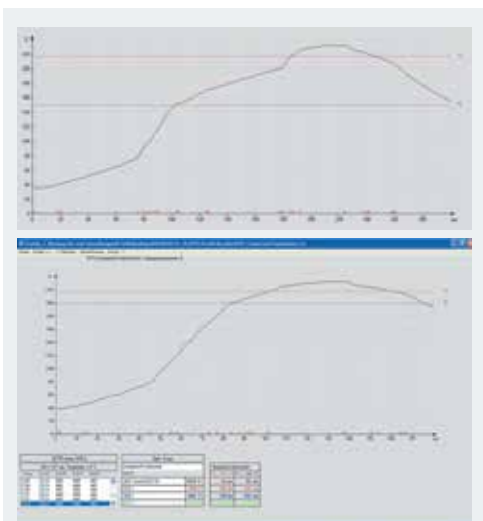
мощности нагревателя

4 Изменение градиента температуры, в зависимости от высоты платы

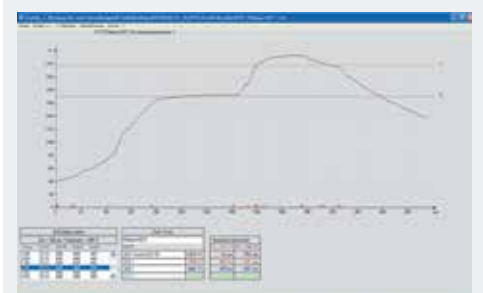
обеспечивает необходимую скорость возрастания температуры. Обратная связь по температуре (температура не только задается, но и контролируется!) полностью исключает риск перегрева и гарантирует четкое следование необходимому профилю рис 5, 6. Нужно, чтобы процесс остановился при определенной температуре ниже максимальной — нет проблем! Любой профиль, любой процесс, любая технология. Возможности систем «Премиум» при создании программ пайки не ограничены!

**«PILOT MODE» ИЛИ «ПИЛОТНЫЙ РЕЖИМ»**

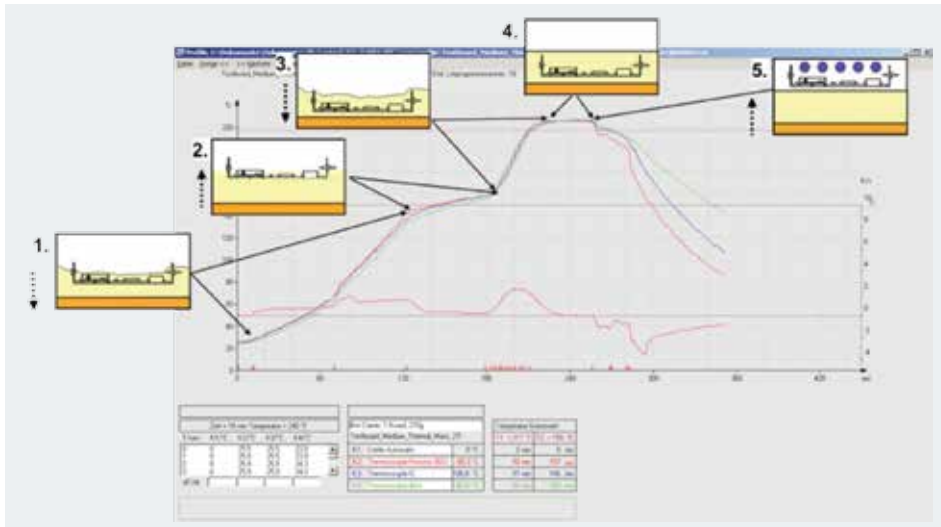
Много настроек это, конечно, хорошо, но может возникнуть ощущение, что создавать программы пайки очень трудно. Ничего подобного! Если вы хотите избавить себя от программирования каждого шага установки при создании сложных температурных профилей, то для вас существует так называемый «пилотный режим». Суть его в следующем: допустим, вы хотите получить некий конкретный профиль для определенного типа плат. В этом случае, вы вносите необходимые значения параметров процесса в машину (температуру и время), выбираете из партии одну плату, крепите к ней термопару и запускаете «пилотный режим». Термопару желательно фиксировать в наиболее критичных участках. Например, если на плате присутствуют компоненты, на которых нельзя превышать значение температуры выше определенной, то на одном из таких компонентов и нужно закрепить термопару. В системах паровозной пайки, равно как и в печах конвекционного оплавления, штатные термопары меряют не реальную температуру на плате, а на некотором удалении от нее. Поэтому для получения объективной картины процесса использо-



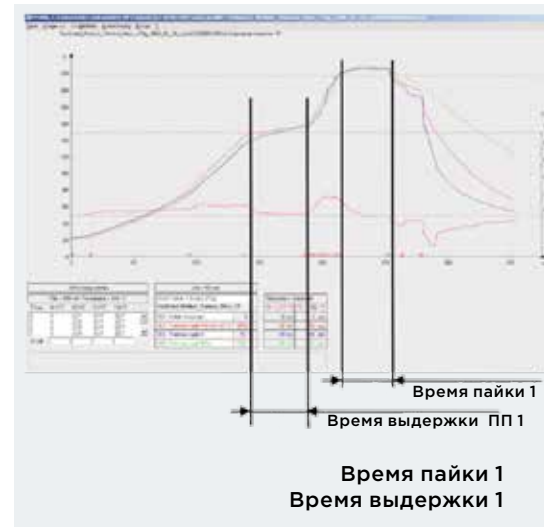
5 Снижение градиента перед переходом в область пайки сокращает риск образования надгробных камней



6 Возможность формирования зоны стабилизации необходимой длительности снижает риск образования пустот



7 Отладка температурного профиля в «пилотном режиме» с указанием направления перемещения ПУ по высоте



8 Режим работы Syncro Mode

вание внешней термопары необходимо. В «пилотном режиме» установка считывает с нее данные, обрабатывает по этим данным температурный профиль согласно внесенным ранее значениям и запоминает полученные данные! В результате профиль любой сложности будет построен по реальной температуре на печатном узле и будет полностью соответствовать тому, который планировался изначально рис 7. После отработки режима полученные данные автоматически (либо вручную оператором) конвертируются в рабочую программу и все! Рабочая программа готова! 100% воспроизведение нужного профиля без малейшего риска перегрева или недогрева! Даже если нужно паять при температуре ниже, чем точка кипения Galden! Уникальный режим, не имеющий аналогов. Термопара, к слову, в дальнейшей работе больше не нужна.

Как уже упоминалось выше, создание корректной программы пайки может оказаться весьма непростым процессом. Данная функция избавляет от трудоемкой процедуры подбора профиля под самые сложные и delicate печатные узлы. Достаточно одного автоматического цикла в «пилотном режиме»! Именно это называется «элементарное создание программ». Вернее, «элементарное создание правильных программ».

### SYNCRO MODE

Не зря мы упоминали про внимание к мельчайшим деталям у компании IBL. К сожалению, чудес не бывает, и даже одни и те же платы в одном и том же температурном режиме могут запаиваться по-разному. Когда же это происходит? И снова попробуем подключить воображение.

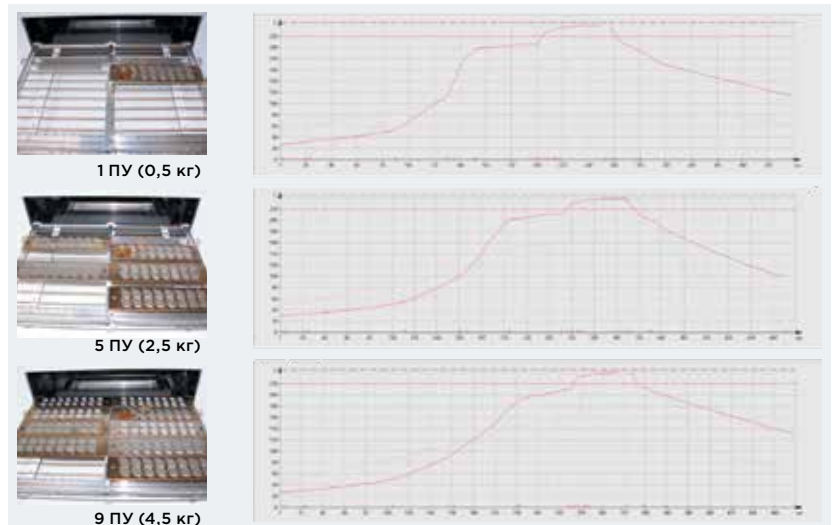
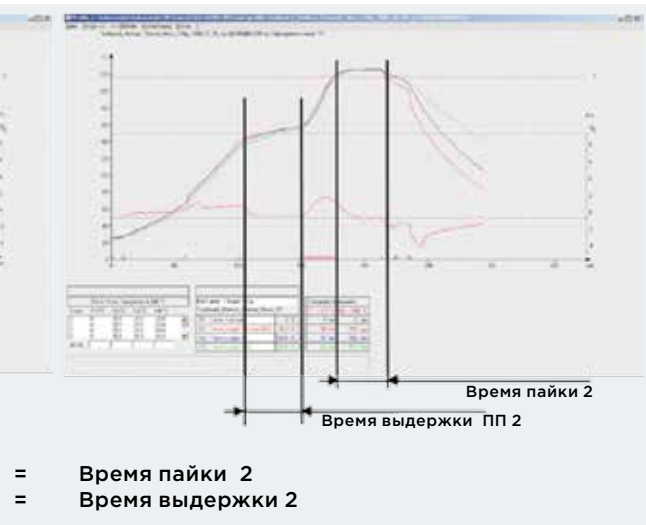
Начинается рабочий день. К пайке готова первая партия печатных узлов. Мы включаем установку пайки в паровой фазе, кладем первый печатный узел на палету

и запускаем процесс. Спаяли. Кладем следующую. И ее спаяли. И так до обеда. Сходили на обед. Снова включили установку (либо вывели ее из «спящего» режима) и продолжили пайку до конца рабочего дня. А при контроле качества пайки на некоторых платах из партии вдруг обнаруживаются дефекты, надгробные камни, шарики припоя или даже непропаи. Казалось бы, все отлажено, параметры технологического процесса одинаковые на всех операциях, начиная от нанесения паяльной пасты и заканчивая пайкой. В чем же дело?

А дело вот в чем. Мы помним, что платы для пайки укладываются на палету, и уже на ней совершают перемещения по стадиям процесса. В начале рабочего дня, после обеда или просто в случае относительно длинных перерывов между пайками, что характерно для небольшого объема выпуска изделий, палета у нас имеет комнатную температуру. Если же у нас идет пайка за пайкой, то палета будет нагрета. Законов физики никто не отменял, и холодная палета имеет достаточную теплоемкость, чтобы забрать на себя предназначенное платам тепло. В режиме работы SVTC это не имеет принципиального значения, так как за счет имеющейся обратной связи по температуре система компенсирует потери тепла. Но в случае работы одного из режимов без обратной связи это может сказаться на качестве пайки. Пусть такая вероятность невелика, но она существует, а при пайке сложных печатных узлов, особенно в спецтехнике, мелочей не бывает.

Поэтому в печах IBL реализована функция Syncro Mode — простое и элегантное решение, которое позволяет начинать непосредственно цикл пайки при одной температуре. Перед началом процесса, палета просто подогревается до определенного значения, после которого уже и начинается отработка цикла рис 8.

Также в системах IBL выдерживается необходимый



9  
Зависимость температурного профиля от загрузки паллеты

температурный профиль, независимо от того сколько плат вы поместили на паллету — одну или десять рис 9. В отличие от других существующих систем, в которых при пайке одной платы и при пайке нескольких будут абсолютно разные градиенты температуры, у IBL режим Syncro Mode и обратная связь по температуре делают свою работу.

### Измерение температуры

И снова о так называемых «мелочах», из которых складывается эффективный технологический процесс. Хотя в случае пайки называть измерение температуры процесса «мелочью», пожалуй, слегка самоуверенно. Когда я рассказывал о «пилотном режиме», я упоминал тот факт, что в большинстве печей температура измеряется на удалении от платы, и указанный режим служит для простого получения наиболее оптимального профиля. Данные, снятые с термопар после отработки режима, транслируются в машину, и автоматически вносятся поправка с учетом расположения встроенного датчика температуры. Очевидно, что расположение внутренних термопар оказывает влияние на погрешность при проведении измерений в штатном режиме работы. Чем ближе к плате производится измерение, тем точнее оно будет. Лучший вариант, это, конечно, использовать термопары, фиксированные на плату. В системах IBL предусмотрена возможность использования на выбор 4 или 6 термопар при помощи специального адаптера, монтированного на паллете, но они служат в основном для отладки. Поэтому, учитывая, что в процессе работы паллета совершает перемещения по высоте, в IBL поместили штатную термопару на самой паллете в непосредственной близости к пе-

чатным узлам, реализуя таким образом максимально возможную точность измерений и снижение погрешностей. К тому же, по сравнению с системами, в которых термопары зафиксированы непосредственно в камере пайки, такое решение обладает еще одним существенным плюсом — более точным определением момента, когда печатный узел полностью прогреется. То, что это произошло, может определить лишь термопара, которая расположена на паллете чуть выше нее, в то время как термопара, расположенная в камере пайки и ниже печатного узла, наступление равновесной температуры может определить преждевременно. Также, в системах IBL осуществляется контроль температуры нагревателей, охлаждающей жидкости, пара, жидкого теплоносителя и даже паллеты! То есть оператор видит полную картину процесса, все находится под абсолютным контролем.

Расположение датчиков температуры, как мы уже выяснили, имеет значение. Если мы паяем односторонние платы, вопросов нет. Но если мы паяем вторую сторону двухстороннего печатного узла, то из-за компонентов, спаянных на первой стороне, поверхность платы, на которой осуществляется пайка, изменит свое положение относительно штатной термопары на паллете. Следовательно, ее показания будут немного отличаться от тех, что были получены на первой стороне. В IBL позаботились даже об этом, поместив вторую термопару над штатной с возможностью автоматического переключения между ними. Это означает, что если процесс оплавления происходит на разных уровнях по высоте, температура будет сниматься с одинаковой точностью, а уровни SVP также будут автоматически корректироваться в зависимости от высоты платы над паллетой. Вот это действительно внимание к мельчайшим деталям!

## Пайка в вакууме

Рассказывая про системы класса «Премиум», мы не упомянули про системы вакуумной парофазной пайки. В начале статьи, мы пытались рассуждать на тему необходимости использования вакуума, но окончательное решение каждый сам для себя принимает самостоятельно. В любом случае, такие системы пайки у IBL есть, и они так же относятся к классу «Премиум», то есть обладают перечисленными выше особенностями, свойственными данной группе оборудования. Помимо этого есть еще один важный плюс. По сравнению с системами, в которых плата с расплавленным припоем из зоны пайки переезжает в зону вакуума, у IBL плата неподвижна, а в зону пайки приезжает вакуумная камера! То есть, по сравнению с системами, у которых плата перемещается в вакуумную камеру, у IBL нет понижения температуры, нет риска сдвига компонентов, короче время цикла, и плата остается в защитной бескислородной атмосфере! На рис 40 показано схематичное изображение узлов системы пайки.

Модельный ряд установок вакуумной пайки состоит из двух машин VAC645 рис 11 и VAC665. Отличия заключаются в размерах печатных узлов, с которыми они работают, и непосредственно в габаритных размерах самих машин Т 2.

Также отметим, что опционально системы могут быть встроены в конвейерную линию, и, как в случае с системами SLC и BLC, дооснащение может быть осуществлено на территории заказчика. Регулировка ширины конвейера может проводиться либо в ручном, либо в автоматическом режиме.

## Пайка в паровой фазе для серийного производства

Существует мнение, что системы пайки в паровой фазе непригодны для серийного производства. Такое мнение сформировано по большей части из-за того, что большинство «парофаз» используются автономно, без

Т 2  
Сравнительные характеристики установок вакуумной пайки VAC645 и VAC665

	VAC 645	VAC665
Глубина (с модулем для интеграции в линию), мм	1355 (2040)	1355 (2040)
Ширина (с модулем для интеграции в линию), мм	2400 (3040)	2810 (3450)
Высота, мм	1420	1420
Максимальный размер печатных узлов, мм		
Ручная загрузка	635x440x70	635x640x70
Автоматическая загрузка	635x400x50	635x400x50
Требуемое количество теплоносителя (минимум), кг	40	60

встраивания в линию. Они отлично паяют сложные насыщенные многослойные платы, которыми характеризуется именно мелкая серия. Но и в серийном, и даже в массовом производстве установки пайки в паровой фазе находят применение. Как пример — установки CX600 и CX800 компании IBL. Принцип работы систем следующий: в CX600 платы загружаются в палету и далее совершают свой путь по стадиям процесса оплавления, как показано на рис 12. В CX800 рис 15 платы загружаются в две палеты, расположенные с левой и правой стороны печи. Пока осуществляется пайка одной палеты, в другую по конвейеру поступают платы. Затем первая палета «разгружается», а вторая занимает ее место в зоне пайки и так далее, т.е. идет непрерывный процесс.

## Опции систем пайки IBL

В системах пайки IBL может быть использовано огромное количество опций. Мы кратко опишем лишь некоторые из них.

### ИНФРАКРАСНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ

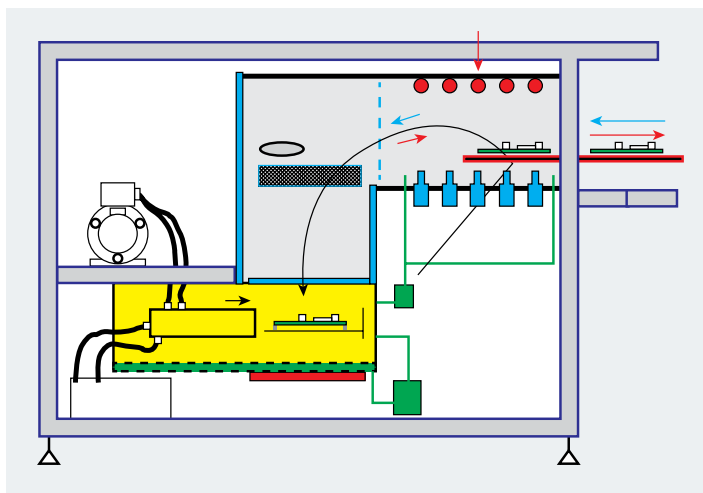
Печь можно оснастить дополнительными инфракрасными нагревателями, которые устанавливаются в первой камере. В комбинации с режимом оплавления SVP у оператора появляются богатые возможности точной настройки температурного профиля. Инфракрасные нагреватели обеспечивают дополнительный прогрев с верхней стороны, в то время как система паровой фазы, главным образом, начинает нагревать платы с нижней стороны. Это бывает полезным при пайке сложных печатных узлов.

Инфракрасный нагрев также бывает полезен, если используются различные типы паяльных паст и печатных узлов. ИК-нагреватели идеально подходят, если требуется провести отверждение клея под компонентами согласно требованиям, указанным в спецификации на клей. После цикла оплавления инфракрасная система может уменьшить градиент (перепад температур) при охлаждении, чтобы избежать теплового удара на компоненты

### СИСТЕМА СКОРОСТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Данная система охлаждения (Rapid Cooling System (RCS)) обеспечивает ускоренное охлаждение печатных узлов сразу после оплавления примерно на 30°C. Система RCS была разработана для сокращения времени, требуемого для отверждения припоя после его оплавления. Наиболее актуальна данная опция для систем пайки в вакууме, так как уменьшить время нахождения припоя в расплавленном состоянии означает уменьшить толщину слоя интерметаллидов.





10 Вид сбоку VAC 665



11 Система VAC645

Устройство охлаждения внутри камеры с паром обеспечивают скорость охлаждения до 5 К/сек. Сейчас наиболее актуальна технология оплавления, при которой после достаточно высокой температуры пайки (230 градусов для бессвинцовой технологии) следует быстрое охлаждение в течение нескольких секунд. Особенно на тяжелых и теплоемких платах металлическая структура паяных соединений значительно улучшается.

**ПРОТИВОТУМАННАЯ СИСТЕМА (AFS), УЛУЧШАЮЩАЯ ВИДИМОСТЬ НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ ПАРА КИПЯЩЕЙ ЖИДКОСТИ**

В зависимости от параметров оплавления и типа используемой паяльной пасты видимость может быть ухудшена вследствие процесса конденсации частиц (образование пара). AFS была разработана для быстрого удаления тумана из рабочей камеры. Туман выкачивается из верхней части рабочей камеры и жидкость из тумана обратно возвращается в общий резервуар с кипящей (рабочей) жидкостью.

**СЧИТЫВАТЕЛЬ ШТРИХ-КОДА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМЕНЫ ПРОГРАММЫ ПАЙКИ (ДЛЯ СИСТЕМ, ВСТРАИВАЕМЫХ В ЛИНИЮ)**

Сканирование штрих-кодов с номером сохраненной программы пайки позволяет быстро осуществить переналадку системы для выпуска другого типа изделия. Возможно сканирование 1D или 2D кода с помощью ручного или фиксированного считывателя, устанавливаемого на печь оплавления. После считывания кода машина в полностью автоматическом режиме переходит на другую программу пайки.

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ «VP-CONTROL» ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ МАШИНЫ, А ТАКЖЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ, ИЗМЕНЕНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОФИЛЕЙ**

Это программное обеспечение было разработано для сохранения производственных данных, анализа программ оплавления и отображения состояния печи. Благодаря использованию данного ПО вся информация о процессе оплавления будет в удобном виде отображена на экране монитора. Тем самым обеспечивается постоянный контроль качества изготавливаемой продукции.

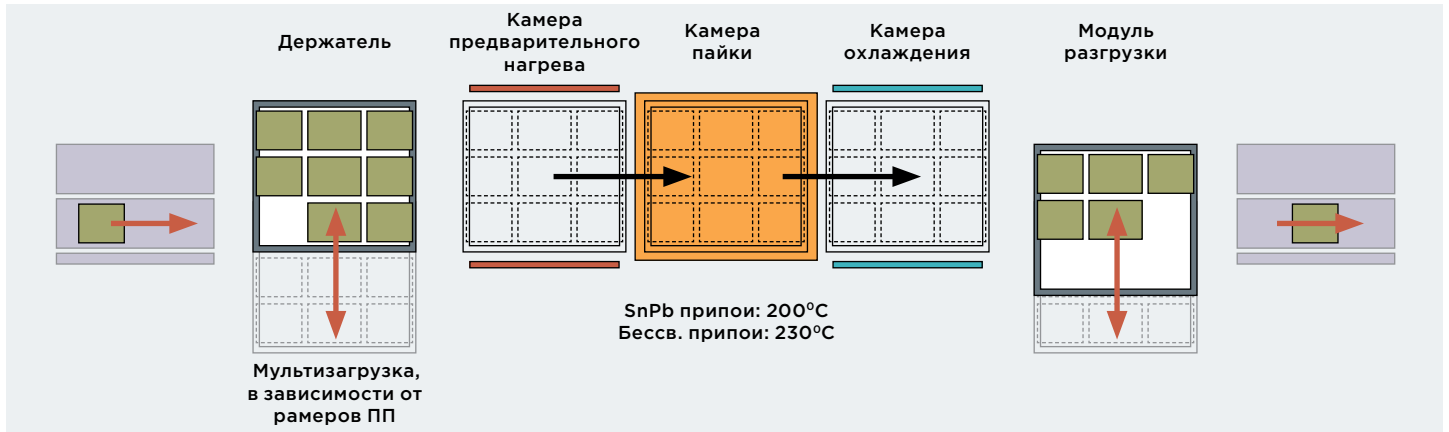
Также с помощью данного ПО можно проводить измерение температурных профилей и сохранять их.

Измеренные температурные профили могут быть проанализированы с точки зрения времени пребывания платы при температуре выше точки ликвидуса, а также с точки зрения величины температурного градиента на печатной плате.

**Резюме**

В начале статьи мы пытались показать, что пайка в паровой фазе не такая простая технология. Но при использовании современного оборудования все преимущества технологии становятся весомее, а все ограничения сходят на нет. Системы пайки IBL — самое передовое и прогрессивное оборудование для пайки на сегодняшний день. В качестве резюме еще раз остановимся на ключевых моментах.

Линейка оборудования компании IBL позволяет подобрать машину под любые задачи и требования — от использования в лаборатории до серийных объемов выпуска, от простейших систем до вакуумных, встраиваемых в линию, установок.



12

Схема движения по стадиям процесса в CX600



13

Система CX 800

Технические возможности и режимы работы, такие как возможность регулировки положения платы по высоте и обратная связь по температуре позволяют построить любой самый сложный температурный профиль и, что немаловажно, полностью ему следовать.

Для установок IBL не принципиально, одна ли плата находится на палете или несколько, машина работает в непрерывном режиме или только включена — необходимый профиль будет отработан.

«Пилотный режим» дает возможность элементарного создания самых сложных рабочих программ.

Внимательное отношение IBL к вопросам пайки отражается на технических особенностях систем. Продуманы мельчайшие детали, начиная с того, чтобы оператор не трогал горячую палету руками при загрузке и выгрузке плат, и заканчивая расположением терморпар относительно плат при пайке.

Транспортная система установок работает в полностью автоматическом режиме, начиная от загрузки палет в машину, до выхода из нее, а также обеспечивает максимально плавное перемещение платы по окружности, исключая малейшую возможность сдвига компонентов.

В вакуумных системах плата не совершает перемещений с расплавленным припоем, она постоянно находится в инертной атмосфере, а дополнительная система охлаждения снижает скорость роста интерметаллидов.

Абсолютно исключен риск перегрева компонентов, даже в случае некачественного Galden или при повышении его температуры со временем.

Системы IBL требуют самого минимального техобслуживания. Обычный визуальный осмотр машины на предмет загрязнений или утечек производитель рекомендует делать каждые 5000 часов (всего раз в 3 месяца при работе в 1 смену), а проводить несложные работы по чистке и проверке усилий затягивания резьбовых соединений всего раз в полгода! Транспортная система не требует техобслуживания в принципе.

И, наконец, установки крайне экономичны. У систем IBL энергопотребление невелико, подключения сжатого воздуха не требуется, а расход теплоносителя минимален.

**Отвечая на вопрос, заданный в названии статьи, вывод напрашивается сам собой: пайка в паровой фазе — это, конечно, друг. Причем друг надежный. Но только в том случае, если его имя — IBL.**

# Спинтроника.

## Куда двигаться дальше?

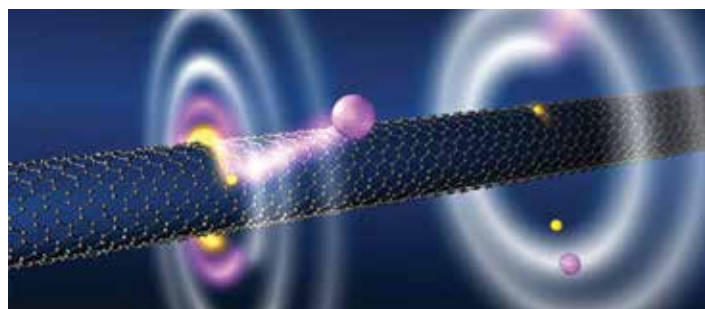


Текст: Евгений Борисов

### Введение. Что такое спинтроника?

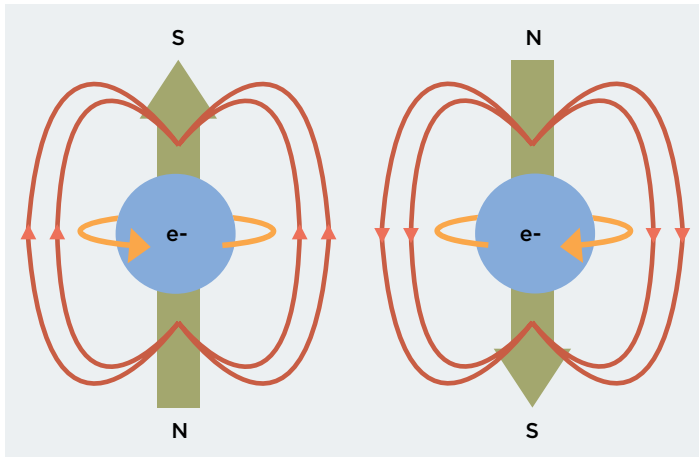
В представлении многих современная электроника основана на использовании эффекта переноса заряда или, проще говоря, на использовании электрического тока. Но искушенный читатель знает, что электроны, создающие ток в электрической цепи, обладают собственным магнитным моментом. До недавнего времени данное свойство в практических целях никак не использовалось, но на рубеже XX-XXI веков появилась новая отрасль науки — магнитоэлектроника или, как теперь принято ее называть, спинтроника (от англ. spintronics — SPIN TRansport electrONICS, то есть «электроника на основе переноса спина»). В ее основу заложено понятие спина электрона. Согласно принципу квантования проекции спина на выбранную ось, электроны разделяют на два типа носителей тока: электроны со спином вверх и электроны со спином вниз ( $\frac{1}{2}$  или  $-\frac{1}{2}$ ) рис 1. По сути, в природе имеется уже готовый переносчик двоичной информации, кодирующий в направлении спина либо 1, либо 0.

В наше время спинтроника изучает магнитные и магнитооптические взаимодействия в металлических и полупроводниковых наногетероструктурах, динамику и когерентные свойства спинов в конденсированных средах, а также квантовые магнитные явления в струк-



турах нанометрового размера. Наряду с ранее известными магнетиками по мере развития спинтроники появляются новые: магнитные полупроводники, вещества, в которых можно контролировать магнитные, полупроводниковые и оптические свойства.

Экспериментальная техника спинтроники включает в себя магнитооптическую спектроскопию с высоким (фемтосекундным) временным разрешением, микромеханическую магнитометрию, атомно- и магнитосиловую сканирующую микроскопию субатомного разрешения, спектроскопию ядерного магнитного резонанса и многое другое. Химические, литографические и молекулярно-кластерные технологии позволяют создавать для спинтроники разнообразные наноструктуры с необходимыми магнитными свойствами.



1 Спин электрона может находиться в одном из двух состояний – либо «спин вверх» (направление спина совпадает с направлением намагниченности магнитного материала), либо «спин вниз» (спин и намагниченность разнонаправлены)

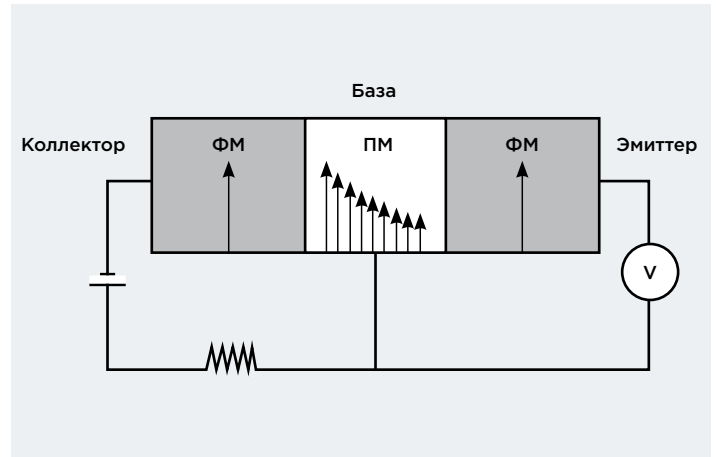
Спинтронная технология обладает многими достоинствами. Одни из важнейших — быстрота и экономичность. Спин электрона можно переключать из одного состояния в другое за много меньшее время, чем требуется на перемещение заряда по схеме, и с меньшими затратами энергии. Плюс к этому, при смене спина не меняется кинетическая энергия носителя, а, следовательно, почти не выделяется тепло.

В совокупности все эти особенности технологии позволяют создавать на базе спина и спиновых токов (поток электронных спинов единой полярности) новые транзисторы, ячейки логики и памяти, которые заменят собой обычные транзисторы в интегральных микросхемах. А это, в свою очередь, позволит придерживаться тенденции к миниатюризации, которая наблюдается на протяжении всей микроэлектронной эпохи. Рассмотрим несколько примеров использования идей спинтроники для изготовления компонентов микроэлектроники.

## Магнитные полупроводники и спиновые нанотранзисторы

Одна из основных задач спинтроники — это интеграция магнитных систем в полупроводниковую микроэлектронику. Легкое управление спинами электронов в полупроводниках уже сегодня позволяет создавать два новых класса гибридных материалов: магнитные полупроводники (гибридная структура ферромагнетик/полупроводник) и спин электронные нанотранзисторы.

Широкие перспективы использования наногетероструктур обусловлены тем, что электронные спины полупроводника можно использовать в качестве детектора, реагирующего на изменения магнитного состояния



2 Схема спинового транзистора Джонсона

в ферромагнетике. Так, при инжекции сквозь контакт ферромагнетика и полупроводника, электроны полупроводника приобретают неравновесный спин, содержащий информацию о спине электронов в ферромагнетике. Для определения спиновой ориентации электронов в полупроводнике можно использовать как оптические, так и электрические методы детектирования.

## Спиновый транзистор Джонсона

Развитие микроэлектроники способствовало быстрому переходу от двухконтактных спин электронных устройств к трехконтактным системам. Эти системы состоят из двух ферромагнитных слоев, разделенных парамагнитной прослойкой, и проявляют эффект гигантского магнитосопротивления. Такое устройство было названо транзистором Джонсона в честь его изобретателя, который подключил третий контакт к парамагнитному слою рис 2.

Если говорить на языке биполярных транзисторов, то транзистор Джонсона состоит из базы (парамагнетик), эмиттера и коллектора (ферромагнетика). Если на коллектор подается потенциал, в цепи эмиттер–база происходит накопление электронов с ориентацией спинов вверх/вниз. Ток коллектора теперь будет зависеть от того, параллелен ли его магнитный момент или антипараллелен намагниченности эмиттера. Ферромагнитный эмиттер в данном случае играет роль поляризатора для накапливающихся спинов. Понятно, что для изменения потенциала в цепи эмиттер–база необходимо приложить внешнее магнитное поле, которое «переключит» вектор магнитного момента либо коллектора, либо эмиттера на противоположное направление.

## Гибридная спинтроника

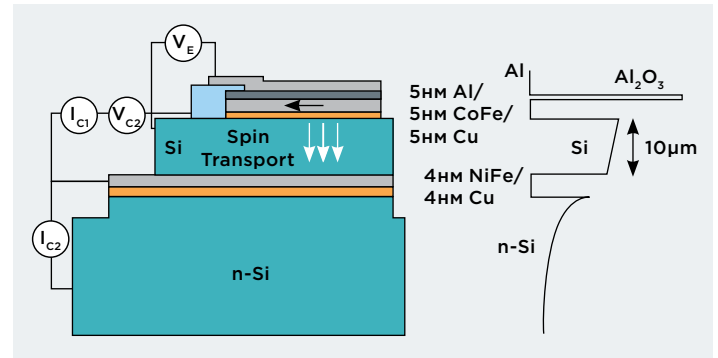
Транзистор Джонсона имеет некоторые ограничения в использовании. Измеряемые значения напряжения очень малы, и увеличить их без привлечения дополнительных устройств не представляется возможным. Основным недостатком подобных структур состоит в том, что все контакты между слоями — омические (так как все компоненты структуры металлические). Другими словами, перед исследователями встал вопрос о создании нового класса структур — гибридных спин электронных устройств. Такие устройства представляют собой интеграцию магнитных материалов с полупроводниками. Ферромагнетики поляризуют спины, а полупроводники позволяют использовать эффекты блокировки напряжения, токовой диффузии и туннелирования.

## Транзистор Монсма

Первым гибридным спин электронным устройством был транзистор Монсма, который представлял собой спин вентиль, заключенный между слоями кремния. Два контакта присоединены к слоям кремния (эмиттер и коллектор), а третий — к спин вентилю (база) **рис 3**.

Спин вентиль в данной структуре может состоять из многократно повторяющихся магнитных и немагнитных металлических слоев. В интерфейсах между кремнием и металлом формируются барьеры Шоттки, которые поглощают напряжения смещения, приложенные между парами контактов. Барьер Шоттки коллектора является обратно смещенным, а эмиттера — с опережающим смещением. Это позволяет инжектировать неполяризованные «горячие» электроны от полупроводникового эмиттера в металлическую базу с энергией выше энергии Ферми. Возникает вопрос: смогут ли горячие электроны пройти сквозь спин вентиль и сохранить достаточно энергии для преодоления барьера Шоттки коллектора (в противном случае они остаются в базе и перемещаются во внешнюю цепь)? Изменяя магнитную конфигурацию базы, можно установить, сколько энергии теряют «горячие» электроны при прохождении через базу. Если магнитные моменты смежных слоев спин вентиля выстроены антиферромагнитно, то оба типа спинов испытывают одинаковое рассеивание на магнитных слоях. Если к спин вентилю приложить внешнее магнитное поле, которое выравнивает все магнитные моменты слоев, то один тип спинов (спины вниз или «минорные») рассеивается сильно, в то время как второй (спины вверх или «мажорные») проходит без рассеивания через всю магнитную структуру. Плотность таких электронов в зависимости от расстояния показана на **рис 4**.

Таким образом, видно, что при ферромагнитном выстраивании магнитных моментов большее число спинов с энергией выше энергии барьера коллектора проходит

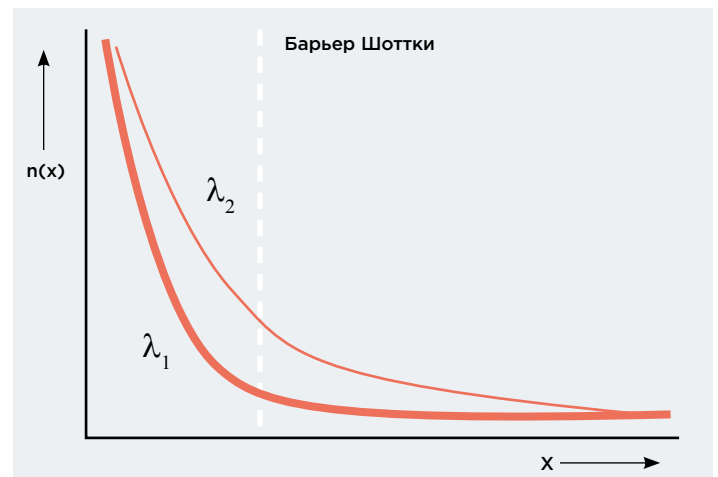


**3** Спин вентильный транзистор

через базу. То есть, как и в случае с транзистором Джонсона, мы имеем дело с транзистором, электрическими характеристиками которого можно управлять, меняя магнитное поле. Но в транзисторе Монсма рабочее напряжение и чувствительность к магнитному полю гораздо выше, что сильно расширяет его практическое использование. Транзистор Монсма стал важным шагом в эволюции спинтронике. Это первая комбинация спин электронных устройств с полупроводниками. Следует заметить, что полупроводники используются только для создания энергетических барьеров и экранирования спин зависимой части устройства от электрических полей. Для раскрытия всего потенциала гибридных устройств необходимо задействовать и полупроводниковые слои в процессе спин зависимого транспорта.

## SPICE-транзистор

Новый шаг в спинтронике — создание SPICE-транзистора (spin-polarized-injection current emitter transistor), т.е. транзистора с инжектированием спин



**4** Плотность состояний для «мажорных» спинов «горячих» электронов, энергия которых выше, чем энергия барьера Шоттки, как функция местоположения в базе. Толстая линия соответствует антиферромагнитному состоянию спин вентиля, а тонкая — ферромагнитному

поляризованного тока эмиттера в электрически экранированную область устройства рис 5.

В итоге получено устройство с предварительным усилением мощности. Электрическими характеристиками SPICE-транзистора можно управлять, меняя внешнее магнитное поле. Дизайн SPICE-транзистора может быть разным. К примеру, межфазные границы эмиттера и коллектора могут быть реализованы p-n-переходами, барьерами Шоттки либо спин туннельными переходами.

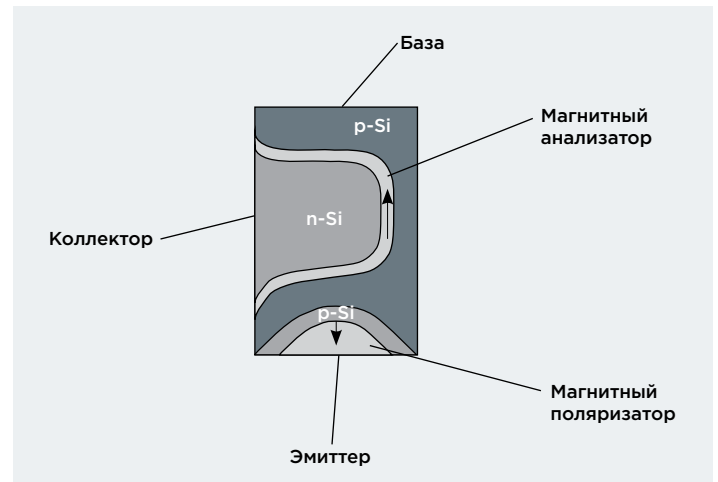
### Спин полевой транзистор Датта-Даса (spin-field-effect transistor — SFET)

В 1990 году Суприйо Датта (Supriyo Datta) и Бисуоджит Дас (Biswajit Das) рассмотрели возможность создания спинового полевого транзистора, основанного на релятивистском эффекте. Устройство имеет конструкцию, подобную обычному полевому транзистору с контактами истока и стока (ферромагнетики) и затвором (полупроводник). Спин поляризованные носители покидают исток со спинами, параллельными намагниченности ферромагнетика, и прецессируют при движении благодаря эффекту Рашба рис 6.

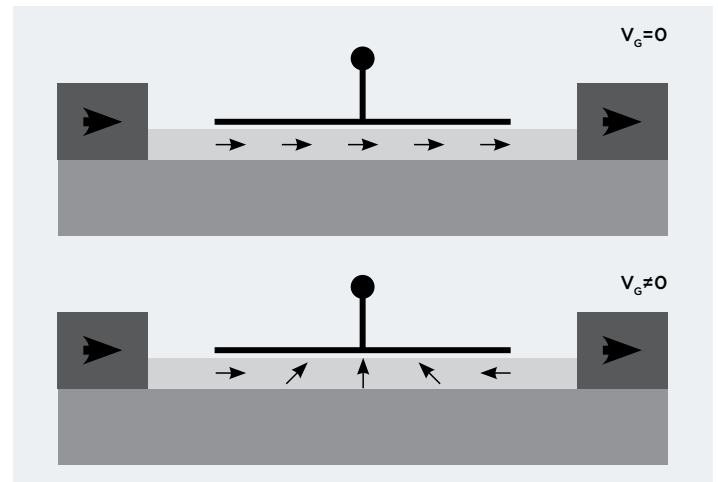
При этом электроны должны двигаться со скоростью, составляющей 1% от скорости света в вакууме. При достаточной величине напряженности магнитного поля (скорость движения электронов в данном случае весьма существенна) спины электронов изменяют ориентацию на противоположную. В результате сопротивление канала возрастает и ток уменьшается. При варьировании потенциала на затворе можно изменять проводимость устройства. Данное устройство ведет себя как обычный полевой транзистор с той особенностью, что дифференциальная намагниченность его контактов (и, следовательно, его электрических характеристик) чувствительна к внешнему магнитному полю.

### Перспективы развития

Потенциал спинтроники не исчерпывается уже разработанными и освоенными технологиями, описанными выше. Несмотря на то, что работы в этом направлении ведутся уже более двух десятков лет, существует очень много нерешенных научных и технических проблем. Например, сейчас для изменения намагниченности участка ферромагнетика используется магнитное поле. Так как мы умеем создавать магнитное поле только при помощи электрического тока (постоянные магниты не в счет), то встает проблема локализации этого магнитного поля в ограниченном участке пространства. Чем меньше этот участок, тем более высокую плотность хранения информации на магнитном носителе можно получить (конечно, остаются еще вопросы подбора со-



5  
SPICE-транзистор



6  
Принцип действия спин полевых транзисторов SFET

ответствующих магнитных материалов). Сравнительно недавно сотрудниками Лабораторий физики твердого тела (Цюрих) и Стэнфордского университета был поставлен эксперимент, который показывает возможность изменения намагниченности материала при помощи потока электронов с определенным спином (про такие электроны говорят, что они спин поляризованы). При помощи фотоэмиссии из полупроводникового катода, вызванной поляризованным светом, был получен пучок спин поляризованных электронов. Этот пучок был пропущен через магнитную пленку толщиной несколько нанометров. При пролете электронов через пленку спин электронов изменяется (это явление называется прецессией). Так как ничто в природе не проходит бесследно, то и спины электронов в магнитной пленке также изменяются, что и означает изменение намагниченности вещества. Если число пролетевших электронов сравнимо с количеством атомов вещества, то изменение намагниченности пленки будет весьма заметно. Эффект может быть использован как для записи информации, так и для считывания (при меньшей интенсивности пуч-

ка электронов). Потенциально данная технология может обеспечивать скорости перемагничивания (то есть фактически чтения-записи информации) до десятков гигагерц, но до этого исследователям придется пройти еще очень длинный путь.

Другой интересный эффект состоит в получении чисто спинового потока электронов без переноса заряда. В эксперименте были сформированы два встречных потока электронов с противоположно направленным спином. Этот удивительный эффект достигнут при помощи двух импульсных поляризованных лазеров, частота одного из которых вдвое меньше, чем другого. Таким образом, достигнута передача спинового заряда без наличия разности потенциалов. Пока это явление наблюдается на расстояниях порядка нескольких десятков нанометров, но дальнейшие исследования в этом направлении продолжаются.

Одна из проблем спинтроники связана с используемыми материалами. Дело в том, что для спинтроники необходимы ферромагнетики, магнитные свойства которых и вызывают к жизни разнообразные эффекты с участием спинов электронов. Но ферромагнетики являются металлами, а современная электроника основана на полупроводниках. Именно свойства полупроводников позволяют усиливать электрический ток в транзисторах — в металлах такой эффект невозможен. Поэтому для того, чтобы создать эффективное устройство, которое использует и спин, и заряд электрона, необходим ферромагнетик, являющийся полупроводником. На первый взгляд, задача неразрешимая — что-то вроде соленого сахара или сухой воды. Но нет преград для пытливых умов ученых.

В Северо-Западной тихоокеанской национальной лаборатории (США) был создан новый полупроводник, который не теряет своих магнитных свойств даже при комнатной температуре. Это вещество представляет собой оксид титана с примесью кобальта и выращивается в виде нанометровых пленок методом молекулярной эпитаксии. В глубоком вакууме пучки атомов в нужном соотношении направляются на кристаллическую поверхность, где формируют необходимую кристаллическую структуру. К сожалению, данный метод пригоден

только для создания тонких пленок. Зато по своим свойствам он является весьма заманчивым материалом для создания новых спинтронных устройств. Другой подобный материал — это эпитаксиальная пленка из чередующихся прослоек соединений галлия: GaSb, GaMn. Магнитные свойства данного полупроводника сохраняются вплоть до 130°C, этого достаточно для нужд современной техники.

Еще одним перспективным направлением является использование органических соединений. И в этом направлении есть интересные открытия. В Калифорнийском университете (Риверсайд) синтезировали соединение, которое изменяет свои оптические, электрические и магнитные свойства одновременно, в зависимости от температуры. При температуре около 62°C вещество из прозрачного (в инфракрасном спектре) изолятора-парамагнетика превращается в непрозрачный проводник-диамагнетик. Такие уникальные свойства делают его привлекательным не только для спинтроники, но и для других перспективных направлений, например, фотоники. Правда, рабочая температура перехода несколько высока для использования, но ученые надеются уменьшить ее вариацией состава вещества.

В университете штата Огайо был исследован пластик — тетрацианоэтанид ванадия. Несмотря на свою органическую природу, он имеет и магнитные свойства, сохраняющиеся вплоть до 130°C. Кроме того, пластик гораздо технологичнее, чем другие материалы, что позволит в будущем создавать дешевую пластиковую память.

В перспективе спинтроника позволит осуществлять обработку и хранение информации в рамках одних и тех же устройств, что приведет как к росту быстродействия, так и к снижению энергопотребления. Создание быстродействующей энергонезависимой памяти MRAM поможет создавать компактные устройства, сочетающие большое время автономной работы с высокой производительностью. Интеграция достижений электроники и спинтроники может значительно продлить жизнь закону Мура и раскрыть новые горизонты в развитии современных компьютеров.

**В современном мире производства изделий микроэлектроники стабильного и устойчивого положения на рынке может добиться лишь тот, кто не заикливается на решении сиюминутных проблем, а смотрит на перспективы развития отрасли на несколько лет вперед. Чтобы определить, куда же должен быть направлен вектор развития предприятия, очень важно обладать актуальной информацией о современных тенденциях в производстве, ведь будущее создается сегодня.**

**А вы планируете свое будущее? **

## КАЧЕСТВО

# Проблемы качества.

## Точка зрения Остека

Текст: Леонид Чанов

**П**ри взгляде на любую проблему всегда хочется найти общий критерий оценки, позволяющий сравнивать разные точки зрения, отбросив мелкие частные расхождения. Для оценки качественных возможностей производств изделий электронной техники можно использовать соотношение стоимостей собственно технологического сборочного оборудования и оборудования контрольного и тестового.

По меркам сегодняшнего дня, его стоимость не должна уступать стоимости технологического оборудования. На высокотехнологичном производстве это соотношение может достигать даже значения 30/70. В настоящее время контроль качества и тестирование оборудования перестали быть дополнительными операциями, превратившись в полномочных участников производственного процесса. Об этой стороне производства рассказал Андрей Насонов, технический директор ЗАО «Остек-Электро».



### С чего начинается контроль качества — с входного контроля?

Сначала остановимся на общих моментах, касающихся тестирования. Коснемся и входного контроля — сегодня это одна из болевых точек. Во всяком случае, на наших семинарах словосочетания «контрафактная продукция», и «входной контроль» вызывают самую бурную реакцию.

В наши дни уже очевидно, что качество выпускаемой продукции зависит не только от технологического оборудования, но и от средств контроля и тестирования. Более того, по опыту общения с нашими



зарубежными партнерами могу сказать, что в условиях современного производства для выпуска качественной продукции необходимо, чтобы стоимость технических средств для контроля качества была не меньше, а в некоторых случаях и больше стоимости технологического оборудования! Увы, в российских условиях в подавляющем большинстве случаев это соотношение не соблюдается.

**Если стоимость оборудования тестирования и контроля должна не уступать или даже превосходить стоимость технологического оборудования, смогут ли российские контрактные производители позволить себе приобрести такое оборудование? Не удорожит ли это процесс производства?**

Вы затронули серьезный вопрос о контрактных сборщиках. В настоящее время прослеживается тенденция, когда заказчики, в т.ч. российские уходят к иностранным контрактным производителям. Когда мы стали выяснять причину этого явления, оказалось, что термин «контрактная сборка» у нас и зарубежом понимается по-разному.

У отечественных контрактных производителей, как правило, отсутствует полный спектр тестового оборудования, применение которого гарантирует качество изделия. Да, у некоторых из них имеются установки рентгеновского контроля, но практически ни у кого нет средств автоматического электрического тестирования. Другими словами, российский контрактный производитель, отправляя заказчику, например, печатную плату в сборе, не гарантирует ее работоспособности! Таким образом, тестирование заказанного изделия перекладывается на плечи заказчика.

У зарубежных контрактных сборщиков ситуация иная — они гарантируют качество поставляемой продукции. Те же китайские производители, на которых мы любим кивать при всяком удобном и неудобном случае, поставляют полностью проверенные изделия и гарантируют его работоспособность. У зарубежных сборщиков каждый этап, каждое звено производственно-экономического процесса имеет на выходе, после завершения какой-либо технологической операции, показатель качества.

**Сегодня при поставке компонентов важным конкурентным преимуществом является не столько их стоимость и сроки поставки, сколько возможности имеющегося у поставщика тестового оборудования и уверенность заказчика в качестве поставляемой продукции**



**Каким образом в договоре, в техническом задании отражаются требования к качеству изделия?**

В техническом задании подробно описаны требования к качеству продукции и его критерии оценки. Разумеется, если речь идет о функциональном тестировании, то программу испытания предоставляет заказчик. При заключении договора между заказчиком и производителем оговаривается уровень качества и используемые технологии тестирования.

Производитель предлагает заказчику огромный спектр услуг, в т.ч. метрологическую экспертизу, аттестацию готового изделия или какого-либо его узла. Конечно, все эти услуги закладываются в цену изделия.

### **Зачастую испытания изделия — процесс непростой и дорогостоящий. Существуют ли компании, специализирующиеся на тестировании и испытании?**

В России таких компаний, к сожалению, нет, а за рубежом они есть. Это так называемые тест-хаусы (от англ. Test House). И они очень востребованы. Дело в том, что некоторые виды испытательного оборудования весьма дорогостоящи, и потому иметь такое оборудование сборщику часто невыгодно. В то же время в тест-хаусе оно простаивать не будет и сможет окупиться.

Кроме того, некоторые контрактные сборщики не имеют всего необходимого тестового оборудования и потому проводят испытания в тест-хаусе. Но подчеркнем, что в этом случае за качество изделия перед заказчиком отвечает по-прежнему контрактный сборщик.

Тест-хаусы занимают довольно-таки большой сегмент рынка в денежном исчислении, и они обязательно появятся в России. Они не могут не появиться — таковы требования рынка. И инвестиции в этот сегмент сейчас были бы вполне уместны. Речь идет не только о тест-хаусах, но и обо всех компаниях, которые обеспечивают производство качественной продукции. И вот тут мы возвращаемся к началу нашей беседы, к входному контролю.

### **Вы хотите сказать, что есть компании, специализирующиеся на входном контроле?**

Не совсем так. За последнюю пару лет зарубежом сократилось число дистрибьюторов, занимающихся только поставкой компонентов. На их место пришли компании, проводящие перед поставками специальное тестирование компонентов. Только такие компоненты и отправляются заказчику. Сегодня при поставке компонентов важным конкурентным преимуществом является не столько их стоимость и сроки поставки, сколько возможности имеющегося у поставщика тестового оборудования и уверенность заказчика в качестве поставляемой продукции.

При работе с такими компаниями в договоре помимо обычных требований — сроков, стоимости, количества — оговариваются уровни тестирования компонентов, требования по долговременности поставок и юридическая ответственность поставщика. Разумеется, при этом стоимость комплектующих увеличивается.

### **Другими словами, на плечи дистрибьюторов перекладывается борьба с контрафактной продукцией?**

В настоящее время проблема контрафактной продукции столь остра, что дистрибьюторы понимают необходимость предоставления новых сервисов, связанных с тестированием компонентов. В конце концов, это требования рынка. Реальность такова, что даже среди компонентов, поставляемых официальным дистрибьютором, доля контрафактной продукции достигает 7%. У независимых поставщиков эта цифра еще выше: 20–30% (данные NASA). И тут бесполезно жаловаться — требуется найти технические меры борьбы с контрафактной продукцией. Только законодательными мерами эту проблему не решить.

Российским поставщикам рано или поздно придется перенимать такой подход. Для нашего рынка характерны малые объемы поставки электронных компонентов. Но ни один крупный производитель не занимается мелкосерийными поставками. Поэтому дистрибьюторы вынуждены брать продукцию с промежуточных складов, где велик риск приобретения контрафакта.

Сегодня все понимают, что традиционные методы входного контроля, прописанные в т.ч. в стандартах ISO, устарели. Верить только документации уже нельзя. Нельзя и просто проверить параметры компонентов на соответствие заявленным в документации. Современные контрафактные компоненты, как правило, удовлетворяют этим требованиям. От оригинальных компонентов они могут отличаться в худшую сторону на пределах рабочих диапазонов, а также при долговременной эксплуатации: например, если оригинальный компонент сохраняет рабочие параметры в течение всего срока службы, то у контрафакта эти параметры могут «уплыть» за несколько лет до окончания этого времени. Требуются технологические методы контроля, основанные на электрическом тестировании. Технические средства, реализующие эти методы, уже производятся. Есть они и в России.

### **Расскажите чуть подробнее об этих технологиях.**

Это сложные методы контроля, которые невозможно описать в двух словах. Скажу лишь, что в них обыгрываются технологические тонкости изготовления компонента. По незначительному разбросу параметров, которые могут даже и не документироваться производителем, можно установить принадлежность компонен-

**В настоящее время проблема контрафактной продукции столь остра, что дистрибьюторы понимают необходимость предоставления новых сервисов, связанных с тестированием компонентов. Даже среди компонентов, поставляемых официальным дистрибьютором, доля контрафактной продукции достигает 7%. У независимых поставщиков эта цифра еще выше: 20–30%**

тов. Мы проверяли и убедились, что с помощью этих методов можно различить одинаковые компоненты, полученные от разных производителей. Причем, эти методы применимы ко всем компонентам, начиная с простейшего резистора и заканчивая сложным процессором.

Казалось бы, зачем применять столь сложные и дорогостоящие методы для контроля тех же резисторов? Но! Даже если их номинал, маркировка и т.д. соответствуют всем требованиям, резистор может оказаться подделкой и не выдержать, допустим, процедуры оплавления в печи. Выходит, проверять надо после монтажа.

Изделия электронной техники усложнились. Усложнились и производственные технологии. Соответствен-

но, претерпели изменения и методы входного контроля. Повторюсь, традиционные методы уже не работают, т.к. изменилось само представление о входном контроле. Можно утверждать лишь одно: на любом производстве все компоненты и материалы, входящие в изделия, на том или ином этапе технологического процесса должны быть протестированы.

### **Допустим, все меры предосторожности соблюдены. Можно ли в этом случае рассчитывать на бездефектное производство?**

Нет, нельзя. Электронные изделия функционально все более усложняются. Производятся многослойные печатные платы с множеством проводников. В то же время ни один проводник, ни одно паяное соединение не гарантирует абсолютной надежности. Их надежность очень высока, но все же не равна 100%. Когда в изделии таких проводников и соединений многие десятки тысяч, нет ничего удивительного в том, что среди готовых изделий окажутся бракованные. Законы теории вероятности еще никому не удалось обмануть. Это обстоятельство тоже заставляет производителей увеличивать затраты на оборудование для тестов и ремонта.

Однако одним только увеличением сложности тестового оборудования не обойтись. Бездефектность производства должна закладываться еще на этапе проектирования. Я говорю о тестопригодном проектировании, которое выполняется с учетом производственных технологий. И вновь я вынужден сравнивать российские реалии с зарубежными.

В России техническое задание (ТЗ) на изделие содержит в общем виде следующие разделы: название, технические требования к изделию, условия эксплуатации. В зарубежных компаниях помимо этих основных разделов задаются также серийность изделия; перечисляется технологическое оборудование, которое должно быть задействовано при изготовлении; методы тестирования на разных этапах и т.д.

Такой подход устраняет многие проблемы из тех, что возникают при передаче документации в производство и исключает никому не нужный героизм на этом этапе. Порой, слышишь такую точку зрения: мы разработали замечательное изделие — на столе оно работает; производите, как хотите. Таким образом, освоение изделия в производстве затягивается, качество изделия снижается, в результате чего продукция появляется на рынке с опозданием и не самого лучшего качества. Найдет ли серьезный спрос подобное «гениальное» изделие на рынке? Думаю, нет.

### **До сих пор мы говорили о качестве вновь произведенных изделий. Но достаточно ли всех перечисленных мер, чтобы быть уверенным в том, что и к концу срока службы это качество сохранится?**

Нет, недостаточно. Все перечисленные выше меры, в т.ч. функциональный контроль не могут гарантировать работоспособности изделия в дальнейшем. Для этого необходимо использовать т.н. внутрисхемное тестирование. Зарубежом этот метод тестирования уже записан во все стандарты. Это прогностический метод, способный предсказать появление дефектов.

Следует еще учесть то обстоятельство, что очень трудно, если вообще возможно, проверить сложное изделие только с помощью функционального контроля. Для этого необходимо воспроизвести все возможные сочетания условий работы, которые подчас попросту учесть нельзя. В результате изделие может выйти из производства с дефектом. Причем, этот дефект проявиться может не сразу, а спустя какое-то время после начала эксплуатации. Да и проявляться он может не всегда, а лишь при сочетании определенных условий. Это т.н. «плавающий отказ», который попортит немало крови при его поиске. Опытные инженеры знают, о чем идет речь. И в этом случае внутрисхемное тестирование поможет избежать подобных неприятностей.

### **Значит ли это, что прежние ускоренные методы испытания на надежность устарели?**

Внутрисхемное тестирование постепенно вытесняет эти методы. То же термоциклирование или испытания при повышенном напряжении и другие методы, использующие экстремальные условия, имеют ряд недостатков. Во-первых, они, мягко говоря, не улучшают надежности изделия. Во-вторых, на основе этих испытаний делаются довольно умозрительные выводы — дескать, раз изделие не сгорело при повышенном напряжении, то при нормальном напряжении оно будет надежно работать. Довольно-таки спорные выводы, согласитесь. В то же время внутрисхемное тестирование дает существенно более достоверный прогноз. Дело в том, что внутрисхемное тестирование — это полная структурная проверка изделия на соответствие конструкторской документации. К тому же технические средства для внутрисхемного тестирования стоят значительно меньше комплекта климатических камер, камер влажности и т.д.

Конечно, речь идет только об электронной части изделия. Никакое внутрисхемное тестирование не заменит испытания прочности механических соединений.


### **Где и как обучиться работе со сложным и дорогим оборудованием для контроля качества?**

За рубежом есть специальность — тестовый инженер. В наших ВУЗах, к сожалению таковая отсутствует. Мы сами обучаем персонал предприятия работать на поставляемом нами оборудовании. Это длительный процесс, но без него не обойтись. Иначе просто нет смысла приобретать это оборудование. Сегодня уже многие российские компании понимают необходимость приобретения подобного оборудования. Таковы требования рынка.

### **Мы много говорили о качестве, о бездефектном производстве. А что такое дефект, отказ? Можно ли дать точное определение?**

Стандартного понятия «дефект» не существует. Конечно, есть простейшие случаи — кнопку нажал, а ничего не работает — тут все ясно. Можно использовать известную формулировку: «отказом считается несоответствие изделия заявленным параметрам». Это очень удобная формулировка из числа тех, что подходят для любых случаев. А как быть, если срок службы 25 лет, а на 24 году параметры изделия вышли за пределы нормы? Строго говоря, это событие тоже должно считаться отказом, хотя изделие продолжает оставаться работоспособным.

Известны случаи, когда ведущие мировые автопроизводители десятками тысяч отзывают свои автомобили для изменения конструкции, т.к. дефекты проявляются и после нескольких лет эксплуатации. Как правило, если речь идет о дефектах электроники, в таких случаях автопроизводители становятся жертвами компаний-поставщиков того или иного блока или компонента. Причем, контроль качества и применение методов тестирования в этих компаниях далеки от идеала. Известны громкие скандалы из-за отказа серии компьютеров, вызванного бракованными конденсаторами.

Я привел эти примеры, чтобышний раз подчеркнуть необходимость внедрения современных методов испытания и тестирования, в т.ч. методов внутрисхемного контроля. Лишь использование всех этих методов позволит быть уверенным в качестве продукции. 



НАПРАВЛЕНИЕ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО  
КОНТРОЛЯ



через



лет

## **Затраты на поиск и локализацию технологических дефектов вырастут на порядок**

С ростом сложности радиоэлектронной продукции растет и цена каждой ошибки в ее производстве. Компенсировать эту цену можно только снижением вероятности технологических ошибок и дефектов. Мы предлагаем решения в сфере электрического контроля для различных отраслей, включая производство электронных компонен-

## **Решения по их снижению мы предлагаем уже сегодня**

тов, электронной техники, а также электротехнической, авиационной и автомобильной промышленности и других смежных областей. Каждое из них базируется на глубоком анализе производства и изделия заказчика в разрезе не только текущих задач, но и перспектив развития.

УЗНАЙТЕ БОЛЬШЕ



Тел.: (495) 788-44-44  
info@ostec-group.ru



будущее  
создается

[www.ostec-group.ru](http://www.ostec-group.ru)

# ОПТИМИЗАЦИЯ

## Определение нижней границы рабочих температур СИЛИКОНОВЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ для производства изделий электроники



Текст: Роман Кондратюк



Силиконы известны своей эластичностью, влагостойкостью и высокими диэлектрическими характеристиками в широком диапазоне температур и, как правило, используются для защиты электронных устройств от негативного воздействия внешней среды. Данные по возможности применения кремнийорганических эластомеров при низких температурах могут отличаться как для различных материалов одного производителя, так и для однотипных среди нескольких поставщиков. Поэтому необходимо понимать, какие физические изменения происходят в силиконовых материалах при охлаждении, и уметь оценивать их поведение в каждой конкретной задаче. В данной статье рассмотрены закономерности изменения основных физических характеристик силиконовых эластомеров в области низких температур, а также влияние скорости изменения температуры на результаты измерений. Даны рекомендации по построению процесса испытаний силиконовых материалов в производстве изделий электроники.

Полимерные материалы находят широкое применение в процессах сборки и герметизации изделий электроники. Силиконы (полисилоксаны), как представители неорганических полимеров, занимают относительно небольшую часть, но особые химические, оптические и механические свойства позволяют им прочно удерживать позиции в решении ряда задач. Они активно применяются в качестве инкапсулянтов, изоляторов и клеев при изготовлении светодиодов, интегральных микросхем, силовых электронных блоков и модулей<sup>1</sup>. Эластичность в широком диапазоне температур позволяет использовать силиконовые эластомеры для создания изделий с рабочими температурами от -80°C до +280°C<sup>2,3</sup>.

Нижняя граница рабочих температур силиконового эластомера определяется как температура, до которой можно охладить материал с сохранением набора физических характеристик, требуемых для данной задачи.

**Т 1**  
Пример силиконовых материалов с рабочими температурами от -80°C до +200°C

Материал	Число компонентов	Вязкость, сПуаз	Цвет	Условия отверждения	Особенности
Dow Corning 3-4155 HV диэлектрический гель	2	1,925	Прозрачный зелёный	60 мин @ 25°C	УФ индикатор
Dow Corning 3-6635 диэлектрический гель	1	700	Прозрачный	120 мин @ 100°C	Низкая вязкость
Dow Corning Q3-6575 диэлектрический гель	2	750	Прозрачный	24 часа @ 25°C 40 мин @ 70°C 20 мин @ 100°C	Низкая вязкость
Dow Corning SE1885 диэлектрический гель	2	500	Прозрачный	30 мин @ 150°C	Низкая вязкость

## Фазовые переходы в силиконовых эластомерах

Силиконовые эластомеры являются кристаллизующимися полимерами. Это означает, что в процессе нагрева/охлаждения для них характерны фазовые переходы (стеклование, кристаллизация, плавление), при которых изменяются физические свойства материала<sup>4</sup>. Для определения функциональности силиконовых эластомеров обычно рассматривают следующие значения переходных температур:

### ТЕМПЕРАТУРА СТЕКЛОВАНИЯ (T<sub>c</sub>).

Температура, при которой полимер становится твёрдым, хрупким и похожим на стекло, называется температурой стеклования (T<sub>c</sub>). Для силиконовых эластомеров T<sub>c</sub> существенно ниже комнатной температуры и именно она

Для автомобильной и промышленной электроники материалы должны сохранять свои свойства до -40°C, а в некоторых случаях до -50°C. Для авиационной и космической техники могут потребоваться материалы с ещё более низкими рабочими температурами **Т 1**.

При выборе силиконовых материалов для электронных изделий, работающих в жёстких климатических условиях, учитываются не только рабочие температуры (устойчивость к воздействию высоких или низких температур) самих материалов, но и их влияние на характеристики конечного изделия вследствие возникающих термомеханических напряжений. Поэтому, подбирая силиконовый компаунд, гель, покрытие или клей для определённой задачи, необходимо иметь представление о таких параметрах материала как температура плавления, стеклования, замерзания и уметь оценивать изменение механических свойств при его охлаждении/нагревании.

может определять нижний предел рабочих температур. Ниже температуры стеклования материалы перестают быть эластичными. Выше — могут демонстрировать эластичность, но не в полной мере. Температура стеклования для полидиметилсилоксанов (PDMS), используемых для производства изделий электроники, составляет от -115°C до -120°C<sup>5</sup>.

### ТЕМПЕРАТУРА ЗАМЕРЗАНИЯ (T<sub>з</sub>).

При охлаждении от комнатной температуры силиконовый материал может перейти из мягкого эластомера в твёрдую резину. Температура перехода, как правило, не одно фиксированное значение, а некоторый диапазон, который зависит от «тепловой истории» материала

1 Andriot, M, et. al., «Silicones in Industrial Applications», 2009

2 Dow Corning Electronics solutions, «Brand silicone dielectric gels», Product information, 2000

3 Dow Corning Electronics solutions, «Brand adhesive/sealants», Product information, 2000-2006

4 TA no. 18, «Thermal analysis of silicone rubber», Hitachi High-Tech Science Corporation, mar. 1985

5 Dow Corning Electronics solutions, «Low-Temperature Performance of Silicone Elastomers», Application bulletin, 2003

(времени выдержки при различных температурах) и от скорости его охлаждения. Точка замерзания эластомера обычно имеет важнейшее значение в определении нижней рабочей температуры, поскольку уже при незначительном изменении температуры в этой области механические свойства материала могут приближаться к свойствам твёрдой резины. Как уже говорилось, значение  $T_z$  в сильной степени зависит от скорости охлаждения. Быстрое охлаждение ( $\sim 10^\circ\text{C}/\text{мин.}$ ) даёт значение  $T_z$  от  $-70^\circ\text{C}$  до  $-80^\circ\text{C}$ . Медленное охлаждение ( $\sim 1^\circ\text{C}/\text{мин.}$ ) может дать значения от  $-60^\circ\text{C}$  до  $-65^\circ\text{C}$  для того же материала.

#### ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ ( $T_{пл}$ ).

При нагревании эластомерного материала от температуры стеклования в определённый момент он из твёрдой резины переходит в мягкий эластомер. Также как и в случае с температурой замерзания, температура плавления — это не одно значение, а диапазон температур, зависящий от "тепловой истории" материала и скорости его нагрева. Значения  $T_{пл}$  и  $T_z$  могут существенно различаться (как будет показано далее в этой статье). Для практического выбора и применения силиконовых эластомеров, как правило, большее значение имеет температура  $T_z$ , поскольку в реальных условиях эксплуатации важнее учитывать охлаждение от комнатной температуры, нежели нагрев от температуры стеклования (от  $-120^\circ\text{C}$ ). В большинстве случаев производители при указании рабочих температур всё же используют значение температур плавления, чтобы гарантировать работоспособность материалов при любых скоростях нагрева/охлаждения в реальных условиях эксплуатации.

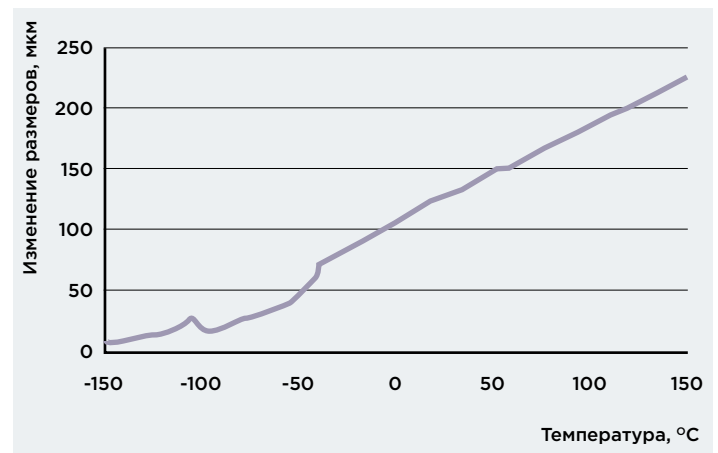
### Изменение физических характеристик силиконов в области низких температур

Как известно, в процессе охлаждения материалы претерпевают физические изменения. В случае с силиконовыми эластомерами некоторые из этих изменений могут быть критичными для ряда задач, некоторые нет. При рассмотрении нового компаунда, покрытия, клея или геля необходимо иметь представление об общих закономерностях изменения физических свойств с изменением температуры. Это поможет провести испытания, приближенные к реальным условиям эксплуатации изделий, и получить корректное заключение о возможности использования материала для определённой задачи. Наиболее важными физическими параметрами силиконовых эластомеров, которые необходимо учитывать при эксплуатации в условиях пониженных температур, являются температурное расширение/сжатие, прочностные характеристики и твёрдость материала.

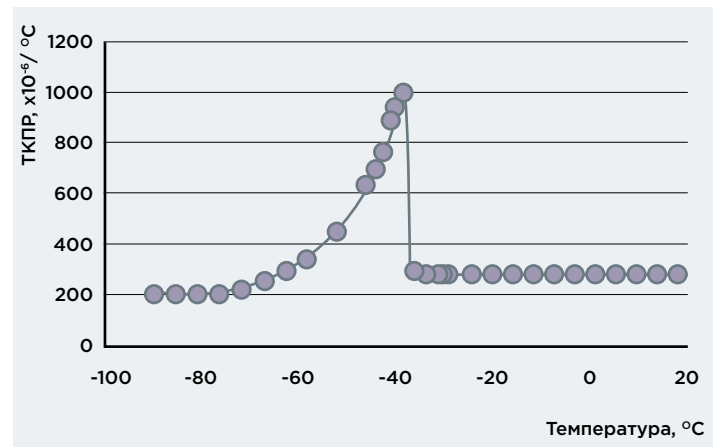
#### ТЕМПЕРАТУРНОЕ РАСШИРЕНИЕ/СЖАТИЕ

Для большинства силиконовых эластомеров температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) составляет  $\sim 300 \text{ мкм}/\text{м}^\circ\text{C}$ . Это значение практически неизменно в широком диапазоне температур (от температуры замерзания до  $+200^\circ\text{C}$ ). При охлаждении силиконы сжимаются равномерно до температуры замерзания ( $T_z$ ) в соответствии со своим ТКЛР. После того как достигнута точка  $T_z$ , ТКЛР увеличивается, но затем снова возвращается к стандартным значениям рис 1. В целом, величина ТКЛР может существенно изменяться (в 2-4 раза) для силиконовых эластомеров при прохождении точек замерзания ( $T_z$ ) и плавления ( $T_{пл}$ ). Отметим, что температура, при которой происходит изменение ТКЛР, будет зависеть от того, нагревается эластомер от температуры стеклования или охлаждается от комнатной температуры, но значение этого коэффициента в точках  $T_z$  и  $T_{пл}$  будет приблизительно одинаковым для одного и того же материала рис 2, 3.

Температурное расширение/сжатие является важным параметром, определяющим возможность использования того или иного силиконового материала для задач элек-



1 Изменение размеров образца типичного силиконового эластомера при охлаждении (ТКЛР =  $270 \text{ мкм}/\text{м}^\circ\text{C}$ ,  $T_z = -38^\circ\text{C}$ , длина образца  $3,18 \text{ мм}$ )<sup>5</sup>



2 Изменение ТКЛР типичного силиконового эластомера при нагреве (от  $-100^\circ\text{C}$  до  $+150^\circ\text{C}$  со скоростью  $5^\circ\text{C}/\text{мин}$ )<sup>5</sup>

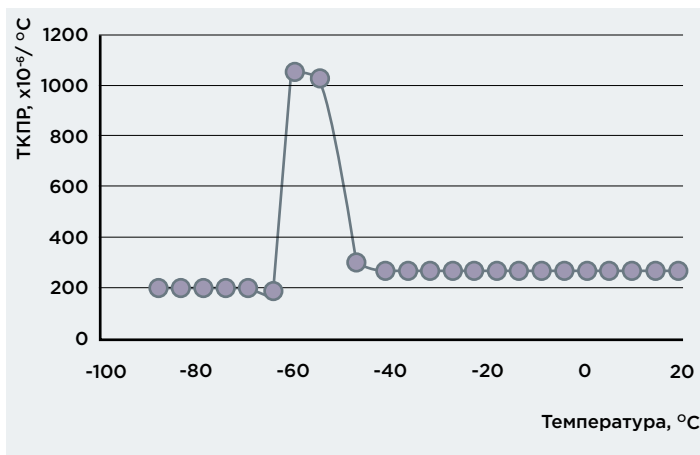


троники. Сжатие эластомера может вызывать существенные механические напряжения и, как следствие, приводить к повреждению чувствительных компонентов. Примером такого рода дефектов может служить обрыв проволочных соединений в светодиодах при термоциклировании, когда в заливочном компаунде одновременно сочетаются высокий модуль упругости и высокий ТКЛР. Также при заливке электронных блоков и последующем охлаждении, сжатие силиконового эластомера может приводить к нарушению целостности эластомера или уходу материала из защищаемых областей. В оставшееся воздушное пространство может попадать влага, которая может приводить к возникновению дефектов при дальнейшей эксплуатации (коррозия, снижение пробивного напряжения и проч.).

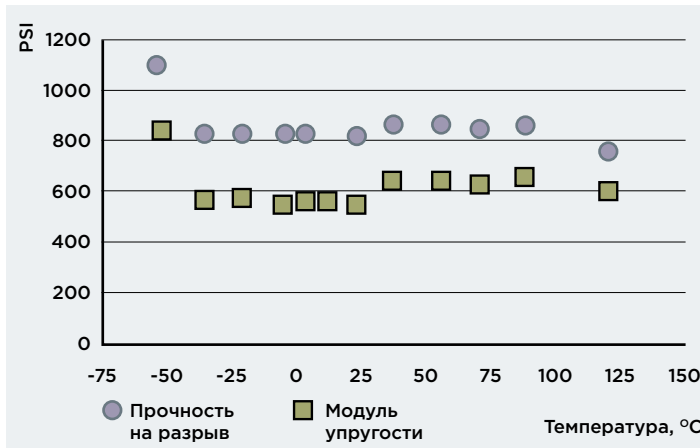
Таким образом, температурное расширение/сжатие играет важную роль в определении рабочих температур силиконовых эластомеров для задач производства изделий электроники.

**ПРОЧНОСТЬ, ЭЛАСТИЧНОСТЬ И МОДУЛЬ УПРУГОСТИ**

В процессе охлаждения модуль упругости и прочность силиконовых материалов изменяется незначительно



3 Изменение ТКЛР типичного силиконового эластомера при охлаждении (от -30°C со скоростью 1°C в 3 дня)<sup>5</sup>



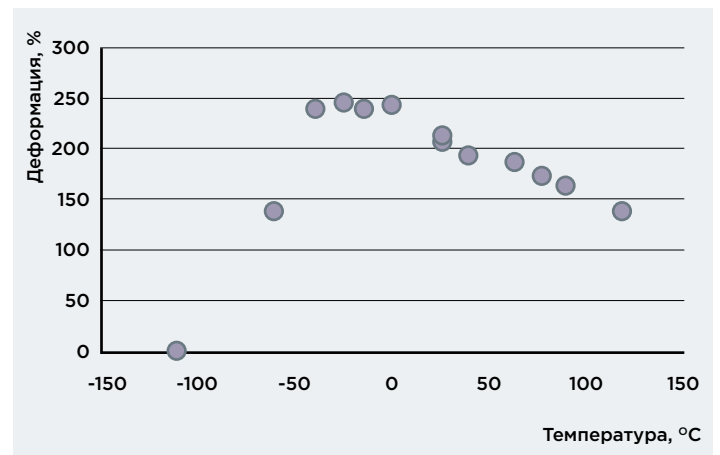
4 Изменение прочности на разрыв и модуля упругости типичного силиконового эластомера при изменении температуры<sup>5</sup>

до температуры замерзания (Тз). При достижении температуры Тз оба параметра увеличиваются в среднем на 40% рис 4. Совместно с высоким ТКЛР это изменение может являться ограничивающим фактором при определении нижней границы рабочих температур.

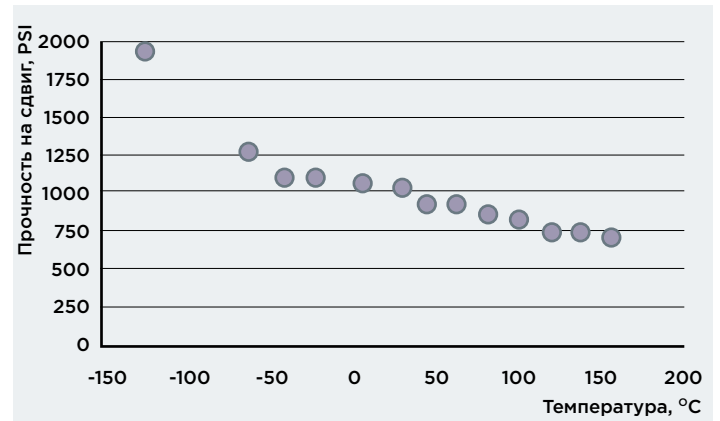
Измерение эластичности силиконовых материалов показывает, что предельная деформация материала растёт при охлаждении, пока не достигает температуры замерзания (Тз) рис 5. После этого эластичность резко снижается и стремится к нулю при температуре стеклования. Поэтому эластичность также может определять нижнюю границу рабочих температур силиконовых эластомеров.

**АДГЕЗИЯ**

При охлаждении адгезионная прочность силиконовых клеев возрастает. Увеличение носит линейный характер и в точке Тз скорость возрастания увеличивается рис 6. Поэтому адгезионная прочность не является ограничивающим фактором при использовании силиконовых клеев и компаундов для низких температур эксплуатации электронных приборов.



5 Изменение эластичности типичного силиконового эластомера при изменении температуры<sup>5</sup>



6 Изменение адгезионной прочности типичного силиконового эластомера при изменении температуры (толщина клеевого шва 75мкм, прочность к алюминию)<sup>5</sup>

## Твёрдость

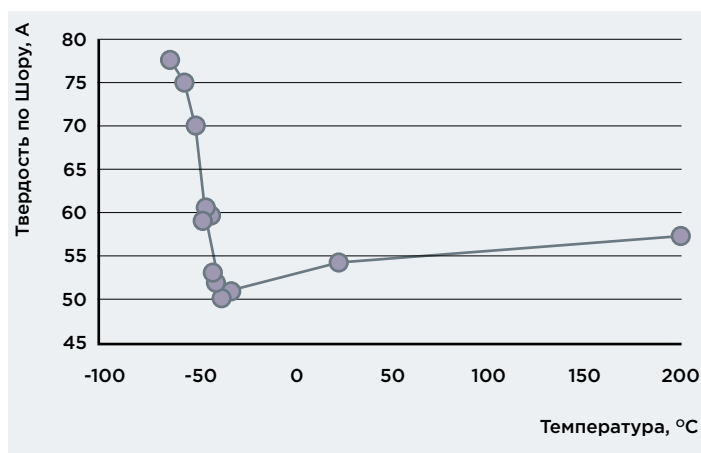
Твёрдость является важным с практической точки зрения параметром материала и может быть использована для косвенной оценки значения модуля упругости материала. Измеряя твёрдость силиконового эластомера при нагревании/охлаждении можно достаточно просто и достоверно оценивать пригодность клея, компаунда, покрытия или геля для его использования в той или иной задаче производства изделий электроники. Чем выше твёрдость, тем большие термомеханические напряжения возникают в структуре материала при изменении температуры. Это может приводить к повреждению чувствительных электронных компонентов или самого материала.

Охлаждение силиконового эластомера приводит к незначительному снижению твёрдости вплоть до температуры замерзания (Тз), далее наблюдается её резкий рост рис 7. Отметим, что при медленном нагреве того же силиконового материала из замороженного состояния его твёрдость снижается при температуре плавления рис 8, которая в приведённом примере на 10°C выше температуры замерзания, но в любом случае измерение твёрдости силиконового эластомера может быть использовано как инструмент для оценки пригодности материала для конкретной задачи.

Среди силиконовых эластомеров наиболее существенный рост твёрдости при замерзании наблюдается у гелей. Очень мягкие гели превращаются в полутвёрдую резину со значениями 30А и более по шкале Шора. Это может приводить к возникновению видимых повреждений материала (образуются трещины, гель из прозрачного становится матовым или непрозрачным), которые при возвращении к комнатной температуре частично исчезают. Гель достаточно быстро (в течение нескольких часов) становится прозрачным, но "самозалечивание" трещин требует недель. Стоит отметить, что при замораживании/размораживании гелей в трещинах может оставаться воздух, который не удаляется из материала даже при нагревании.

### Влияние скорости охлаждения/нагрева на результаты измерений физических параметров

Производители силиконовых эластомеров для определения нижних границ рабочих температур, как правило, измеряют твёрдость и ТКЛР материала при охлаждении/нагревании, используя специализированные методы анализа (дифференциальная сканирующая калориметрия (DSC), термомеханический анализ (ТМА) или динамико-механический анализ (DMA)). При этом в большинстве случаев материал сначала быстро охлаждается до низких температур, затем быстро нагревает-



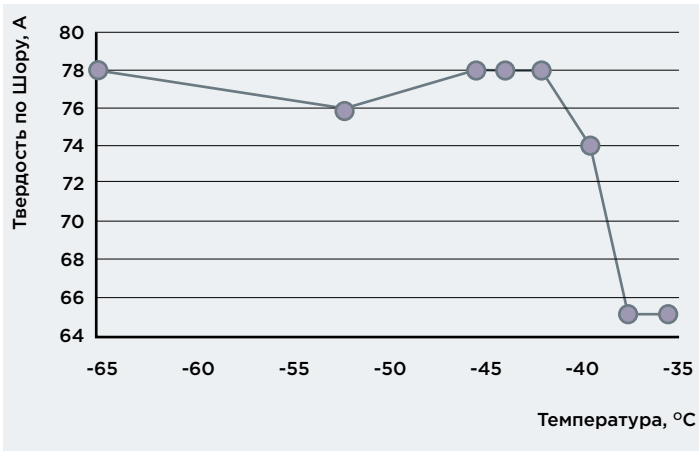
7 Изменение твёрдости типичного силиконового эластомера при изменении температуры (медленное охлаждение)<sup>5</sup>

ся. Однако, как показывает опыт, подобные измерения не всегда отражают реальные условия эксплуатации электронных изделий. Скорость нагревания/охлаждения существенно влияет на определение температур замерзания и плавления силиконового эластомера рис 9.

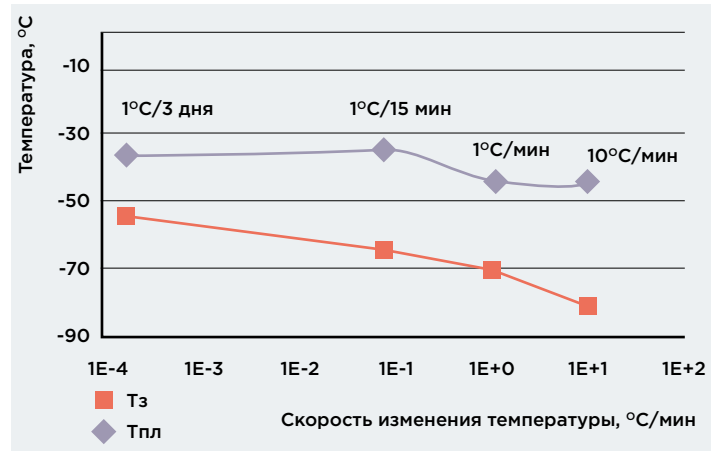
При эксплуатации электронных изделий зимой в уличных условиях, типовые значения скоростей охлаждения обычно составляют несколько градусов в час, после чего изделие может подвергаться длительному воздействию низких температур. Поэтому при проведении испытаний медленное охлаждение и выдержка при низких температурах с последующим измерением Тз будет точнее моделировать поведение эластомеров, чем определение Тпл или Тз при быстром нагреве/охлаждении.

### Определение нижних границ рабочих температур силиконовых эластомеров

Принимая во внимание вышеперечисленные факторы, можно утверждать, что оценка пригодности силиконового эластомера для изделия, эксплуатирующегося при низких температурах, может быть начата с измерения двух параметров: ТКЛР и твёрдости материала. Измерения могут проводиться в производственных лабораториях с помощью дилатометра (измерение ТКЛР) и дюрометра (измерение твёрдости по шкале Шора ОО, А и D). Получая графики зависимости данных параметров от температуры, а также от скорости изменения температуры, становится возможной оценка поведения силиконовых эластомеров в реальных условиях эксплуатации. В некоторых случаях подобные измерения помогут со-



8 Изменение твёрдости типичного силиконового эластомера при изменении температуры (медленный нагрев)<sup>5</sup>



9 Влияние скорости нагрева/охлаждения на значение температуры плавления/замерзания типичного силиконового эластомера<sup>5</sup>

кратить временные и финансовые затраты при запуске нового сложного дорогостоящего изделия.

Дополнительно отметим, что ТКЛР силиконовых эластомеров составляет ~300мкм/м°C в широком диапазоне температур. Это существенно выше, чем у большинства используемых в электронике материалов (полупроводники, керамика (до ~10мкм/м°C), металлы (до ~30мкм/м°C), органические полимеры (до ~80мкм/м°C)). Поэтому резкое увеличение твёрдости/упругости силиконового материала даже при сохранении значения ТКЛР в большинстве случаев будет приводить к возникновению существенных механических напряжений и связанных с ними дефектов (повреждение чувствительных компонентов, образование полостей, отслоению и проч.). Поэтому измерение твёрдости эластомера при его охлаждении может стать эффективным и достаточным средством для определения нижних границ рабочих температур силиконовых материалов.

## Заключение

При охлаждении силиконовые эластомеры становятся более прочными, твёрдыми, но менее эластичными **Т 2**. Вместе с высоким ТКЛР это может приводить к возникновению существенных механических напряжений и последующему разрушению чувствительных компонентов, а также к возникновению дефектов в самом материале или образованию полостей, куда впоследствии могут попадать влага и загрязнения. Всё это может снижать надёжность электронных изделий, поэтому организация корректных испытаний, моделирующих реальные условия эксплуатации, является важнейшим этапом производственного процесса. Измерение твёрдости и ТКЛР с обеспечением близкой к условиям эксплуатации скорости охлаждения может стать простым и эффективным инструментом анализа поведения силиконового покрытия, геля, компаунда или клея при низких температурах и позволит получить достоверные данные о нижней границе рабочих температур материала для определённой задачи. **▣**

**Т 2** Общие закономерности изменения физических характеристик типовых силиконовых эластомеров при охлаждении

Физическое состояние	Характерная температура	Значение температуры, °C	ТКЛР, м/мкм°C	Прочность, модуль упругости	Эластичность	Адгезия	Твёрдость
Мягкий эластомер	Трабочая	от -45 до +200	250-350	значение стабильно	значение стабильно	незначительно возрастает	незначительно снижается
	Тплавления	от -35 до -50	500-1000	возрастает	снижается	возрастает	возрастает
Твёрдая резина	Тзамерзания	от -35 до -80	500-1000	возрастает	снижается	возрастает	возрастает
	от Тпл/Тз до Тстеклования		250-350	возрастает	снижается	незначительно возрастает	незначительно возрастает
Твёрдый хрупкий стекловидный материал	Ниже Тстеклования	от -115 до -120	-	существенно возрастает	существенно снижается	-	существенно возрастает

## ТЕХПОДДЕРЖКА

# Заливка

## Подводные камни

### Часть 2



Текст: Владимир Филаткин



Первая часть данной статьи была опубликована в журнале «Вектор высоких технологий» (№ 1 (1) 2013). В ней описывались заливочные компаунды и присадки к ним, рассматривались конструкции изделий, технологии подготовки и обращения с материалами. Во второй части статьи речь пойдет о таких технологических этапах, как подготовка, смешивание, дозирование и отверждение, будут рассмотрены механизмы дозирования и весь технологический процесс в целом.

## Подача материала

Выбор системы подачи обусловлен свойствами материала и готового изделия и может осуществляться различными способами: сжатым воздухом, поршневыми насосами, возвратно-поступательными насосами, экструзией, шестереночными насосами или комбинированными методами. Основные преимущества и недостатки каждого способа приведены в **Т 1**.

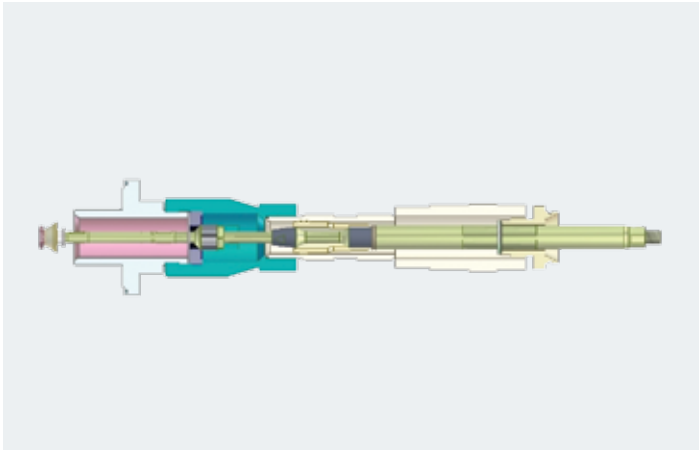
**Т 1**  
Таблица сравнения вариантов подачи материала

	Способ подачи	Преимущества	Недостатки
Сжатый воздух	В контейнер с дозируемым материалом подается сжатый воздух. Давление воздуха выдавливает материал через трубопроводы в систему дозирования. Регулятор поддерживает давление на постоянном уровне.	Постоянное давление. Непрерывная подача в систему дозирования.	Данный способ применим, если наличие пузырьков воздуха в дозируемом материале не влияет на качество продукции.  Для заправки материала в контейнер необходимо прерывать работу.
Поршневой насос РИС 1	Основными компонентами поршневого насоса являются цилиндр и движущийся в нем поршень. Насос работает в два такта: 1)двигающийся назад поршень засасывает материал (поршень также может двигаться назад под давлением материала, впрыскиваемого в цилиндр извне); 2) поршень движется вперед, выталкивая материал.	Может работать с абразивными средами.  Недорогой в производстве и обслуживании.	При подаче материала с помощью поршневого насоса возможны небольшие импульсы давления.
Возвратно-поступательный насос РИС 2	В отличие от поршневого насоса выходное отверстие расположено не в корпусе цилиндра, а в самом поршне. При опускании поршня материал подается через выходное отверстие, расположенное в верхней части поршня. На следующем цикле одновременно выталкивается материал, находящийся над поршнем, и материал подается через отверстие снизу.	Хорошо работает с материалами, обладающими высокой вязкостью.	Если в материале содержатся присадки с высокой жесткостью, движение поршня может вызывать износ.
Шестеренчатый насос РИС 3	Шестеренки проталкивают вперед материал по принципу водяных мельниц.	Непрерывная подача. Постоянное давление. Отсутствие импульсов.	Небольшая утечка материала даже при выключенном насосе. Чем больше износ шестеренок, тем сильнее утечка. Не подходит для подачи абразивного материала.  Сложны и дороги в обслуживании.
Вакуумный экструдер (специальный вариант для подачи материалов с большой вязкостью) РИС 4	Расположена непосредственно над материалом. Экструзионная пластина постепенно опускается, выдавливая материал через отверстие в центре шайбы во входной патрубке насоса.	Единственно возможный способ подачи паст с высокой вязкостью.  *Достоинства вакуумной системы подачи (патент Scheugenpflug AG): подача без пузырьков; практически отсутствуют потери материала.	Обычные экструдеры могут захватывать воздух. Также существенное количество материала теряется при замене ведра с материалом.

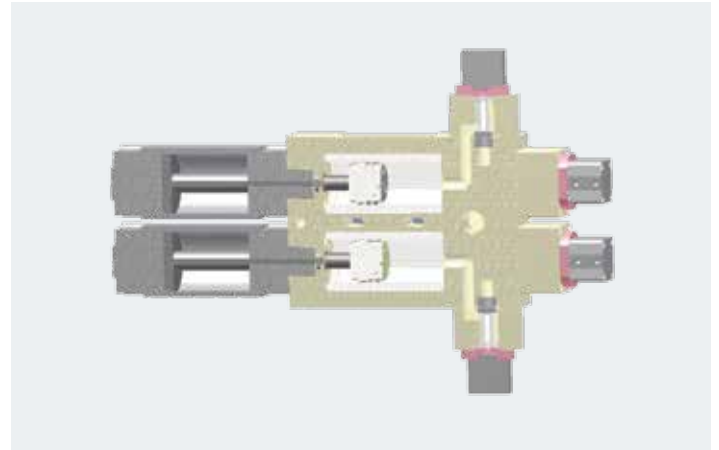
## Системы дозирования

Точное дозирование компонентов является основным требованием к системе дозирования. Для его выполнения проводится дегазация компонентов в вакууме, подогрев до необходимой температуры и подача в дозатор. Только таким способом можно обеспечить точную дозировку в системе подготовки материалов.

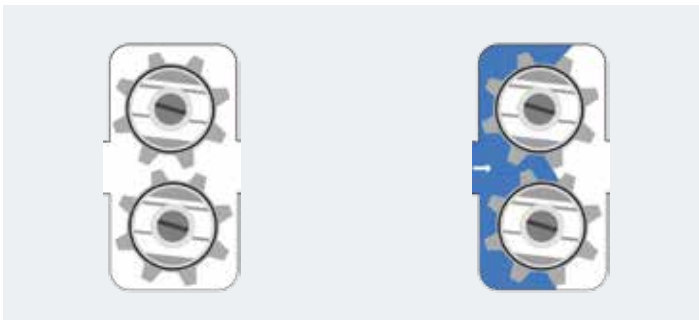
Для удобства смола и отвердитель должны смешиваться после измерения их объема, то есть за пределами системы дозирования, например, в неподвижном статическом миксере. При этом компоненты не будут отверждаться в системе подачи материала, что позволит уменьшить расходы на ее очистку и техническое обслуживание.



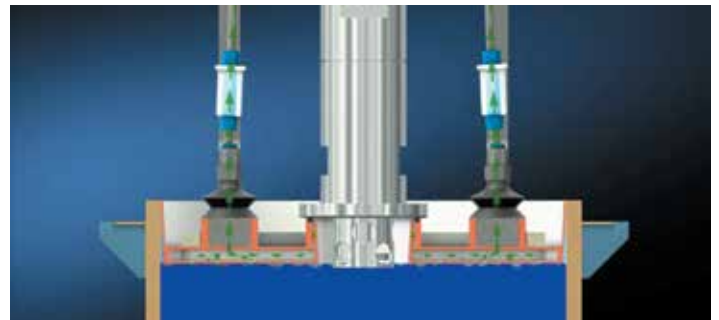
1  
Поршневой насос



2  
Возвратно-поступательный насос



3  
Шестеренчатый насос



4  
Вакуумный экструдер

### КОНТРОЛЬ ВРЕМЕНИ ДОЗИРОВАНИЯ

Контроль дозы материала происходит с помощью открытия и закрытия выходного клапана в заданные моменты времени при постоянном давлении подачи. Объем выходящего материала зависит от давления, диаметра выходного отверстия и временного интервала открытия клапана. Подобные системы подходят только для однокомпонентных материалов.

### КОНТРОЛЬ МАССЫ ДОЗИРОВАНИЯ

Контроль объема материала осуществляется с помощью электронных весов. Во время дозирования постоянно контролируется вес изделия, на которое наносится материал. После достижения заданного веса выходной клапан закрывается.

### КОНТРОЛЬ ОБЪЕМА ДОЗИРОВАНИЯ

Объем материала определяется механически, например, по объему цилиндра дозатора. Цилиндр может заполняться материалом двумя способами: втягиванием материала при обратном движении поршня или вытеснением под давлением из системы подачи рис 5. Объем вытесняемого материала определяется объемом цилиндра. Подобная система одновременно регулирует соотношение компонентов смеси — смолы и отвердителя. Главным достоинством такой системы является отсут-

## Точное дозирование компонентов является основным требованием к системе дозирования



5  
Дозирующая головка поршневого насоса

ствие зависимости ее работы от температуры, давления подачи материала и вязкости заливочной смолы. Точные и повторяемые объем и состав смеси обеспечиваются за счет одновременного выдавливания материала из обоих цилиндров.

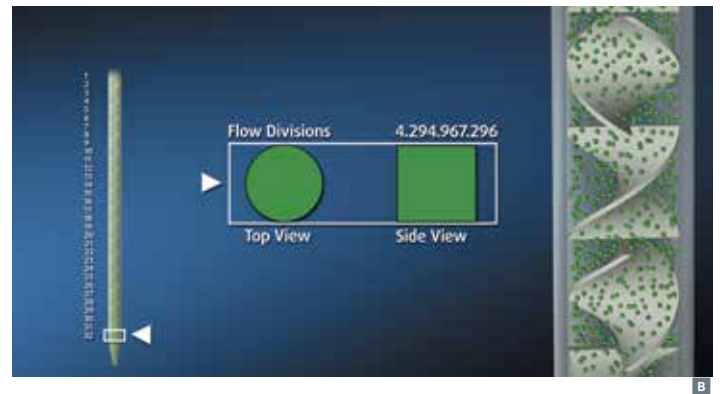
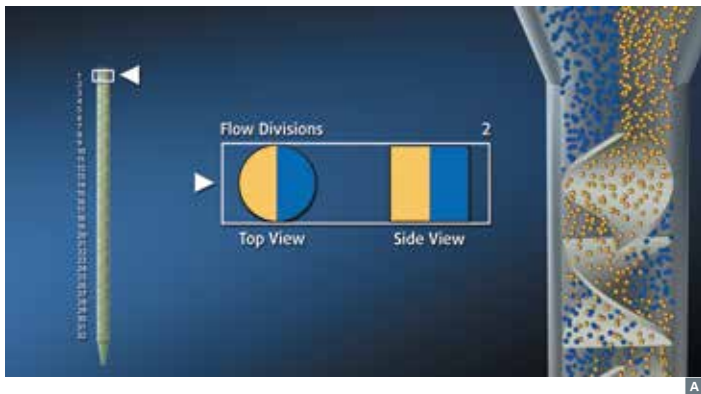
В описываемой системе смола и отвердитель впервые контактируют в отдельном статическом миксере. Отсутствие реакции в системе подачи позволяет практически устранить затраты на чистку и замену деталей.

## Смешивание двух компонентов

### Статический миксер

После отдельного измерения объема двух компонентов материала их необходимо равномерно перемешать. В неподвижном статическом миксере это можно сделать просто и эффективно рис 6. Миксер представляет собой трубку, внутри которой последовательно расположены встречно-направленные лопасти, которые многократно разбивают и перемешивают оба компонен-

та дозируемого материала. Полученная смесь гарантирует равномерную полимеризацию и отверждение. Неизменность геометрии статического миксера обеспечивает стабильность и повторяемость результатов. Миксеры просты в использовании: их легко монтировать, а после завершения процесса работы можно утилизировать.



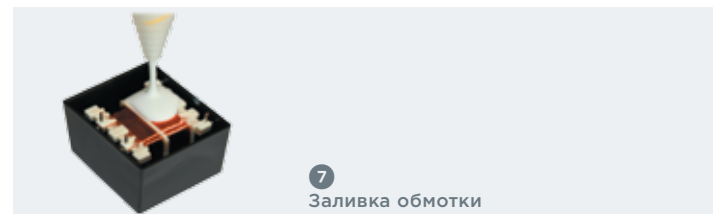
6 Статический миксер трубчатого типа. А начало процесса смешивания компонентов; В финальная стадия смешивания до гомогенного состояния

## Дозирование и отверждение

### СПОСОБЫ ДОЗИРОВАНИЯ

#### Заливка

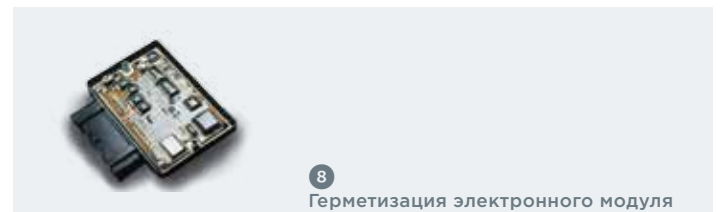
Заливка — дозирование материала с низкой вязкостью в изделие, например, внутрь корпуса рис 7. Технология заливки должна учитывать форму устройства (подложки, корпуса) и характеристики дозируемого материала. В простом варианте компаунд заливается за один раз. Материал также можно дозировать в различные точки изделия или с временными интервалами для лучшего заполнения.



7 Заливка обмотки

#### Покрытие

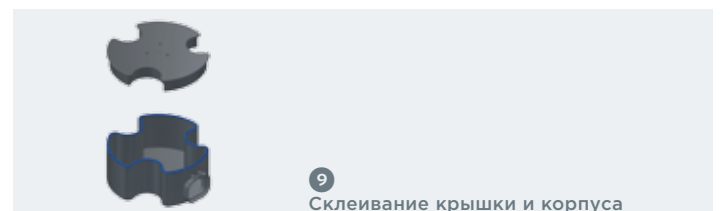
Покрытие поверхности тонким слоем заливочного компаунда рис 8 выполняется для герметизации изделия, для защиты компонентов от влияния внешней среды и стабилизации компонентов подложки. Чтобы обеспечить равномерное распределение материала, используется дозируемый материал с низкой вязкостью.



8 Герметизация электронного модуля

#### Склеивание

Склеивание является разновидностью технологического процесса соединения деталей и состоит из нескольких основных операций: нанесения адгезива и соединения деталей (например, крышки и корпуса), после чего проводятся сушка и отверждение клеевого материала рис 9. Адгезив наносится в заданные точки или швы, поэтому для склеивания необходим материал с высокой вязкостью и малой текучестью.



9 Склеивание крышки и корпуса

### Локальная влагозащита

Этот способ заключается в дозировании материала с высокой вязкостью на деталь в виде точечных капель или швов **рис 10** для обеспечения герметичности корпуса изделия после финишной сборки.

### Дозирование теплопроводящих материалов

В электронных компонентах, генерирующих большое количество теплоты, используются специальные теплопроводящие пасты и адгезивы. Материал дозируется так, чтобы передавать тепло, выделяемое ЭРЭ, к охлаждающему элементу, в качестве которого может выступать, например, корпус с большой площадью поверхности **рис 11**.

### ВАКУУМНОЕ ДОЗИРОВАНИЕ

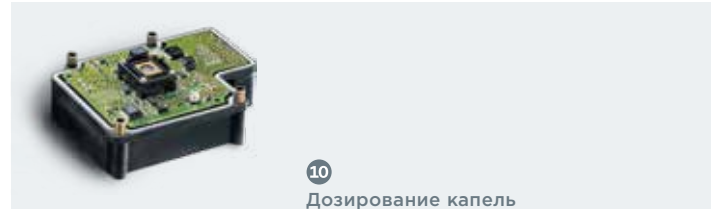
В дозируемом материале или в полостях и пустотах изделий (например, между витками обмоток) могут оставаться пузырьки воздуха, наличие влаги в которых приводит к снижению электрического сопротивления или вызывает коррозию. Чтобы обеспечить отсутствие пузырьков, необходимо выполнять последовательно все этапы заливки — подготовку, подачу и дозирование материала — в вакууме **рис 12**.

Остатки воздуха необходимо полностью удалять как во время подготовки компаунда, так и во время дозирования. Все процессы должны проходить в вакууме, который позволяет практически полностью устранить нежелательные реакции и поглощение влаги из воздуха дозируемым материалом.

Таким образом, вакуумная заливка является одним из самых надежных способов герметизации и влагозащиты, которая рекомендована для применения в изделиях специального назначения.

### ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ЗАЛИВОЧНЫХ КОМПАУНДОВ

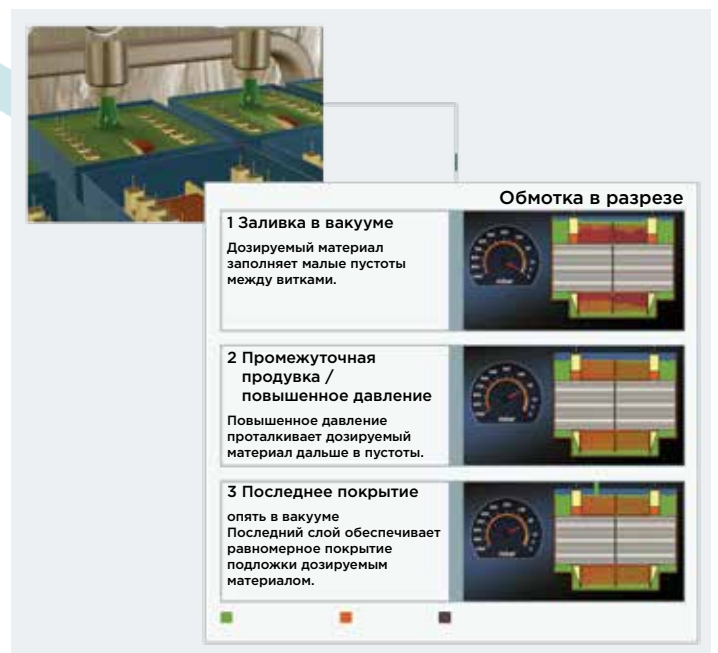
Полимеризацией (отверждением) называется химическая реакция в дозируемом материале. Полимеризация может происходить за счет свойств самого полимера либо при добавлении дополнительного вещества (отвердителя), в ходе полимеризации состав материала изменяется. Чаще всего используется полимеризация нагревом, УФ излучением **рис 13**, влагой, кислородом (аэробное отверждение) или путем химической реакции с отвердителем.



**10**  
Дозирование капель



**11**  
Дозирование теплопроводящих материалов (клеи, пасты)



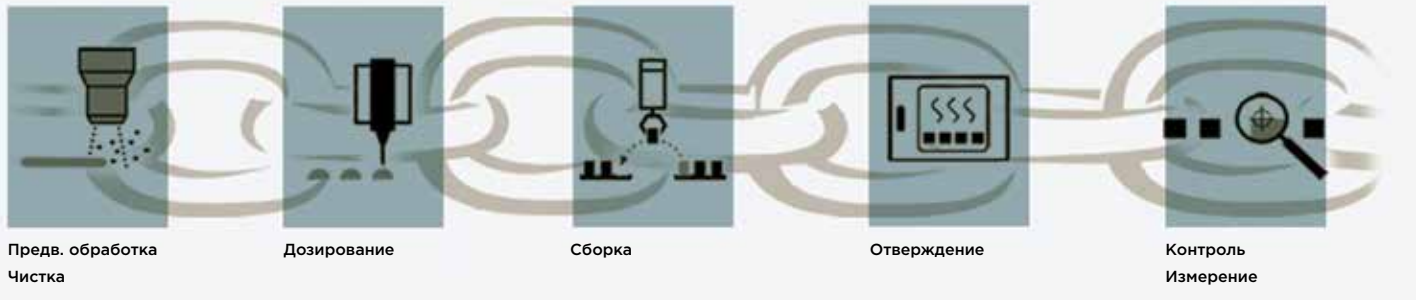
**12**  
Дозирование и заливка в вакууме



**13**  
Отверждение УФ излучением



## Контроль качества в процессе дозирования



14


Качественный технологический процесс подготовки и дозирования компаундов

### Технологический процесс измерения объема и дозирования с точки зрения качества

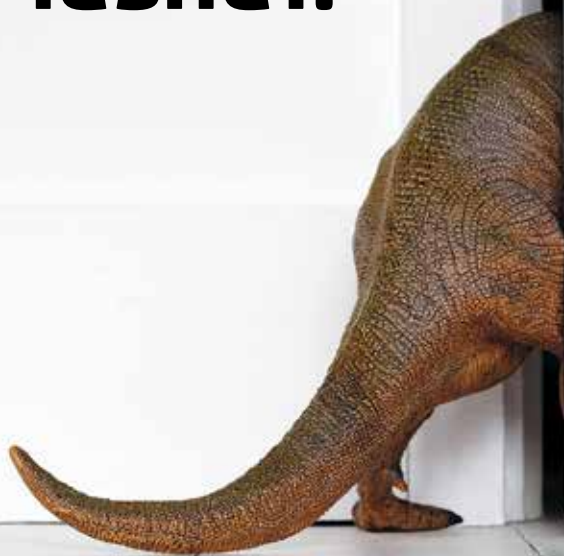
Технологические операции должны всегда рассматриваться с учетом предыдущих и последующих технологических операций — только так можно гарантировать высокое качество изделий рис 14. Используемые заливочные компаунды, адгезивы и связанные с ними технологические операции играют такую же важную роль, как операции пайки, сварки, резьбового соединения и сборки.

### Итак, подводя итог, отметим следующие основные моменты в разработке технического процесса заливки:

- исходя из конструкции изделия и условий его эксплуатации, необходимо не только правильно выбрать компаунд и присадки, но и обеспечить нужные условия хранения материалов;
- одним из важнейших этапов заливки является подготовка материала, а именно: его дегазация, перемешивание и подогрев до нужной температуры;
- в зависимости от материала и конструкции изделия нужно сбалансировано подобрать способ и оборудование дозирования;
- для получения изделий требуемого качества в электронных приложениях с самыми высокими требованиями необходимо использовать технологию вакуумной заливки.

**Таким образом, мы сможем обеспечить защиту от влаги электронных изделий, модулей и блоков, работающих в ответственных областях или в сложных климатических условиях.** 

# через 10 лет производство исчезнет.



В том виде,  
каким вы знаете  
его сейчас

Скорость преобразования технологий растет с каждым днем. Наш сегодняшний опыт отличается от условий, в которых 20 лет назад создавалась компания Остек, так же как они отличались от условий, существовавших за 50 лет до этого. Работать в таком темпе трудно, но очень увлекательно и главное — единственно верно с точки зрения конкурентных перспектив. Именно это мы и помогаем делать нашим клиентам, обеспечивая комплексное развитие высокоэффективных производств передовой техники. Ведь успеха в будущем достигает тот, кто его создает, а не ждет, пока оно наступит.

УЗНАЙТЕ БОЛЬШЕ



Тел.: (495) 788-44-44  
info@ostec-group.ru



будущее  
создается

[www.ostec-group.ru](http://www.ostec-group.ru)