



---

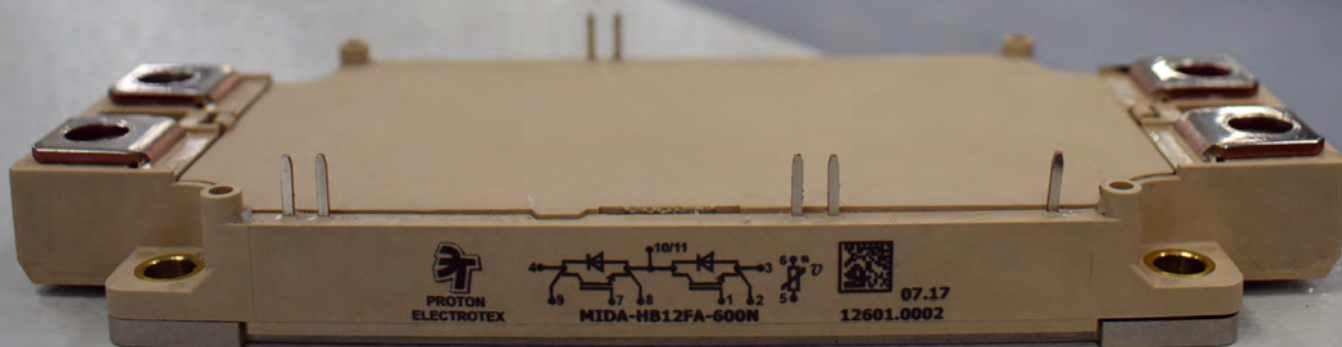
# **ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ ПРОИЗВОДСТВА IGBT-МОДУЛЕЙ**

---

**2017**



# Создание современной технологической линии производства IGBT-модулей в АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС»



| АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС»: Болдырев А.Ю., Ставцев А.В. ООО «АЙ ВИ ТЕК ЭЛЕКТРОНИКС»: Валев С.Н.

**Мир стремительно меняется. Заметнее всего эти изменения отражает потребительская электроника: любой сможет отличить современный мобильный телефон или телевизор от аппарата 2000 года выпуска. Прошедшие полтора десятилетия навсегда изменили наши привычки, график нашего рабочего времени и методы нашей работы. Изменилось восприятие информации мозгом и фундаментальная структура занятости в развитых странах. Теперь изменения в компонентной базе, исследование свойств материалов и развитие технологии готовят человечеству новый рывок – изменение уклада в энергетике, который в конечном итоге должен привести к революционному по своему значению отказу от ископаемого топлива, как когда-то человечество отказалось от паровозов и печного отопления.**

В соответствии с отчетом IEA (международное агентство по энергетике), первичная выработка энергии из возобновляемых источников в 2012 составила 13,2% мирового энергобаланса, а в 2013 г. – уже 22%. За первые 6 месяцев 2017 года Германия увеличила долю первичной возобновляемой энергии в своем энергобалансе на 2% по отношению к первому полугодю 2016 г. до 35% (Данные ВЕЕ, международной ассоциации по возобновляемой энергии). В эту долю входят ветро- и гидроэлектростанции, а также солнечная энергетика всех типов.

Такой бурный рост использования «чистой» энергии в совокупности с постоянной борьбой за снижение удельной энергоёмкости в промышленности и домашнем хозяйстве подтолкнули огромный спрос на системы преобразования энергии и их составные части, прежде всего IGBT-модули. Они нашли свое применение в промышленных приводах и управляемых инверторах, оборудовании солнечных, приливных и ветряных станций, электротранспорте.

Дальнейшее развитие альтернативных, энергосберегающих и высокоэффективных источников электроэнергии позволяет уверенно снижать долю ископаемых видов топлива и гарантирует рост компаниям, которые работают в сфере производства компонентов «новой энергетики». Разумеется, рынок оставит на сцене только производителей, гарантирующих стабильность поставок и качество своих продуктов, поскольку отказы приборов и систем энергоснабжения несут огромные риски.



Александр Ставцев  
Технический директор АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС»  
[www.proton-electrotex.com](http://www.proton-electrotex.com)

**«Процесс непрерывного развития лежит в основе успеха любой компании, при этом отношения с партнёрами во многом определяют скорость движения вперёд и качество конечного продукта. Можно отметить, что АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» в кооперации с технологическими партнёрами достаточно быстро смогли вывести линейку IGBT-модулей на рынок, применяя самые передовые конструкторские и технологические решения.»**

Важно отметить, что огромные нагрузки и тяжелые режимы работы конечных устройств требуют современного парка оборудования и квалифицированного персонала. А тотальная интеграция производителей современной электроники в международные цепочки поставок комплектующих, проекты и рынки должна поддерживаться высоким уровнем представительства таких компаний в основных регионах сбыта. Всем этим требованиям соответствует лидер отечественной силовой электроники, АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» (г. Орел). За последние три года предприятие провело полную модернизацию собственного производства IGBT-модулей, внедрило современную систему управления предприятием и разработало новое поколение приборов.

Модули, выпускаемые АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС», находят применение в десятках стран мира благодаря тщательно выстроенной системе представительства и совместным проектам с мировыми лидерами отрасли. Присутствие компании на основных выставках и научных конференциях позволяет АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» следить за мировыми тенденциями в области силовых полупроводников и поставлять на рынок продукцию, качество которой гарантировано внедренными на производстве стандартами серии ISO 9001.

На предприятии реализована полная производственная линия, соответствующая всем современным стандартам и расположенная в едином помещении с испытательным комплексом. Такая организация позволила улучшить ритмичность внутренней логистики и сократить цикл сборки приборов. Помещение было заново оснащено климатическим оборудованием, которое позволяет добиться температуры, влажности и давления, заданных стандартами для чистых помещений.

Промышленный воздух соответствует DIN ISO 8573-1 класс чистоты 2.4.1 (Рис. 1)

- в сжатом воздухе должно содержаться не более  $1 \text{ мг/м}^3$  твердых частиц, а размер их не должен превышать  $1 \text{ мкм}$ ;
- давление сжатого воздуха должно поддерживаться в диапазоне 5-8 бар, в зависимости от оборудования.
- сжатый воздух должен быть осушен до температуры точки росы не выше  $+3^\circ\text{C}$ ;
- остаточное содержание масла в сжатом воздухе не должно превышать  $0.01 \text{ мг/м}^3$ .



Рисунок 1. Производственное помещение АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС»



Сергей Валев  
Директор ООО «Ай Ви Тек Электроникс»  
[www.ivtec.ru](http://www.ivtec.ru)

*«Есть заказчики, для которых я чувствую своим долгом пойти на шаг дальше, с головой уйти в их задачу, приложить все силы, раздвинуть тесные рамки законов физики, химии и математики.»*

*Искренность, открытость и доверие к своим коллегам и партнерам – залог успеха АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС».*

*Это пример правильно выстроенной международной компании, где вся команда действует на успех общего дела, где нет лжи и примитивного официоза, где рационализм и точный расчет не содержит ни грамма подлости, а гостеприимство стало частью корпоративного духа. Я уверен, что будущее – за ними.»*



Первой фазой проекта развития АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» стало освоение в 2015-2016 гг. производства IGBT-модулей «классической» конструкции. После изобретения принципа работы IGBT в 1968 г. и появления первых опытных образцов в начале 1980 годов, усилиями крупных игроков (Infineon, IR, IXYS, ABB, Toshiba и пр.) постепенно сложился «стандартный ряд» габаритных размеров и типов этих приборов.

В своем нынешнем виде IGBT- модули появились на мировом рынке более 15-ти лет назад, но до сих пор не потеряли своей актуальности благодаря огромному количеству стандартизированных посадочных мест и габаритов конечных устройств (выпрямителей, преобразователей), в которых они являются компонентом.

Аналогично любым стандартизированным промышленным изделиям, IGBT-модули будут оставаться в своем нынешнем внешнем виде еще как минимум 15 лет. Рынок благосклонно воспринял появление новых игроков, предлагающих стандартные «семейства» этих приборов по конкурентной цене, и АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» занял там достойное место. Однако, как и во всем остальном, внешний вид не определяет наполнение.

Несмотря на то, что классические габаритные размеры модулей сложились давно, их «начинка» непрерывно совершенствуется и оптимизируется с целью улучшения основных параметров прибора, снижения его себестоимости и повышения качества и ресурса.

Если сравнить с современной передовую технологию производства модулей классической конструкции 15 лет назад и в наши дни, то можно выделить ряд важных отличий и нововведений на каждом шаге технологической цепочки. Общими принципами

развития можно считать следующие:

- **уменьшение числа технологических операций**
- **минимизация ручного труда и трудоемкости на единицу продукции**
- **повышение воспроизводимости и контролируемости процесса**
- **исключение и сокращение расхода промежуточных реагентов и материалов, например флюса, рабочего инструмента, оснастки**
- **увеличение технологического окна («робастности») процесса.**

Результатом развития технологии должно быть повышение потребительских качеств приборов при снижении их себестоимости.

Далее в статье проанализированы решения, реализованные АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» в своем производстве и поддерживающие заданный вектор развития предприятия.

Модули классической конструкции производства АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС»



62мм ширина основания корпуса



34мм ширина основания корпуса

# ВАКУУМНАЯ ПАЙКА

Качество конечного изделия закладывается с первого же шага технологического процесса. Первый шаг в процессе производства IGBT-модулей — это пайка. Паяный шов обеспечивает механическое соединение компонентов, требуемую электро- и теплопроводность, устойчивость к термоциклированию и в конечном итоге, играет немаловажную роль в надежности изделия.

Классическая конвекционная пайка и пайка в паровой фазе с использованием паяльной пасты повсеместно уступают место вакуумной пайке. Причина этой тенденции – неравномерность прогрева массивных теплопроводящих элементов при парофазной и конвекционной пайке.

Существуют также риски локального перегрева и высокий градиент температур при пайке крупных изделий в силу разницы теплоемкости элементов их конструкции. Соединение после конвекционной пайки, как правило, получается неоднородным и содержит дефекты. Использование в процессе пайки паяльной пасты или иных веществ-активаторов вынуждает прибегать к дополнительной влажной очистке, так как флюсы, содержащиеся в пасте, химически активны, и их остатки могут негативно сказаться на надежности прибора. Сложность подбора припоев с требуемой эластичностью и устойчивостью к термоциклированию также приводит к снижению ресурса модуля.

Командой АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» этот процесс реализован другим, более современным методом — бесфлюсовой пайкой в вакууме с использованием преформ, кондуктивным нагревом и активацией поверхности в парах муравьиной кислоты. Данный подход применяется практически всеми известными производителями силовой электроники в России и мире и позволяет реализовать весь заложенный конструктивный ресурс и повысить надежность прибора за счет следующих особенностей:





Klaus Roemer  
Руководитель продаж, департамент технологии пайки  
Pink GmbH Thermosysteme  
[www.pink.de](http://www.pink.de)

**«Пайка в вакууме с применением печи серии VADU устраняет каверны и существенно улучшает качество и надежность изделий АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС»»**

- Пайка всего изделия за один подход, следовательно, меньший тепловой стресс для чувствительных к перегреву компонентов;
- Возможность выбора большой номенклатуры припоев из различных материалов с требуемой эластичностью и температурой плавления;
- Высокая химическая чистота преформ в сравнении с пастой;
- Отсутствие необходимости последующей влажной отмычки;
- Высокое качество паяного шва, благодаря вакууму и, как следствие, малое количество каверн и пустот в соединении;
- Кондуктивный прогрев, при котором в первую очередь прогреваются компоненты с большой теплоемкостью – теплоотвод-основание и DCB, и лишь в последнюю – хрупкие кристаллы. Как результат – минимальное воздействие высоких температур на полупроводниковую часть прибора;
- Крайне гибкая настройка температурного профиля пайки и высокая повторяемость воспроизводимости – что важно для бессвинцовых технологий;
- Высокое качество соединения в металлургическом плане – более равномерная рекристаллизация припоя, с общей площадью дефектов, включая «холодную пайку», расслоения и каверны (менее <3%).

Все вышеописанные особенности позволяют добиться низкого процента дефектов пайки IGBT-модулей, что является большим конкурентным преимуществом АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС». При выборе печи, как и всего остального оборудования первой фазы своего проекта, АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» ориентировался на предпочтения лидеров отрасли и выбрал среднюю по производительности двухкамерную вакуумную печь VADU 200XL производства PINK GmbH Thermosysteme (Германия). По общему мнению на рынке, она обладает рядом преимуществ по сравнению с другими системами.

Запатентованная технология создания динамического зазора при нагреве и многокамерная конструкция с отдельной камерой принудительного охлаждения позволяют добиваться отличных результатов пайки за минимально-возможное время. Уровень вакуума в ходе выполнения процесса

в печи VADU также регулируем, и обеспечивает стабильный и повторяемый процесс, отсутствие всплесков и брызг припоя независимо от начальных условий и термической массы загруженных изделий. Вакуум, плавно подаваемый непосредственно в момент образования жидкой фазы, практически полностью выводит пузыри из паяного соединения. Применение динамически-регулируемого зазора, плавной регулировки вакуума и принудительного охлаждения позволяют выполнять термические профили по стандартам IPC/JEDEC, а также подстраивать их в широком технологическом коридоре под требования производителей силовых модулей.

Технические преимущества печей серии VADU довольно широко известны, и нет смысла подробно останавливаться на них. Важно, что кроме конструктивных технологических преимуществ, процесс пайки



в АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» проводится с применением оптимальной для силовых модулей оснастки. Вопрос оснастки и размещения изделий в камере является ключевым, а некоторые производители бывают вынуждены подстраиваться под габариты вакуумной камеры, причем низкая тепловая мощность печей не позволяет им применять тару и оснастку надлежащего типа. Оснастка, разработанная VADU, недорога и стандартна, а ее конструкция связана со сложившимся рядом типоразмеров модулей.

То есть, АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» получил рабочее решение процесса и сразу же приступил к работе без долгой фазы прикидок и отработки режимов. Такой подход отражает высокую вовлеченность PINK в работу с производителями силовой электроники и изначальное понимание нужд заказчика.

# ПЛАЗМЕННАЯ ОЧИСТКА

Еще одним важным технологическим процессом, реализованным АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» с самого начала работы, является использование аргонно-кислородной плазмы для микро-очистки и активации поверхностей. Это эффективный способ, который позволяет избежать использования опасных и ядовитых растворителей и стабилизировать параметры сварки, пайки и нанесения покрытий. Суть процесса в том, что молекулы ионизированного газа в наведенном поле тока высокой частоты и условиях разрежения (при давлении порядка 0,1 Атм.) действуют на физическом и химическом микро-уровне, и «счищают» загрязнения и очаги окисления с поверхности деталей,

исторически пришло в сборочную технологию из полупроводникового производства. Там оно обычно применяется в агрессивных по отношению к поверхности операциях травления или снятия фоторезиста, и поэтому использует частоты 13,56 МГц или 2,54 ГГц для генерации высокоэнергетической плазмы. Соответственно, энергия, передаваемая плазме на такой частоте, может привести к перегреву поверхности и повлиять на физические характеристики поверхности, способствовать паразитным химическим реакциям и повредить чувствительные элементы полупроводниковых кристаллов. Поэтому в установке, выбранной АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» используется плазма, генерируемая при низкой частоте (40-50 кГц), которая имеет следующие преимущества:

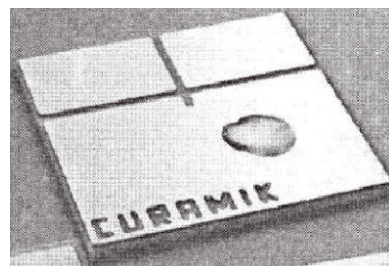
а также возбуждают атомы верхних слоев деталей поверхности, делая их более восприимчивыми к соединению с другими деталями, т.е., увеличивают адгезионные свойства очищаемых поверхностей. Этот эффект подтверждается улучшением смачиваемости поверхности (уменьшением силы поверхностного натяжения при контакте), см. рис 3. С помощью плазменной очистки АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» удалось быстро оптимизировать параметры ультразвуковой сварки и улучшить качество заливки модуля компаундом.

При выборе оборудования АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» также принял осознанное решение, продиктованное характером продукции. Оборудование плазменной очистки

Рисунок 3. Смачиваемость до очистки



Смачиваемость после очистки



- **Более высокая плотность ионов.** Низкочастотная плазма обеспечивает большую плотность энергии на квадратный сантиметр, чем высокочастотная очистка. Хотя это может показаться нелогичным, высокочастотные системы плазменной очистки фактически теряют значительную энергию за счет потерь тепла. Потери энергии плазмы частотой 13,56 МГц в 850 раз выше, чем при использовании системы частотой 40 кГц.

- **Повышенная эффективность.** Эффективность плазменной системы рассчитывается из отношения энергии, используемой при производстве плазмы, к энергии, рассеиваемой в тепло. Низкочастотная плазменная система действует как идеальный конденсатор с бесконечным емкостным сопротивлением или нулевой утечкой тока в режиме ожидания.

- **Лучшая однородность.** За счет ламинарного, а не факельного потока плазмы, низкочастотные системы обеспечивают гораздо более равномерную обработку поверхности, а за счет горизонтальной подачи плазмы они не имеют «затенения», которое происходит, когда образцы на верхних полках образуют преграду для обработки образцов на нижних полках.

На производстве АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» задействована установка плазменной очистки G1000E компании Yield Engineering Systems, универсальная и популярная у производителей СВЧ-приборов, светодиодов и многокристалльных модулей единица оборудования.





# УЛЬТРАЗВУКОВОЕ СКАНИРОВАНИЕ

Еще одним решением, позволившим быстро выйти на заданный уровень качества и сократить время отработки техпроцесса, было введение процесса проверки методом ультразвукового сканирования. Ультразвуковое сканирование – незаменимый при работе с массивными деталями метод неразрушающего контроля и применяется как после процесса пайки, так и на других этапах производства модуля, таких как ультразвуковая сварка выводов.



Ernst Eggelaar  
Генеральный директор Microtronic GmbH  
[www.microtronic.de](http://www.microtronic.de)

*«...инициативная и целеустремленная команда с отличным пониманием физических основ процессов и технологии.»*

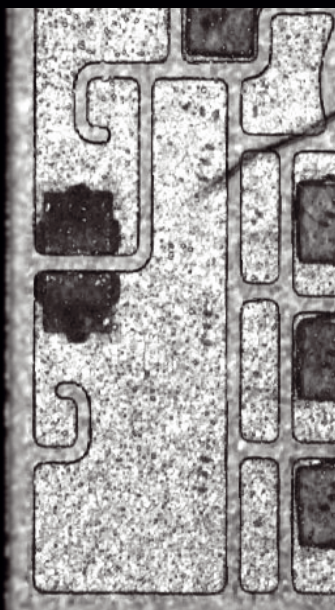
Сканирование позволяет выявить брак на ранних этапах производства, обнаружить расслоения и дефекты, невидимые для любого иного метода контроля и позволяет оперативно указать на причину дефектов в самом начале работы участка, не теряя таким образом ценных компонентов и времени.

АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» остановило свой выбор на установке ультразвуковой дефектоскопии и томографии SONIX ECHO™. Этот недорогой и хорошо известный в отрасли сканирующий акустический микроскоп является универсальным инструментом контроля для разработки, производства и анализа отказов полупроводниковых приборов. Микроскоп способен обнаруживать воздушные прослойки толщиной от 0,05 мкм и определять дефекты линейными габаритами от 10 мкм. Особенно важно отметить возможность распознавания микротрещин в керамике, которые могут являться результатом производственного брака у производителя DBC подложек, не распознанными в ходе выходного контроля.

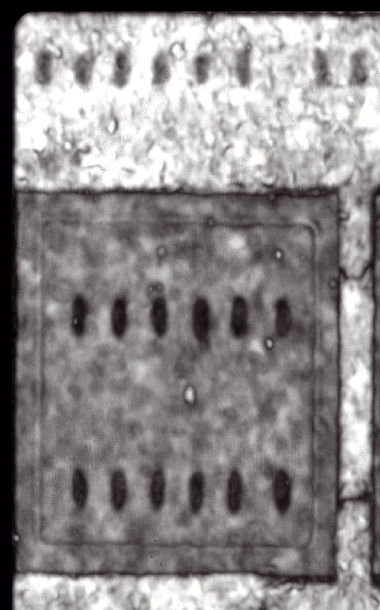
Рисунок 4. Ультразвуковое сканирование паяного шва модуля MIFA



Микротрещина DBC подложки



Диффузия металлов в зоне УЗ-сварки





Stefan Berger  
Руководитель по продажам  
F&S Bondtec GmbH  
[www.fsbondtec.com](http://www.fsbondtec.com)

*«Наша фирма F&S Bondtec – поставщик настольных установок ультразвуковой сварки и тестирования прочности соединений. Мы с большим воодушевлением воспринимаем успешное внедрение нашей платформы 56xx в АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС». Вся ниша силовых модулей, в которой активно работает АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» – активно растущий сегмент рынка, и мы искренне ценим то доверие, которое этот заказчик оказал нам и нашему оборудованию. Нужно отметить, что Россия всегда была одним из приоритетных для F&S Bondtec рынков, что подтверждается многолетней работой здесь нашего представителя, i.V.tec electronics. Мы гордимся своей ролью поставщика АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» и тем, что стали частью их успешного проекта.»*



## УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СВАРКА

Ультразвуковая сварка силовых выводов, управляющих выводов и соединений полупроводниковых кристаллов – критически-важный процесс, пришедший на смену прижимным и паяным конструкциям. Современный подход к технологии производства IGBT-модулей классической конструкции состоит в минимизации количества сварных и паяных соединений, что уже привело к почти полному вытеснению пайки силовых выводов. Оборудование ультразвуковой сварки в АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» позволяет гибко подходить к топологии соединений внутри корпусов, применять проволоку, ленту, алюминиевые и медные проводники разного сечения для получения полной гаммы высококачественных приборов, способных конкурировать с аналогами от мировых лидеров. В производстве применяются сразу несколько установок ультразвуковой сварки: от полуавтоматов серии F&S Bondtec 5650, F&K Delvotec G5 66000 для приварки и тестирования алюминиевой и медной проволоки и Schunk DS20/35 для приварки силовых выводов модуля. Благодаря ультразвуковой сварке модули производства АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» не имеют ограничения срока службы, связанного с деградацией контактных (прижимных) и паяных соединений проводников внутри

прибора, характерных для конструкции IGBT-модулей ранних серий. Возможно, упоминание УЗ-сварки как инновации выглядит странно, поскольку в традиционных дискретных приборах и интегральных схемах ее применение было единственным методом получения электрического соединения начиная с 1960-х годов. Однако, в силовой электронике УЗ-сварка получила свое распространение относительно недавно, а ряд приборов до сих пор выпускаются с применением пайки, прижима или иного контактного соединения компонентов.

Рисунок 5. УЗ сварка





Paul Gruber  
Руководитель по продажам,  
Европейский регион F&K Delvotec Bondtechnik GmbH  
[www.fkdelvotec.com](http://www.fkdelvotec.com)

*«Мы оцениваем своё партнерство с АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» за последние годы как очень успешное. По нашему убеждению, АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» выбрал очень выгодную стратегию продвижения своих силовых модулей, которые сейчас являются очень привлекательной нишей рынка электронных приборов. Эта ниша росла темпами, более чем вдвое превышающими общий рост полупроводниковой отрасли, а с теперешним бумом производства электромобилей спрос на подобные системы управления будет расти еще сильнее. Мы уверены в том, что АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» благодаря своему портфолио создал себе комфортную стартовую позицию для занятия значительной доли рынка в будущем, а отличный уровень руководства этой компанией гарантирует ей дальнейший рост. Мы с удовольствием станем частью их истории успеха.»*



Установки УЗ-сварки F&S Bondtec 5650 и F&K Delvotec G5 66000, в силу своих конструктивных особенностей, позволяют реализовать максимальную надежность соединений. Обе установки имеют богатые возможности по настройке и контролю параметров. Благодаря высокому уровню автоматизации они снижают влияние оператора на производственный процесс. Помимо всех прочих преимуществ в автоматических установках УЗ-сварки реализована обратная связь для контроля протекающих во время сварки процессов в реальном времени, элементы самодиагностики и самокалибровки, документирование процесса сварки, сбор и контроль статистических данных.

Важно отметить, что производительность установок применительно к толстой проволоке силовых модулей не является решающим фактором: предел производительности был достигнут много лет назад, и связан с физическим временем, необходимым для образования диффузного соединения металлов. Поэтому преимуществами установок сварки и критерии выбора системы в основном, связаны с качеством и прогнозируемостью этого процесса. УЗ-сварка на установках F&S и F&K показала высокую воспроизводимость и широкое «окно» технологических параметров. Тесты в АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» показали, что процесс сварки толстой алюминиевой проволокой на установках F&K Delvotec хорошо контролируется благодаря возможности тонкой настройки параметров сварки и геометрии петли.

В общей сложности система управления G5 контролирует около 200 параметров сварки: больше, чем в какой-либо иной установке. При этом, в большинстве случаев создание программы и работа оператора проходят интуитивно и вовлекают минимум величин. Но в пограничных случаях F&K Delvotec всегда предлагает более тонкую настройку, что важно в условиях опытного и многономенклатурного производства АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС».

Благодаря работе системы ВРС нового поколения, служащей для активного управления мощностью и длительностью импульсов сварки с использованием обратной связи в реальном времени, мы убедились в устойчивости управляющей системы установок к изменению свойств исходных компонентов, гибкой и требующей минимального вмешательства операторов благодаря интеллектуальной системе машинного зрения.

• Прочность на срез соединения, полученного УЗ-сваркой, (среднее значение) составляет 18,9 Н;

• Все силовые токовыводы и соединения между кристаллами имеют нулевую дефектность по эффектам «ползучести» и отслаиваний при термоциклировании;





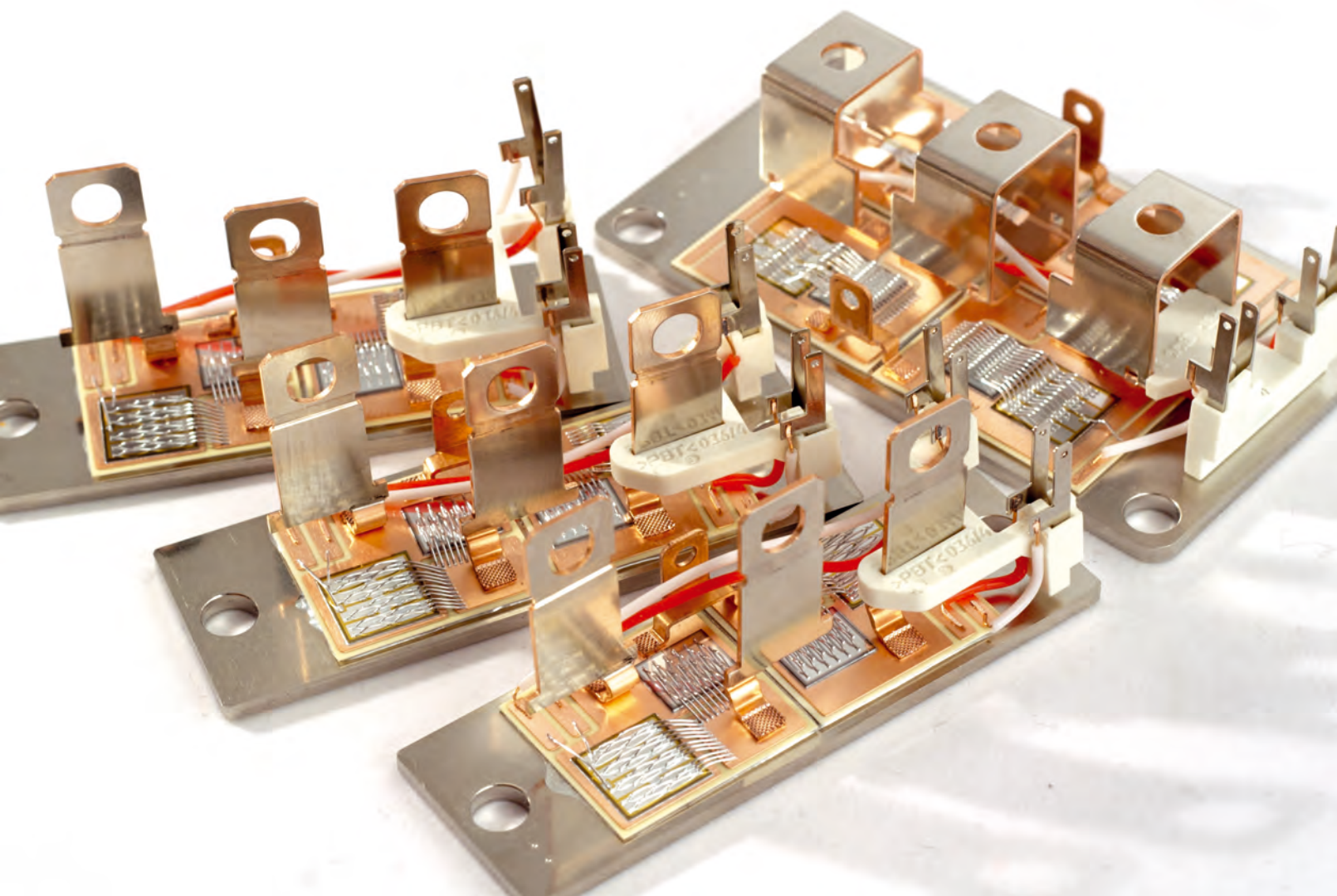
# УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СВАРКА СИЛОВЫХ ВЫВОДОВ

Jan Fritzges

Руководитель отдела оборудования специального назначения Schunk Sonosystems GmbH  
[www.schunk-sonosystems.com](http://www.schunk-sonosystems.com)

*АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» успешно использует наши системы ультразвуковой сварки в своем производстве с 2014 г. Фирма полностью готова к разработкам и выпуску новых модулей, высокой надежности, освоив предложенную нами технологию соединений металлов. Эта технология ориентирована на будущее, и, надеюсь, мы скоро примем активное участие в разработке их растущего портфолио.»*

УЗ-сварка токовыводов позволяет увеличить токонесущую способность и уменьшить потери проводимости. Это достигается отсутствием дополнительного слоя металла припоя, который имеет другое значение проводимости. В качестве индикатора такой повышенной надежности можно привести данные об отсутствии отказов соединений токовыводов после термоциклирования, то есть полностью исключает эффект «ползучести» под постоянной нагрузкой при электротермоциклировании, который часто происходит в паяных конструкциях.



# КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И ИСПЫТАНИЯ МОДУЛЕЙ НА НАДЕЖНОСТЬ

Огромное внимание при оснащении нового производства было уделено формализации и гармонизации методик испытаний и тестирования IGBT-модулей для отечественных и зарубежных заказчиков. Особенно важно, помимо приемо-сдаточных испытаний и исключения поставки дефектной продукции, обеспечить надежную и долговременную работу IGBT-модулей у заказчика. Командой разработчиков и технологов АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» был разработан комплекс оборудования, который позволяет проводить 100% измерений параметров изделий при комнатной и повышенной температурах.

Все IGBT-модули проходят периодические и квалификационные испытания, соответствующие ГОСТ 24461-80 и международному стандарту IEC 60747-9. При этом для контроля статических и динамических электрических параметров продукции в производстве используются индивидуально спроектированные по техническому заданию АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» комплексы Schuster на основе измерителей TPS 625 и DTS 758. Подобные комплексы применяют практически все производители силовой электроники в мире, что упрощает кооперацию и обсуждение наших задач с зарубежными заказчиками и партнерами.

В ходе запуска технологической и испытательной линии тщательно изучались и испытывались опытные образцы модулей в сравнении с аналогами, предлагаемыми на рынках России и Европы. Результаты испытаний и тестов в заводских и независимых лабораториях доказали правильность выбора оборудования и технологических параметров, а также высокую квалификацию и уровень подготовки инженерного и производственного персонала, поскольку параметры модулей производства АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» не уступают зарубежным аналогам.

- Основание модуля изолировано от токопроводящих элементов и выдерживает 4000 В;

- Результаты электротермоциклирования дают результат около 40000 циклов, при  $\Delta T = 100^\circ\text{C}$ .

И в этом наши показатели ТЦ и ЭТЦ не уступают показателям ведущих европейских производителей.

- Модули проходят высокотемпературное хранение в течении не менее 1000 часов при температуре  $180^\circ\text{C}$  с последующей проверкой изоляции;

- Испытания на ждущий режим в течении 1000 часов подтверждают сохранение блокирующих характеристик и тока утечки  $I_{\text{GES}}$  в пределах нормы.

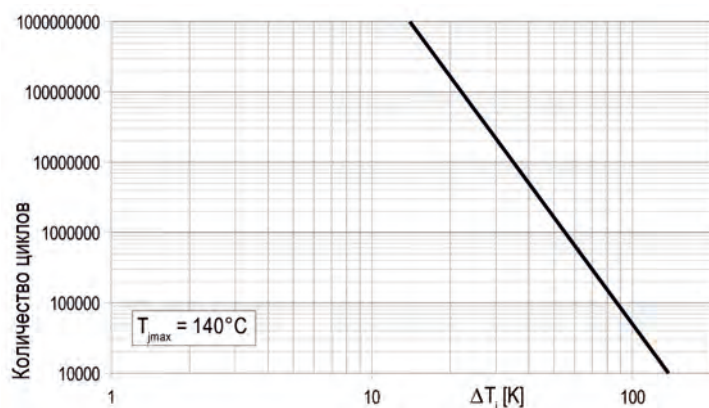
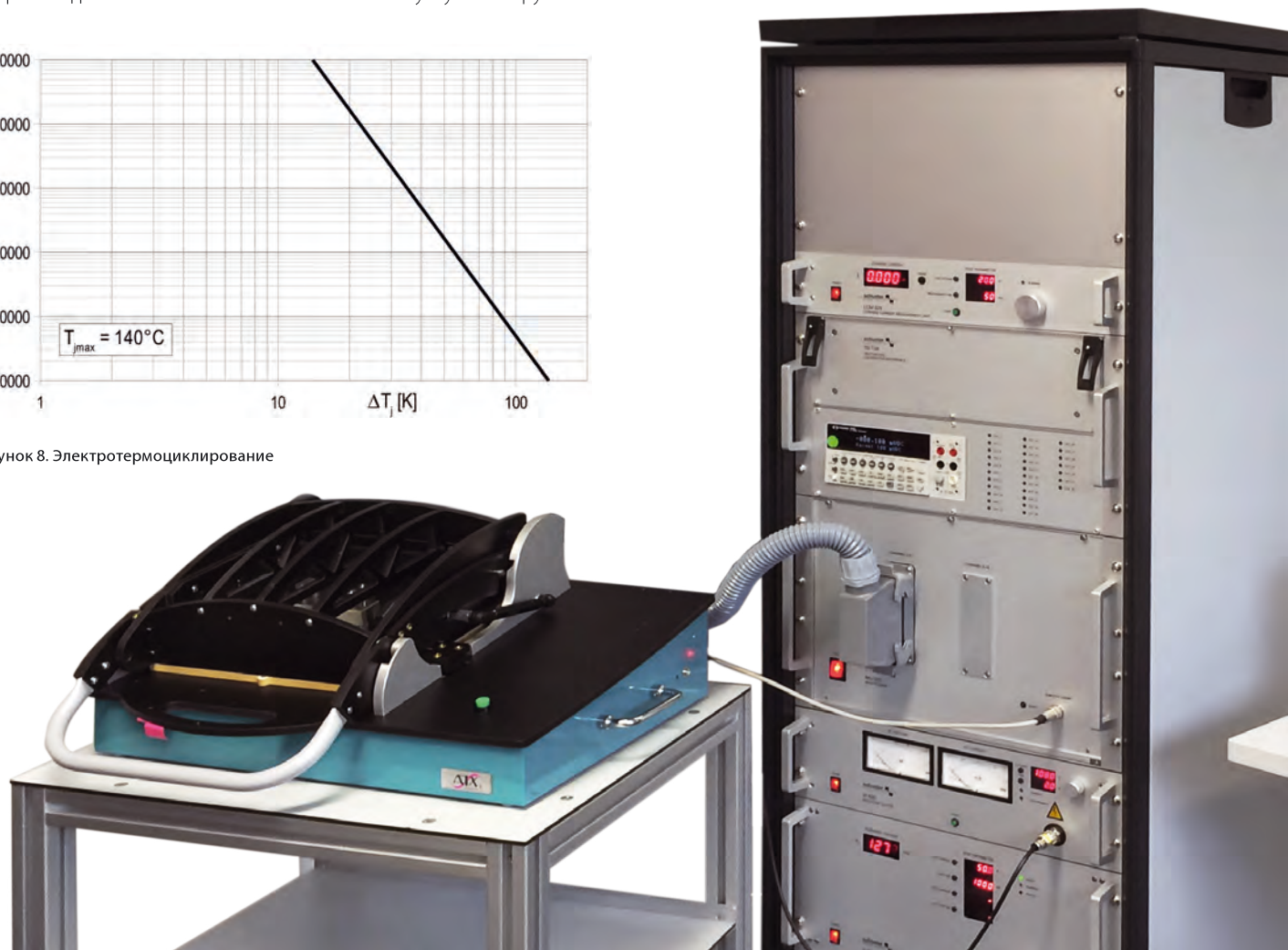


Рисунок 8. Электротермоциклирование





По результатам выполнения первой фазы перспективного плана развития АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» можно констатировать, что проект удался. На предприятии отработаны действительно универсальные технологические процессы с применением лучшего на сегодняшний день комплекта оборудования, создан важный кадровый ресурс, налажен серийный выпуск продукции на конкурентном внешнем и внутреннем рынках. Взятый руководством компании курс на открытость и реальную конкурентоспособность, построение современной системы производства и маркетинга, постепенно выводит АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» на позиции полноценного игрока отрасли. Производство уже работает в соответствии с мировыми стандартами и соответствует всем тенденциям развития силовой полупроводниковой техники. На предприятии создан конструкторский центр, позволяющий проектировать и производить модули, конкурирующие с лучшими аналогами.

Кроме всего вышесказанного АО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» постоянно стремится к повышению качества выпускаемой продукции. Исследуются и развиваются такие направления как синтеринг и улучшение тепловых свойств модулей.

Однако, помимо техники наш проект имеет в основе человеческую составляющую. Задача, выполненная компанией всего за два года, имеет прочный фундамент отношений, доверия и честности с поставщиками и специалистами отрасли. Мы рады, что на пути выполнения наших задач получили и получаем искреннюю поддержку со стороны производителей оборудования и их представительств в России.

## IGBT-модули Протон-Электротекс



**Более 20 000 модулей  
в месяц**

Максимальная загрузка производственных мощностей



**Тысячи IGBT модулей**

Успешно функционируют в оборудовании потребителей



**Более 420 человек**

Обеспечивают непрерывный процесс производства и совершенствования продукции

### Рост объёмов производства IGBT

